



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

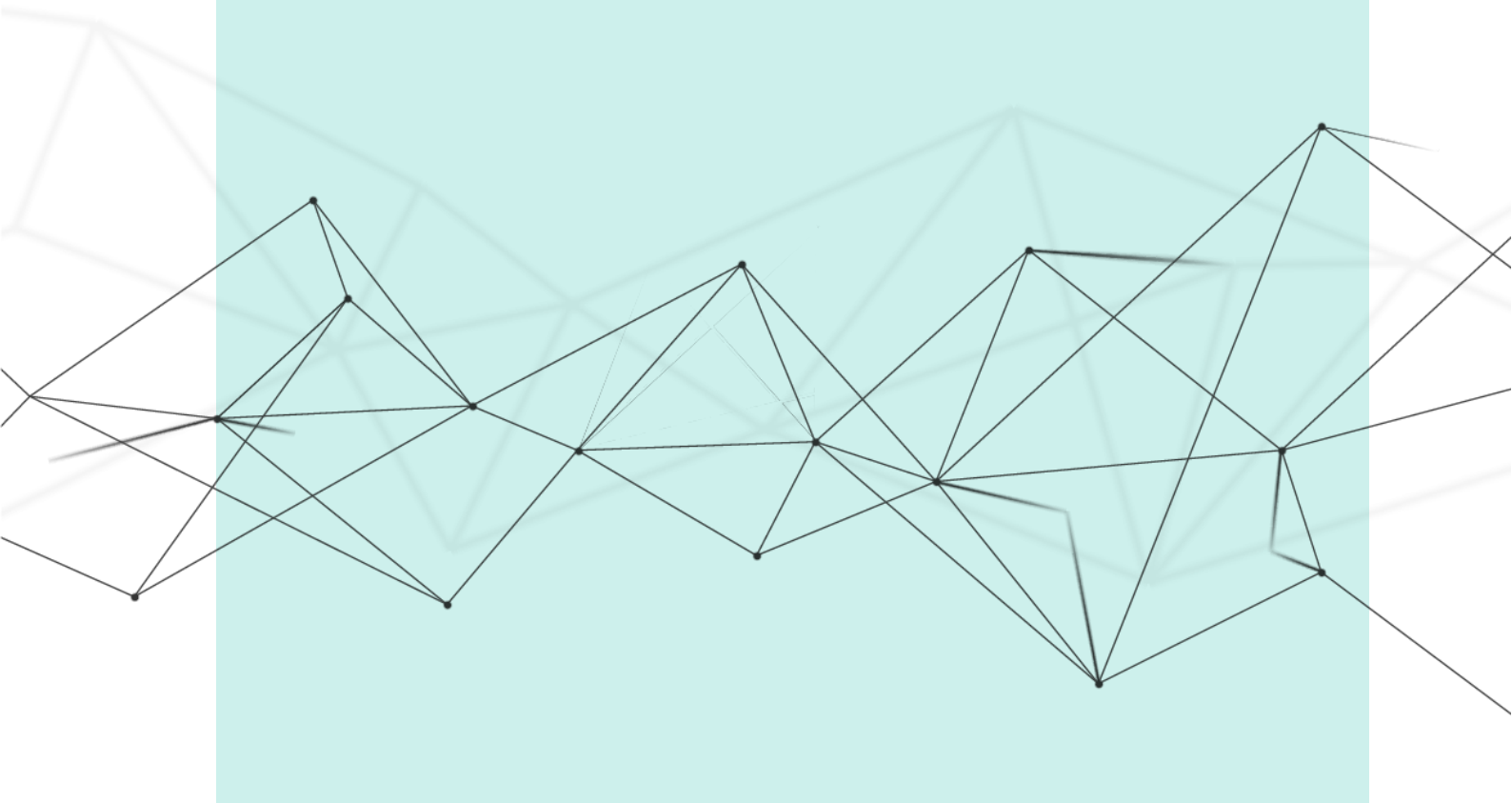
Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Staatssekretariat für Wirtschaft SECO



Grundlagen für die
Wirtschaftspolitik **Nr. 48**

Studie | Februar 2024

Was erklärt die tiefe Energieintensität der Schweizer Wirtschaft?





Grundlagen für die
Wirtschaftspolitik

In der Publikationsreihe «Grundlagen für die
Wirtschaftspolitik» veröffentlicht das Staatssekretariat
für Wirtschaft SECO Studien und Arbeitspapiere,
welche wirtschaftspolitische Fragen im weiteren Sinne
erörtern.

Herausgeber

Staatssekretariat für Wirtschaft SECO

Holzikofenweg 36, CH-3003 Bern

Tel. +41 58 469 60 22

wp-sekretariat@seco.admin.ch

www.seco.admin.ch

Online

www.seco.admin.ch/studien

Autoren

Dr. Stefan Gorgels, Dr. Maria Polugodina und Dr.

Sevrin Waights

DIW Econ GmbH

Mohrenstrasse 58, DE-10117 Berlin

Zitierweise

Stefan Gorgels, Maria Polugodina und Sevrin

Waights (2024): «Was erklärt die tiefe

Energieintensität der Schweizer Wirtschaft?».

Grundlagen für die Wirtschaftspolitik Nr. 48.

Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Bern,

Schweiz.

Anmerkungen

Studie im Auftrag des Staatssekretariats für

Wirtschaft SECO.

Der vorliegende Text gibt die Auffassung der Auto-
ren wieder. Diese muss nicht notwendigerweise mit
derjenigen des Auftraggebers übereinstimmen.

Was erklärt die tiefe Energieintensität der Schweizer Wirtschaft?

Zusammenfassung

Die Schweiz weist im europäischen Vergleich, auch gegenüber Staaten mit ähnlich hoher Wirtschaftskraft pro Kopf, die niedrigste Energieintensität auf. Die geringere Energieintensität in der Schweiz erstreckt sich über alle Sektoren (Landwirtschaft, Industrie, Dienstleistungen und Haushalte). Eine Zerlegungsanalyse auf Sektorebene zeigt, dass die niedrige Schweizer Energieintensität nicht so sehr durch eine unterschiedliche Verteilung der Wertschöpfung über die Sektoren (Struktureffekt), sondern durch eine geringere Energieintensität innerhalb der Sektoren (Intensitätseffekt) bedingt ist. So sind die Anteile der verschiedenen Sektoren an der gesamten Bruttowertschöpfung vergleichbar mit Deutschland, die Energieintensität ist jedoch in jedem Sektor tiefer als in Deutschland.

Besonders tief ist die Energieintensität im Sekundärsektor, insbesondere im verarbeitenden Gewerbe. So verbraucht das verarbeitende Gewerbe der Schweiz weniger als ein Drittel der Energie des Französischen und weniger als die Hälfte der Energie des Deutschen für eine Einheit Bruttowertschöpfung. Eine Zerlegungsanalyse auf Branchenebene innerhalb des verarbeitenden Gewerbes zeigt, dass die Schweiz sowohl verstärkt in Branchen produziert, die grundsätzlich weniger energieintensiv sind (Struktureffekt), als auch innerhalb der Branchen energieeffizienter produziert (Intensitätseffekt), wobei der Intensitätseffekt deutlich stärker ausfällt. Inwiefern in diesem Intensitätseffekt wiederum strukturelle Effekte enthalten sind, bspw. eine Spezialisierung innerhalb von Branchen auf weniger energieintensive Tätigkeiten, kann mit derzeit vorhandenen Daten nicht quantifiziert werden.

Diese Befunde werden auch durch die Analyse des starken Rückgangs der Energieintensität (-35%) im Schweizer verarbeitenden Gewerbe zwischen 2010 und 2019 bestätigt. Zwar wirkte auch hier die Verschiebung der Branchenstruktur, der Intensitätseffekt überwiegt jedoch. So wurde der Struktureffekt insbesondere durch die wachsende Pharmaindustrie angetrieben, deren Energieintensität vergleichsweise gering ist und deren Anteil an der Bruttowertschöpfung des Schweizer Industriesektors zwischen 2010 und 2019 von 15 % auf 31 % anstieg. Der Intensitätseffekt erstreckt sich jedoch über 15 von 18 Branchen des verarbeitenden Gewerbes und spielte gerade auch in der Pharmabranche eine besonders wichtige Rolle. So ist die Energieintensität in der Pharmabranche mit einem Rückgang von 71 % am stärksten gesunken.

Zusätzliche Regressionsmethoden zeigen, dass die Energiepreise sowie der Anteil der Energieträger einen signifikanten negativen Einfluss auf die Energieintensität haben. Gemessen am Economic Policy Stringency (EPS) Index der OECD kann zudem ein negativer Effekt klima- und umweltpolitischer Maßnahmen auf die Energieintensität festgestellt werden, wobei der Effekt zwischen den Branchen variiert. Während in energieintensiven Branchen ein senkender Effekt von 12-15 % weniger Energieintensität pro Indexpunkt gemessen wird, wird für weniger energieintensive Branchen kein signifikanter Effekt gemessen. Ein Anstieg des EPS um einen Indexpunkt entspricht ungefähr dem Anstieg des EPS-Index der Schweiz zwischen 2010 und 2019.

Qu'est-ce qui explique la faible intensité énergétique de l'économie suisse ?

Résumé

En comparaison européenne, la Suisse a la plus basse intensité énergétique par habitant, même par rapport à des pays dont le PIB par habitant est aussi élevé. La basse intensité énergétique de la Suisse s'étend à tous les secteurs (agriculture, industrie, services et ménages). Une analyse de décomposition au niveau sectoriel montre que la basse intensité énergétique de la Suisse n'est pas tant due à une répartition différente de la valeur ajoutée entre les secteurs (effet structurel) qu'à une intensité énergétique plus basse au sein des secteurs (effet d'intensité). La part des différents secteurs dans la valeur ajoutée brute totale est comparable à celle de l'Allemagne, mais l'intensité énergétique de chaque secteur est inférieure à celle de l'Allemagne.

L'intensité énergétique est particulièrement basse dans le secteur secondaire, notamment dans l'industrie manufacturière. L'industrie manufacturière suisse consomme moins d'un tiers de l'énergie de la France et moins de la moitié de l'énergie de l'Allemagne pour une unité de valeur ajoutée brute. Une analyse de décomposition au niveau des branches au sein de l'industrie manufacturière montre que la Suisse produit à la fois davantage dans des branches qui sont en principe moins gourmandes en énergie (effet de structure) et qu'elle produit de manière plus efficace sur le plan énergétique au sein des branches (effet d'intensité), l'effet d'intensité étant nettement plus marqué. Les données actuellement disponibles ne permettent pas de quantifier dans quelle mesure cet effet d'intensité comprend à son tour des effets structurels, par exemple une spécialisation dans des activités moins intensives en énergie au sein des branches.

Ces résultats sont également confirmés par l'analyse de la forte baisse de l'intensité énergétique (-35 %) dans l'industrie manufacturière suisse entre 2010 et 2019. Bien que l'évolution de la structure de l'industrie manufacturière ait également eu un impact, l'effet de l'intensité l'a emporté. L'effet structurel est notamment dû à la croissance de l'industrie pharmaceutique, dont l'intensité énergétique est comparativement basse et dont la part de la valeur ajoutée brute dans le secteur industriel suisse est passée de 15 % à 31 % entre 2010 et 2019. L'effet d'intensité s'étend toutefois à 15 des 18 branches de l'industrie manufacturière et a joué un rôle particulièrement important, notamment dans la branche pharmaceutique. C'est dans la branche pharmaceutique que l'intensité énergétique a le plus fortement diminué, avec une baisse de 71 %.

D'autres méthodes de régression montrent que les prix de l'énergie et la part des sources d'énergie ont un impact négatif significatif sur l'intensité énergétique. Mesuré à l'aide de l'indice Economic Policy Stringency (EPS) de l'OCDE, l'effet négatif des mesures de politique climatique et environnementale sur l'intensité énergétique peut également être identifié, bien que l'effet varie selon les branches. Alors que dans les branches à forte consommation d'énergie, on mesure un effet de réduction de 12 à 15 % de l'intensité énergétique par point d'indice, aucun effet significatif n'est mesuré pour les branches moins intensives en énergie. Une augmentation du EPS d'un point d'indice correspond approximativement à l'augmentation de l'indice EPS de la Suisse entre 2010 et 2019.

Cosa spiega la bassa intensità energetica dell'economia svizzera?

Riassunto

Nel confronto europeo, la Svizzera ha l'intensità energetica pro capite più bassa, anche rispetto a Paesi con un PIL pro capite altrettanto elevato. La minore intensità energetica della Svizzera si estende a tutti i settori (agricoltura, industria, servizi). Un'analisi di scomposizione a livello settoriale mostra che la bassa intensità energetica svizzera non è dovuta tanto a una diversa distribuzione del valore aggiunto tra i settori (effetto strutturale), quanto piuttosto a una minore intensità energetica all'interno dei settori (effetto intensità). Le quote dei vari settori sul valore aggiunto lordo totale sono paragonabili a quelle della Germania, ma l'intensità energetica di ciascun settore è inferiore a quella tedesca.

L'intensità energetica è particolarmente bassa nel settore secondario, soprattutto nell'industria manifatturiera. L'industria manifatturiera svizzera consuma meno di un terzo dell'energia della Francia e meno della metà dell'energia della Germania per un'unità di valore aggiunto lordo. Un'analisi di scomposizione all'interno dell'industria manifatturiera mostra che la Svizzera produce di più in sotto-settori industriali generalmente meno energivori (effetto strutturale) ma produce anche in modo più efficiente dal punto di vista energetico all'interno dei sotto-settori (effetto intensità), con il secondo effetto che si rivela significativamente più forte del primo. Con i dati attualmente disponibili non è possibile quantificare in che misura questo effetto di intensità includa a sua volta effetti strutturali, ad esempio la specializzazione all'interno dei sotto-settori in attività a minore intensità energetica.

Questi risultati sono confermati anche dall'analisi del forte calo dell'intensità energetica (-35%) nell'industria manifatturiera svizzera tra il 2010 e il 2019. Sebbene il cambiamento nella struttura dell'industria manifatturiera abbia avuto un impatto anche in questo caso, l'effetto intensità è stato superiore. L'effetto strutturale è stato determinato in particolare dalla crescita dell'industria farmaceutica, la cui intensità energetica è relativamente bassa e la cui quota di valore aggiunto lordo nel settore industriale svizzero è passata dal 15% al 31% tra il 2010 e il 2019. Tuttavia, l'effetto intensità si estende a 15 dei 18 sotto-settori manifatturieri e ha svolto un ruolo particolarmente importante nell'industria farmaceutica. L'intensità energetica è diminuita in misura maggiore nell'industria farmaceutica, con un calo del 71%.

Ulteriori metodi di regressione mostrano che i prezzi dell'energia e la quota di fonti energetiche hanno un impatto negativo significativo sull'intensità energetica. Misurato rispetto all'indice di severità delle politiche ambientali (*Environmental Policy Stringency*, EPS) dell'OCSE, è possibile individuare anche un effetto negativo delle misure di politica climatica e ambientale sull'intensità energetica, sebbene l'effetto vari da settore a settore. Mentre nei settori ad alta intensità energetica si misura un effetto di riduzione dell'intensità energetica del 12-15% per punto indice, nei settori a minore intensità energetica non si misura alcun effetto significativo. Un aumento dell'EPS di un punto indice corrisponde all'incirca all'aumento dell'indice EPS in Svizzera tra il 2010 e il 2019.

What explains the low energy intensity of the Swiss economy?

Summary

In a European comparison, Switzerland has the lowest energy intensity per capita, even compared to countries with similarly high GDP per capita. The lower energy intensity in Switzerland extends across all sectors (agriculture, industry, services and households). A decomposition analysis at sector level shows that the low Swiss energy intensity is not so much due to a different distribution of value added across the sectors (structural effect), but rather to a lower energy intensity within the sectors (intensity effect). The shares of the various sectors in total gross value added are comparable to Germany, but the energy intensity in each sector is lower than in Germany.

Energy intensity is particularly low in the secondary sector, especially in the manufacturing industry. Switzerland's manufacturing industry consumes less than a third of the energy of France and less than half of the energy of Germany for one unit of gross value added. A decomposition analysis within the manufacturing industry shows that Switzerland produces more in industry sub-sectors that are generally less energy-intensive (structural effect) and also produces more energy-efficiently within the sub-sectors (intensity effect), with the intensity effect being significantly stronger. The extent to which this intensity effect in turn includes structural effects, e.g. specialisation within sub-sectors in less energy-intensive activities, cannot be quantified with the data currently available.

These findings are also confirmed by the analysis of the sharp decline in energy intensity (-35%) in the Swiss manufacturing industry between 2010 and 2019. Although the shift in the structure of the manufacturing industry also had an impact here, the intensity effect outweighed it. The structural effect was driven in particular by the growing pharmaceutical industry, whose energy intensity is comparatively low and whose share of gross value added in the Swiss industrial sector rose from 15% to 31% between 2010 and 2019. However, the intensity effect extends across 15 of the 18 manufacturing sub-sectors and played a particularly important role in the pharmaceutical industry. Energy intensity fell most sharply in the pharmaceutical industry, with a decrease of 71 %.

Additional regression methods show that energy prices and the share of energy sources have a significant negative impact on energy intensity. Measured against the OECD's Economic Policy Stringency (EPS) Index, a negative effect of climate and environmental policy measures on energy intensity can also be identified, although the effect varies between sectors. While a reducing effect of 12 - 15 % less energy intensity per index point is measured in energy-intensive sectors, no significant effect is measured for less energy-intensive sectors. An increase in EPS by one index point corresponds approximately to the increase in the EPS index in Switzerland between 2010 and 2019.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Methodik und Datengrundlage	3
2.1	Definition der Energieintensität und Daten zum Energieverbrauch	3
2.2	Methodik und Datengrundlage der Zerlegungsanalyse	5
2.3	Methodik und Datengrundlage der Regressionsanalyse.....	7
3.	Die Schweizer Energieintensität im Zeitverlauf und im europäischen Vergleich	8
3.1	Entwicklung der Energieintensität in der Schweiz	8
3.2	Entwicklung der Energieintensität im Schweizer Industriesektor.....	12
4.	Zerlegungsanalyse	16
4.1	Entwicklung der Energieintensität in der Schweiz	16
4.2	Schweizer Energieintensität im internationalen Vergleich	19
5.	Einflussfaktoren der Schweizer Energieintensität	21
5.1	Auswahl potentieller Einflussfaktoren	21
5.1.1	Klimapolitik.....	21
5.1.2	Branchenspezifische Einflussfaktoren.....	25
5.1.3	Gesamtwirtschaftliche Indikatoren.....	27
5.2	Ökonometrische Analyse der Einflussfaktoren	29
5.2.1	Paneldatenanalyse	29
5.2.2	Querschnittsdatenanalyse.....	35
6.	Fazit	38
	Literaturverzeichnis	40
Anhang A.	Datengrundlage	43
Anhang B.	Schweizer Energieintensität im Zeitverlauf und internationalen Vergleich	52
Anhang C.	Ergebnisse der Regressionsanalyse	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Internationaler Vergleich der Energieintensität über verschiedene Sektoren (2019).....	1
Abbildung 2-1:	Schweizer Energiesystem in 2019	4
Abbildung 2-2:	Übersicht der verschiedenen Ebenen der Zerlegungsanalyse	6
Abbildung 3-1:	Energieintensität (Schweiz = 1) im internationalen Vergleich, 2019	9
Abbildung 3-2:	Energieintensität (TJ/Mio. konstante 2015 EUR) in der Schweiz und der EU nach Sektoren, 2019	10
Abbildung 3-3:	Energieintensität in der Schweiz nach Sektoren (2010 = 100%)	11
Abbildung 3-4:	Energieintensität, Energieverbrauch und Bruttoinlandsprodukt (2010 = 1), Schweiz 2010 – 2019	11
Abbildung 3-5:	Energieintensität, Energieverbrauch und Bruttoinlandsprodukt (2010 = 1) nach Sektoren, Schweiz 2010 – 2019	12
Abbildung 3-6:	Energieintensität, Bruttowertschöpfung und Energieverbrauch (2010 = 1) im verarbeitenden Gewerbe, Schweiz 2010 – 2019.....	13
Abbildung 3-7:	Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe im internationalen Vergleich (Schweiz = 1), 2019	13
Abbildung 3-8:	Anteil (%) an der Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2019	14
Abbildung 3-9:	Energieintensität (TJ/Mio. konstante 2015 EUR) im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2019.....	15
Abbildung 3-10:	Veränderung (%) von Energieintensität, Bruttowertschöpfung und Energieverbrauch im verarbeitenden Gewerbe, Schweiz 2010 – 2019	16
Abbildung 4-1:	Zerlegungsanalyse der Energieintensität, Schweiz 2010 – 2019.....	17
Abbildung 4-2:	Zerlegungsanalyse der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe, Schweiz 2010 – 2019	18
Abbildung 4-3:	Zerlegungsanalyse der gesamtwirtschaftlichen Energieintensität, internationaler Vergleich 2019.....	19
Abbildung 4-4:	Zerlegungsanalyse der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe, internationaler Vergleich 2019.....	20
Abbildung 5-1:	Energieintensität in der Schweiz, 2010 = 1, und umweltpolitische Meilensteine	23
Abbildung 5-2:	Environmental Policy Stringency Index	24

Abbildung 5-3:	Environmental Policy Stringency Index und Energieintensität (TJ/Mio. Euro, rechte Achse), 2010 – 2019	24
Abbildung 5-4:	Product Market Regulation Index 2013.....	29
Abbildung A-1:	Energieverbrauch (PJ) in der Schweizer Industrie, 2010 – 2019	45
Abbildung A-2:	Entwicklung der Energieintensität vor und nach Entfernen des Rohöl- und Kohleverbrauchs in Branche C19, links für die gesamte Wirtschaft, rechts für das verarbeitende Gewerbe (2010 = 1).....	46
Abbildung A-3:	Schätzung der Energieverbräuche in Schweizer Sektoren C19 und C20	48
Abbildung B-1:	Energieintensität im Primärsektor, 2019 (Schweiz = 1).....	52
Abbildung B-2:	Energieintensität im Sekundärsektor, 2019 (Schweiz = 1)	52
Abbildung B-3:	Energieintensität im Tertiärsektor, 2019 (Schweiz = 1)	53
Abbildung B-4:	Energieintensität bei Haushalten, 2019 (Schweiz = 1)	53
Abbildung B-5:	Anteil (%) an der Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2010	54
Abbildung B-6:	Energieverbrauch (TJ) im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2019	54
Abbildung B-7:	Energieverbrauch (TJ) im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2010	55
Abbildung B-8:	Energieintensität (TJ/Mio. konstante 2015 EUR) im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2010.....	55
Abbildung B-9:	Energieintensität (TJ/Mio. konstante 2015 EUR) nach Industriebranchen, 2019.....	56

Tabellenverzeichnis

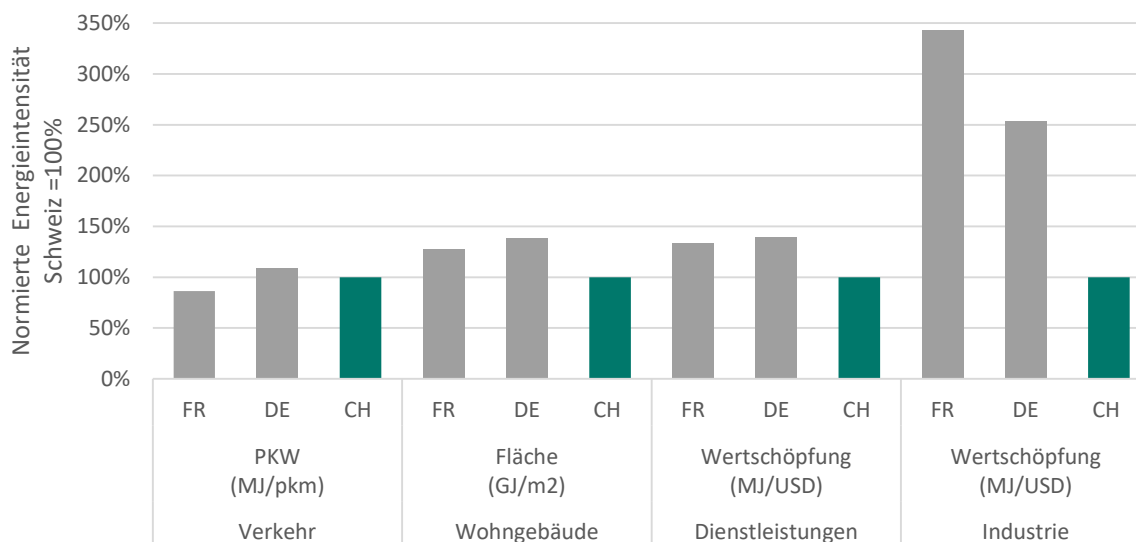
Tabelle 5-1:	Fixed-Effects-Regressionen gesamt und nach Industriotyp (aggregierter EPS)	32
Tabelle 5-2:	Querschnittsregressionen der Energieintensität (2018)	36
Tabelle A-1:	Überblick über die Sektoren	43
Tabelle A-2:	Überblick über die Länder	43
Tabelle A-3:	Datenquellen	44
Tabelle A-4:	Zuordnung der NOGA-Gruppen den NACE-Branchen in den PEFA-Daten	49
Tabelle A-5:	Zuordnung der NACE-Branchen in den PEFA-Daten den Sektoren in den Energiebilanzen	50
Tabelle C-1:	Fixed-Effects-Regressionen gesamt und nach Industriotyp (EPS-Teilindizes der 1. Ebene)	58
Tabelle C-2:	Fixed-Effects-Regressionen gesamt und nach Industriotyp (EPS-Teilindizes der 2. Ebene)	58
Tabelle C-3:	Fixed-Effects-Regressionen für die Schweiz	59
Tabelle C-4:	Alternative Spezifikationen für die Paneldatenanalyse.....	60
Tabelle C-5:	Fixed-Effects-Regressionen gesamt und nach Industriotyp (aggregierter EPS), alternative Industrieaufteilung.....	62
Tabelle C-6:	Querschnittsregressionen der Energieintensität (2013)	63

1. Einleitung

Die Senkung der Energieintensität (bzw. die Steigerung der Energieeffizienz) ist einer der wesentlichen Bausteine zur klimaneutralen Transformation und somit zur Erreichung der internationalen Klimaziele (United Nations 2023). Seit dem russischen Angriff auf die Ukraine haben die wirtschaftlichen Belastungen durch die Energiepreiskrise dazu geführt, dass das Thema Energieeffizienz in politischen und gesellschaftlichen Diskursen nochmals an Bedeutung gewonnen hat (Acatech, Leopoldina & Akademienunion 2022).¹

Die Schweiz zeichnet sich im internationalen Vergleich sowohl gesamtwirtschaftlich als auch auf sektoraler Ebene durch eine besonders niedrige Energieintensität aus. Die Endenergienachfrage sank in der Schweiz zwischen 2000 und 2019 durchschnittlich um 0,5 % pro Jahr, während das Bruttoinlandsprodukt durchschnittlich um 2,4 % wuchs, wodurch die Energieintensität stetig zurückging (Bhadbhade, et al. 2021). Wie Abbildung 1-1 zeigt, weist insbesondere der Schweizer Industriesektor eine sehr niedrige Energieintensität im internationalen Vergleich auf.

Abbildung 1-1:
Internationaler Vergleich der Energieintensität über verschiedene Sektoren (2019)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von IEA (2023).

¹ Energieeffizienz bedeutet weniger Energie für das gleiche Maß an wirtschaftlicher Aktivität zu verbrauchen. Als Indikator für die Energieeffizienz wird in der Regel der Energieverbrauch je produzierter Bruttowertschöpfungseinheit, die sogenannte Energieintensität verwendet (Miskinis, et al. 2020, Pehnt 2010).

Die Schweizer Industrie verbraucht weniger als ein Drittel der Energie der französischen Industrie und weniger als die Hälfte der Energie der deutschen Industrie für eine Einheit Bruttowertschöpfung. Auch die Schweizer Verkehrs-, Gebäude und Dienstleistungssektoren zeichnen sich durch eine vergleichsweise geringe Energieintensität aus; auch wenn die Unterschiede in diesen Bereichen nicht so stark auffallen wie im Industriesektor. Grundsätzlich sollte beachtet werden, dass eine niedrigere Energieintensität auf gesamtwirtschaftlicher und sektoraler Ebene nicht zwangsläufig durch eine energieeffizientere Produktion derselben Güter und Dienstleistungen zu erklären ist, sondern beispielsweise auch durch unterschiedliche Wirtschaftsstrukturen und Spezialisierungen innerhalb der Sektoren bedingt sein kann (Bhadbhade, et al. 2021, Filipović, Verbič und Radovanović 2015).

Um Rückschlüsse auf die Ursachen der positiven Entwicklung der Energieintensität in der Schweiz ziehen zu können, werden daher in der vorliegenden Studie die verschiedenen Faktoren, die zur niedrigen Energieintensität beitragen, differenziert erfasst und gemäß ihrem Beitrag zur niedrigen Schweizer Energieintensität quantifiziert. Der Industriesektor steht aufgrund der besonders niedrigen Energieintensität im Ländervergleich im Fokus der Studie. Konkret werden in der Studie folgende Forschungsfragen adressiert:

- Wie hat sich die Energieintensität in der Schweiz insgesamt sowie in den verschiedenen Sektoren über die Zeit entwickelt?
- Wie ist die Energieintensität in der Schweiz im Vergleich zu den EU-Staaten (nach Sektoren und nach Branchen innerhalb des Industriesektors)?
- Inwiefern hat in der Schweiz eine Entkopplung des Energieverbrauchs von der Wertschöpfung stattgefunden?
- Inwiefern lässt sich die Senkung der Energieintensität in der Schweiz zwischen 2010 und 2019 durch Verschiebungen zwischen den Sektoren (Branchen) oder durch eine effizientere Produktion innerhalb der Sektoren (Branchen) erklären?
- Inwiefern lässt sich die niedrige Energieintensität in der Schweiz im Vergleich zu den EU-27 Staaten durch eine unterschiedliche Verteilung über die Sektoren (Branchen) oder durch eine effizientere Produktion innerhalb der Sektoren (Branchen) erklären?
- Inwiefern können bestimmte Einflussfaktoren wie z.B. die Exportintensität, Produktivität, Kapitalintensität oder regulatorische Rahmenbedingungen die niedrige Energieintensität in der Schweiz über die Zeit und im Vergleich zu den EU-Staaten erklären?

Diese Forschungsfragen werden mit unterschiedlichen quantitativen Methoden untersucht. Zunächst wird die Entwicklung des Energieverbrauchs, der wirtschaftlichen Aktivität und der Energieintensität

in der Schweiz im zeitlichen Vergleich sowie im Vergleich zu anderen Ländern deskriptiv analysiert. Im nächsten Schritt wird eine Zerlegungsanalyse durchgeführt, die Veränderungen in der Energieintensität in Struktur- und Intensitätseffekte aufteilt. Schließlich werden unterschiedliche Einflussfaktoren der Energieintensität in der Industrie mit Hilfe von Regressionsanalysen untersucht.

Die Methodik und Datengrundlage der Studie werden in Kapitel 2 genauer erläutert. Kapitel 3 betrachtet die Energieintensität der Schweiz im Verlauf der Zeit und im europäischen Vergleich, und in Kapitel 4 wird sie mit Hilfe der Zerlegungsanalyse untersucht. In Kapitel 5 werden potentielle Erklärungsfaktoren der niedrigen Schweizer Energieintensität ökonomisch analysiert. Im letzten Kapitel erfolgt ein Fazit der Studienergebnisse.

2. Methodik und Datengrundlage

2.1 Definition der Energieintensität und Daten zum Energieverbrauch

Die Energieintensität gibt an, wieviel Energie pro Einheit generierter Leistung verbraucht wird. Aus wirtschaftlicher Perspektive wird in der Regel die Wertschöpfung zur Leistungsmessung herangezogen:²

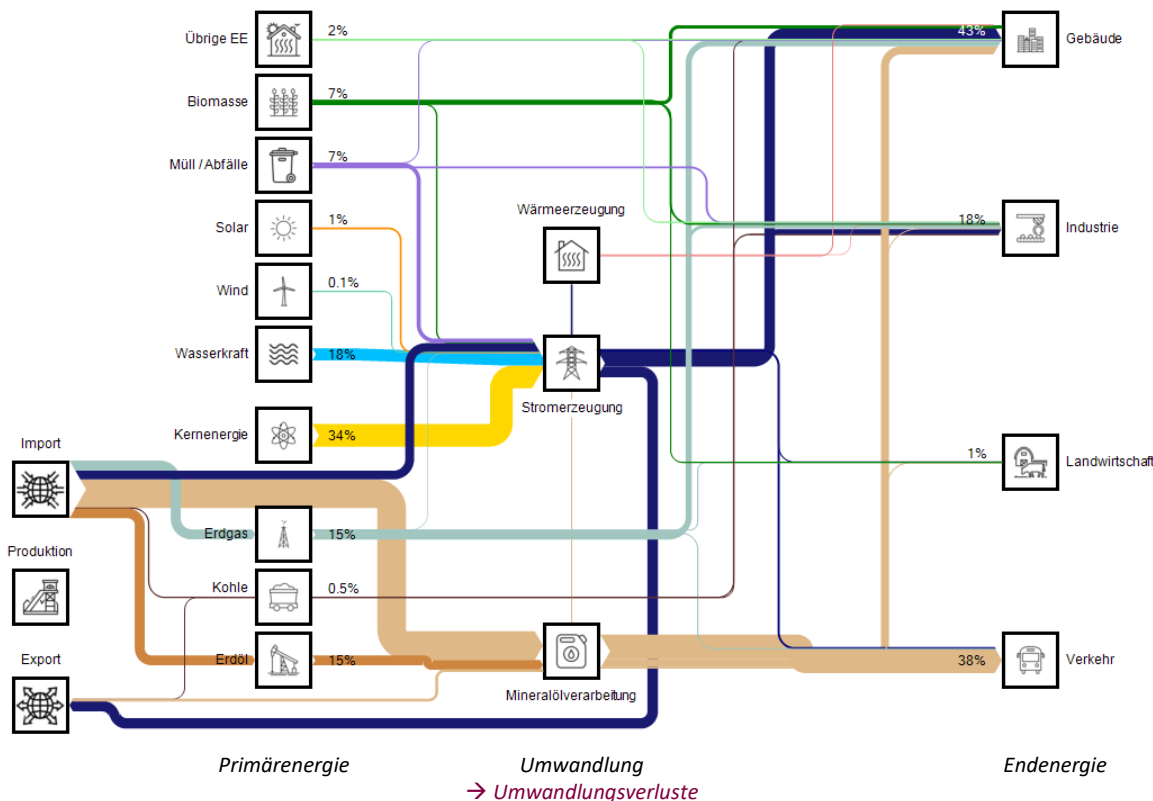
$$\text{Energieintensität} = \frac{\text{Energieverbrauch}}{\text{Wertschöpfung}}$$

Dabei kann der Energieverbrauch anhand des Primärenergieangebots oder des Endenergieverbrauchs gemessen werden. Diese Unterscheidung kann mithilfe eines Sankey-Diagramms, welches die Energieflüsse im gesamten Energiesystem zeigt, illustriert werden (vgl. Abbildung 2-1). Zum Primärenergieangebot gehören alle primären, d.h. direkt aus der Natur bezogenen Energiequellen wie fossile Energie oder erneuerbare Wind- und Solarenergie (links in Abbildung 2-1). Im Umwandlungsbereich (mittig in Abbildung 2-1) wird ein Teil der Primärenergie in sekundäre Energiequellen wie Strom, Wärme oder Ölprodukte umgewandelt. Dadurch entstehen Energieverluste, die sich abhängig von Prozessen bzw. eingesetzten Technologien und der Art der Energiequelle unterscheiden. Der Endenergieverbrauch (rechts in Abbildung 2-1) umfasst sowohl die direkte Endnutzung der primären Energiequellen als auch den Verbrauch der sekundären Energie. In

² Zur Berechnung der Energieintensität der Haushalte werden in dieser Studie die Gesamtkonsumausgaben im Nenner verwendet.

der Energiestatistik wird der Energieverbrauch in der Regel nicht nach Wirtschaftszweigen klassifiziert, sondern nach den wichtigsten Verbrauchergruppen – Gebäude, Industrie, Verkehr und Landwirtschaft.

Abbildung 2-1:
Schweizer Energiesystem in 2019



Anmerkung: Zu übrigen erneuerbaren Energien gehören thermische Solarenergie, Erd- und Umgebungswärme für Endverbrauch in Industrie und Gebäuden. Wärmeerzeugung in Fernheizkraftwerken wird in Verbindung mit Stromerzeugung abgebildet. Daten zu Landwirtschaft umfassen sowohl den landwirtschaftlichen Sektor als auch statistische Differenzen.

Quelle: DIW Econ, basierend auf Schweizer Energiebilanz.

Für einzelne (Endverbrauchs-)Sektoren wird die Energieintensität meist auf Basis des Endenergieverbrauchs berechnet. Da ein Fokus der vorliegenden Studie auf der Analyse sektoraler Unterschiede in der Energieintensität liegt, konzentrieren wir uns im Folgenden auf den Endenergieverbrauch.

Die Energiestatistiken werden nicht nach Wirtschaftszweigen, sondern nach Bereichen im Energiesystem erfasst. Außerdem liegt die Statistik zum Endenergieverbrauch in der Schweiz nur für Sektorenguppen vor, so dass wichtige Branchen wie beispielsweise chemische und pharmazeutische Industrie nicht im Detail betrachtet werden können. Daher wird im Rahmen dieser Untersuchung der

PEFA-Datensatz zum Gesamtenergieverbrauch genutzt.³ Dieser besteht aus End- sowie transformativem Energieverbrauch und erfasst Informationen nach europäischer Klassifikation der Wirtschaftszweige (NACE Rev. 2).

Durch die Einbeziehung des transformativen Energieverbrauchs entsteht allerdings eine Verzerrung im Sektor C19 Mineralölverarbeitung und Kokereien, da auch die Nutzung des Rohöls und der Steinkohle für ihre Weiterverarbeitung in Ölprodukte bzw. Koks miterfasst wird. Damit entstehen durch Änderungen im Produktionsvolumen starke Schwankungen in der Energieintensität (vgl. Anhang A2). Die anschließenden Analysen werden um diese Verzerrungen bereinigt. Dafür werden die PEFA-Daten bereinigt, indem der gesamte Verbrauch von Rohöl und Steinkohle in diesem Sektor abgezogen wird.⁴

2.2 Methodik und Datengrundlage der Zerlegungsanalyse

Mithilfe der Zerlegungsanalyse können Veränderungen in der Energieintensität in Struktur- und Intensitätseffekte aufgeteilt werden. In dieser Studie wird die Zerlegungsanalyse auf zwei Ebenen durchgeführt. Zunächst wird auf der Ebene der Sektoren untersucht, inwiefern die Senkung der Energieintensität in der Schweiz über die Zeit auf eine Verschiebung der Produktion hin zu weniger energieintensiven Sektoren (Struktureffekt) oder auf eine Senkung der Energieintensität innerhalb der Sektoren (Intensitätseffekt) zurückgeführt werden kann. Anschließend wird der Fokus auf das verarbeitende Gewerbe gerichtet und es wird analysiert, inwiefern die Senkung der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe durch eine Verschiebung hin zu weniger energieintensiven Branchen (Struktureffekt) oder auf eine Senkung der Energieintensität innerhalb der Branchen (Intensitätseffekt) zu erklären ist.

Eine tiefergehende Zerlegungsanalyse bis runter auf Produktebene ist aufgrund fehlender Daten (insbesondere Energieverbrauchsdaten) nicht möglich. Um tiefergehende strukturelle Unterschiede innerhalb der Branchen des Industriesektors zumindest indirekt zu untersuchen, wird in der Regressionsanalyse der Einheitswert als Proxy für die Unterschiede auf Produktebene verwendet (siehe Kapitel 5). Außerdem kann mit den vorhandenen aggregierten Daten nicht untersucht werden,

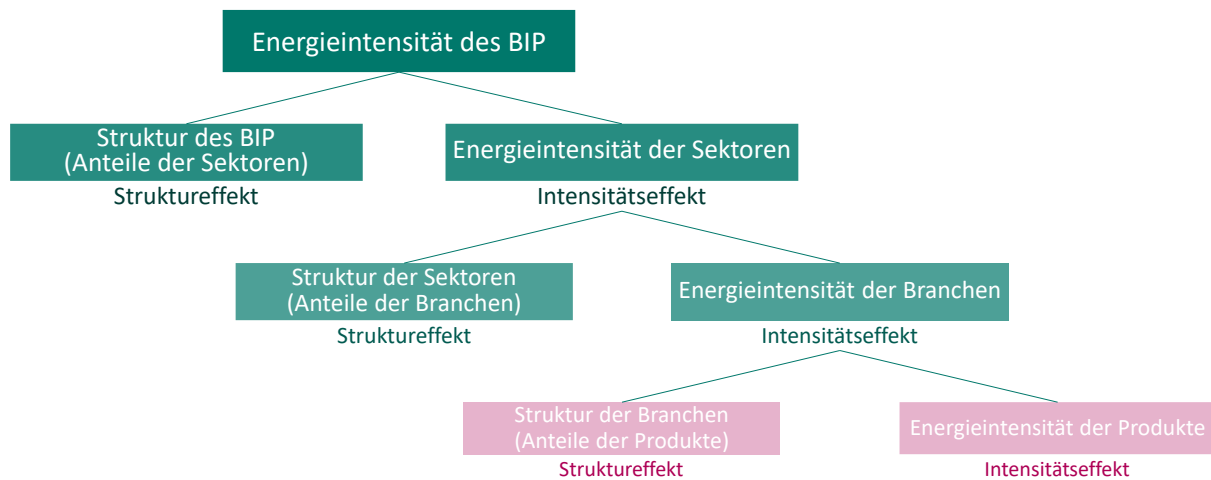
³ Engl.: Physical Energy Flow Accounts.

⁴ Es könnte argumentiert werden, dass Steinkohle auch für den Endverbrauch (z.B. Erzeugung der Prozesswärme) eingesetzt wird. In vielen Industrien ist dies auch in der Tat der Fall. Die Validität des Ansatzes wird allerdings durch die Analyse der Länder bestätigt, für die die PEFA-Daten auch in transformativen und Endverbrauch aufgeteilt vorliegen. Bis auf Irland (98 %) wird der gesamte Rohölverbrauch im Sektor C19 dem transformativen Verbrauch zugeordnet. Ebenfalls werden 99-100 % des Steinkohleverbrauchs im Sektor C19 für die Weiterverarbeitung verwendet. Damit kann angenommen werden, dass durch den Abzug keine Verzerrung des Endverbrauchs entsteht.

inwiefern die niedrige Schweizer Energieintensität womöglich durch eine unterschiedliche funktionale Arbeitsteilung innerhalb der Unternehmen bedingt ist.

Abbildung 2-2 illustriert, wie die verschiedenen Ebenen der Zerlegungsanalyse und die entsprechenden Struktur- und Intensitätseffekte miteinander verbunden sind.

Abbildung 2-2:
Übersicht der verschiedenen Ebenen der Zerlegungsanalyse



Quelle: DIW Econ.

In dieser Studie wird dazu der LMDI-I-Ansatz (*Logarithmic Mean Divisia Index I*) genutzt. Dieser findet bereits breite Anwendung in Energie- und Emissionsstudien (Ang 2015) und wird beispielsweise auch in der *IEA Energy Efficiency Indicators Database* (2023) genutzt. Bei einem Intensitätsindikator wie z.B. der Energieintensität wird ein multiplikativer Ansatz angewandt, um die Struktur- und Intensitätseffekte zu identifizieren. Dabei kann sowohl die Entwicklung der Schweizer Energieintensität über die Zeit als auch der Unterschied der Energieintensität der Schweiz im Vergleich zu anderen europäischen Staaten jeweils in Struktur- und Intensitätseffekte zerlegt werden (Ang, Xu und Su 2015).

Für die Zerlegungsanalyse werden insgesamt vier Datensätze auf Basis der EU-Statistik erstellt. Zwei Zeitreihendatensätze beinhalten die Wertschöpfungs- und Energieverbrauchsdaten der Schweiz zwischen 2010-2019. Die Daten liegen für die Gesamtwirtschaft, die wichtigsten Sektoren (Abschnittgruppen der NACE-Klassifikation) und die Haushalte sowie auf Zweistellerebene der NACE-Klassifikation für das verarbeitende Gewerbe vor.⁵ Aufgrund der Datenverfügbarkeit wurden die Branchen des verarbeitenden Gewerbes teilweise zusammengefasst.

⁵ Bei den Haushalten handelt es sich nicht um die Wertschöpfung, sondern die Konsumausgaben.

Neben den Zeitreihendatensätzen werden zwei Querschnittsdatensätze erstellt, um einen Ländervergleich zu ermöglichen. Diese beinhalten dieselben Informationen nach Sektoren bzw. Branchen (NACE-1- und NACE-2-Steller) für die Schweiz und die EU-27-Länder für das Jahr 2019.⁶

2.3 Methodik und Datengrundlage der Regressionsanalyse

Die Zerlegungsanalyse wird durch eine Regressionsanalyse der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe ergänzt.

Erstens wird eine **Paneldatenanalyse** durchgeführt, um den Einfluss spezifischer Faktoren wie der Exportintensität, Arbeitsintensität und der regulatorischen Rahmenbedingungen auf die Entwicklung der Energieintensität zu messen. Die Regressionsanalyse hat den Vorteil, dass sie in der Konzeption und Operationalisierung der potentiellen Einflussfaktoren der Energieintensität flexibel ist und es dadurch ermöglicht, die Auswirkungen der Faktoren auch bei eingeschränkter Datenverfügbarkeit zu untersuchen. Zudem kann die Paneldimension des Datensatzes, also die Beobachtung der Energieintensität in den Branchen des verarbeitenden Gewerbes in verschiedenen Staaten über die Jahre 2010 bis 2019, dazu genutzt werden, um für Fixed Effects auf Branchen-Länder-Ebene sowie für die Jahre zu kontrollieren (Jin 2022, Du, et al. 2016, Filipović, Verbič und Radovanović 2015). Dadurch kann für alle unbeobachteten Einflussfaktoren der Energieintensität auf Branchenebene innerhalb der Länder, die über die Zeit konstant sind, kontrolliert werden. Genauso kontrollieren die Jahres-Fixed Effects für generelle Trends über die Zeit. Dadurch können potentiell verzerrende Effekte in der Schätzung eliminiert werden, sodass die geschätzten Koeffizienten eher kausal interpretiert werden können.⁷

Zweitens wird mithilfe einer **Querschnittsdatenanalyse** der Effekt des OECD Product market regulation index (PMR) auf die Energieintensität zu untersucht. Der PMR kann nicht in der Paneldatenanalyse berücksichtigt werden, da der Index nur für die Jahre 2013 und 2018 vorliegt, wobei der PMR in den beiden Jahren mit einer unterschiedlichen Methodik berechnet wurde, sodass die Werte für die beiden nur eingeschränkt vergleichbar sind.⁸ Wir konzentrieren uns in der Querschnittsanalyse auf das Jahr

⁶ Außer Schweden, wo erhebliche Datenlücken bestehen.

⁷ Die Spezifikation der Panelregression wird im Detail in Abschnitt 5.2.1. beschrieben.

⁸ Die Struktur des PMR wurde stark verändert, indem manche Sub-Indikatoren entfernt und andere hinzugefügt wurden. Dadurch kann es zu erheblichen Veränderungen der Indexwerte kommen, auch wenn sich die einzelnen Teilindikatoren über die Zeit kaum verändern.

2018, da die Länderabdeckung durch den PMR in diesem Jahr größer ist. Das Jahr 2013 wird jedoch als Sensitivitätskontrolle getestet.

Für die Regressionsanalyse werden Daten zum Energieverbrauch, der Bruttowertschöpfung und Einflussfaktoren der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe (Abschnitt C) auf Zweistellerebene für die Schweiz und für ausgewählte EU-Länder zwischen 2010-2019 verwendet. Aufgrund der Datenverfügbarkeit und um eine bessere Vergleichbarkeit der Länder mit der Schweiz sicherzustellen, werden nur die OECD-Länder einbezogen, so dass insgesamt 21 EU-Länder betrachtet werden. Die Hauptquellen sind Statistiken der OECD und der EU, die durch Daten der Weltbank, der Internationalen Energieagentur (IEA) und der Handelsdatenbank UN Comtrade ergänzt werden. Die Auswahl der Variablen wird im Abschnitt 5.1 näher erläutert und ein Überblick über der Datenquellen für alle Variablen ist in Anhang A enthalten.

In der Energiestatistik für die Schweiz werden die Branchen C19 (Kokereien und Mineralölverarbeitung) und C20 (Chemische Industrie) zusammengefasst. Da beide Branchen starke Unterschiede in der Energieintensität aufweisen, die jeweils durch unterschiedliche Faktoren bedingt sein können, werden verschiedene Datenquellen miteinander kombiniert, um den Energieverbrauch für beide Branchen separat approximativ zu ermitteln.⁹

3. Die Schweizer Energieintensität im Zeitverlauf und im europäischen Vergleich

Als Ausgangspunkt für die folgende Analyse der Einflussfaktoren der niedrigen Schweizer Energieintensität erfolgt in diesem Kapitel zunächst ein deskriptiver Überblick über die Entwicklung der Schweizer Energieintensität im Zeitverlauf sowie ein Vergleich mit anderen europäischen Staaten.

3.1 Entwicklung der Energieintensität in der Schweiz

Insgesamt beträgt die Energieintensität der Schweiz im Jahr 2019 2,16 TJ je Mio. konstante 2015 Euro Bruttoinlandsprodukt (BIP). Im europäischen Vergleich hat die Schweizer Wirtschaft somit die niedrigste Energieintensität. Abbildung 3-1 vergleicht die gesamtwirtschaftliche Energieintensität der Schweiz mit 26 EU-Mitgliedsstaaten, wobei der Wert für die Schweiz auf 1 normiert wird. Dabei wird

⁹ Eine detaillierte Beschreibung des approximativen Ansatzes zur Ermittlung des Energieverbrauchs in den Branchen C19 und C20 erfolgt in Anhang A.

ersichtlich, dass alle Vergleichsstaaten eine höhere Energieintensität haben. Am stärksten fällt die Differenz für Bulgarien (13-fach), Estland (10-fach), Tschechien und Litauen (für beide 9-fach) aus. Aber auch in Deutschland (2,7) und Frankreich (3,5) ist die Energieintensität ungefähr dreimal so hoch.

**Abbildung 3-1:
Energieintensität (Schweiz = 1) im internationalen Vergleich, 2019**



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Abbildung 3-2 zeigt die Schweizer Energieintensität und die durchschnittliche Energieintensität der EU-Staaten in den vier Sektoren für das Jahr 2019.¹⁰ Grundsätzlich zeigen sich große sektorale Unterschiede in der Energieintensität in der Schweiz. Im Primärsektor, der die Land- und Forstwirtschaft und die Fischerei umfasst, ist die Energieintensität mit 16,07 TJ pro Mio. konstante 2015 Euro Bruttowertschöpfung (BWS) am höchsten. Darauf folgt der Sekundärsektor (Industrie, Versorgung, Bau) mit einer Energieintensität von 4,27 TJ pro Mio. Euro. Am geringsten ist die Energieintensität in der Schweiz bei Haushalten mit 1,08 TJ pro Mio. Euro und im Tertiärsektor (Dienstleistungen) mit 0,61 TJ pro Mio. Euro.¹¹

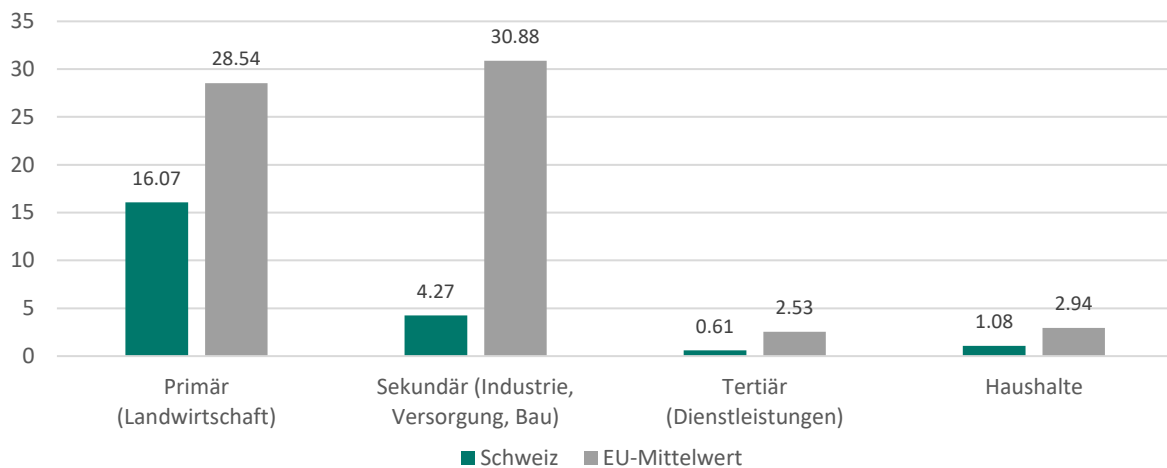
Im internationalen Vergleich ist zu erkennen, dass die Energieintensität der Schweiz in allen Sektoren geringer ausfällt als im europäischen Durchschnitt. Der stärkste Unterschied zeigt sich im

¹⁰ Eine entsprechende Grafik für jeden der vier betrachteten Sektoren nach Ländern kann Anhang B1 entnommen werden.

¹¹ Dabei muss beachtet werden, dass die drei Sektoren nur bedingt mit den Haushalten zu vergleichen sind, da die Energieeffizienz bei den Haushalten im Verhältnis zu den Konsumausgaben berechnet wird, und nicht wie bei den Sektoren im Verhältnis zur Bruttowertschöpfung.

Sekundärsektor, der neben dem verarbeitenden Gewerbe auch Bergbau, Versorgung und Bau beinhaltet. Dort hat die Schweiz mit 4,27 TJ pro Mio. Euro nach Irland (mit 4,06 TJ pro Mio. Euro) die zweitniedrigste Energieintensität, und die mittlere europäische Energieintensität ist mehr als siebenmal so groß wie die der Schweiz. Auch im Tertiärsektor und bei Haushalten hat die Schweiz die geringste Energieintensität unter den betrachteten Staaten. Nur im Primärsektor fällt der Unterschied geringer aus. Dennoch liegt die mittlere Energieintensität der EU-Staaten auch hier ca. 78 % über der Schweizer Energieintensität. Im Primärsektor hat die Schweiz mit einer Energieintensität von 16,07 TJ pro Mio. Euro zwischen Italien (15,8 TJ pro Mio. Euro) und Frankreich (17,7 TJ pro Mio. Euro) die siebtniedrigste Energieintensität.

Abbildung 3-2:
Energieintensität (TJ/Mio. konstante 2015 EUR) in der Schweiz und der EU nach Sektoren, 2019

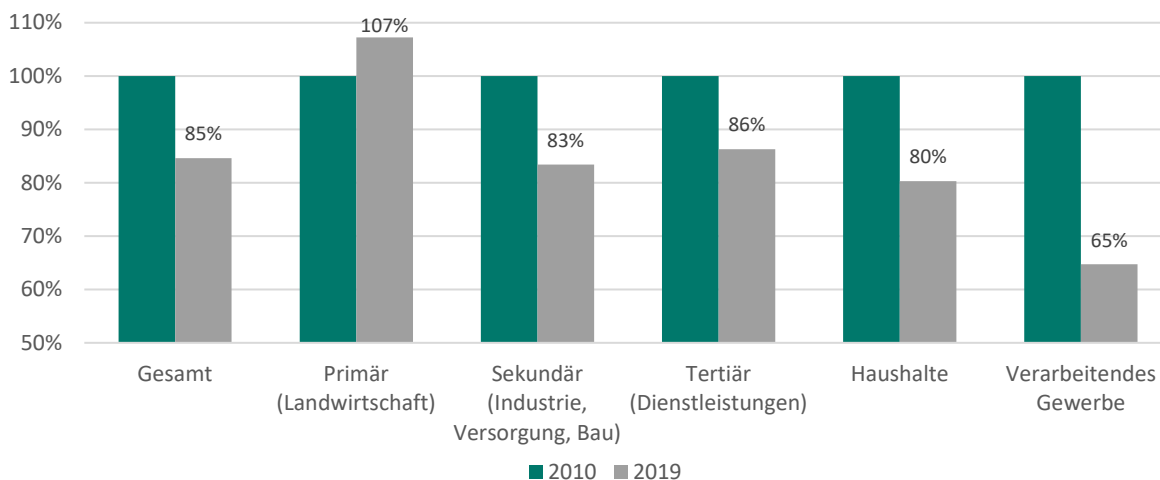


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Zudem ist die Energieintensität in der Schweiz zwischen 2010 und 2019 um 15,4 % gesunken (siehe Abbildung 3-3), während die Energieintensität im europäischen Ausland im Durchschnitt konstant geblieben ist (+0,1 %).¹² Dabei ist die Schweizer Energieintensität im sekundären Sektor um 16,6 %, im tertiären Sektor um 13,7 % und bei Haushalten um 19,7 % gesunken. Im verarbeitenden Gewerbe, das Teil des sekundären Sektors ist, hat sich die Energieintensität im betrachteten Zeitraum sogar um 35,27 % reduziert. Einzig im primären Sektor ist die Energieintensität in der Schweiz um 7,2 % gestiegen.

¹² Die durchschnittliche Entwicklung im europäischen Ausland seit 2010 wurde wegen begrenzter Datenverfügbarkeit für folgende Länder berechnet: Belgien, Deutschland, Dänemark, Italien, Lettland, Portugal und Slowenien.

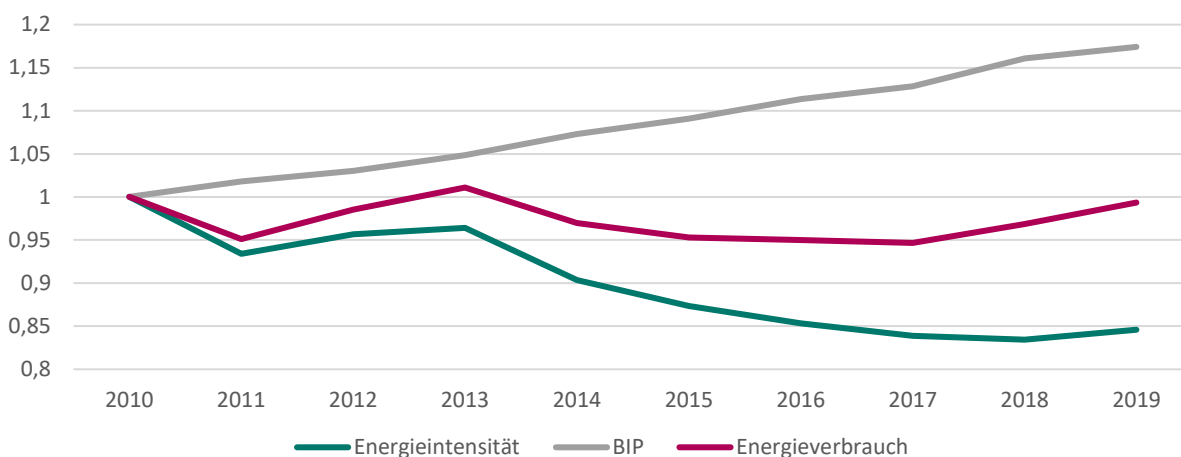
Abbildung 3-3:
Energieintensität in der Schweiz nach Sektoren (2010 = 100%)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Abbildung 3-4 zeigt den Verlauf von Energieintensität, Energieverbrauch und BIP in der Schweiz für den Zeitraum 2010 bis 2019. Insgesamt wächst das BIP im betrachteten Zeitraum um 17,4 %, während der Energieverbrauch gleichzeitig um 0,66 % fällt. Somit zeigt sich in der Schweiz eine Entkopplung der Bruttowertschöpfung vom Energieverbrauch.

Abbildung 3-4:
Energieintensität, Energieverbrauch und Bruttoinlandsprodukt (2010 = 1), Schweiz 2010 – 2019

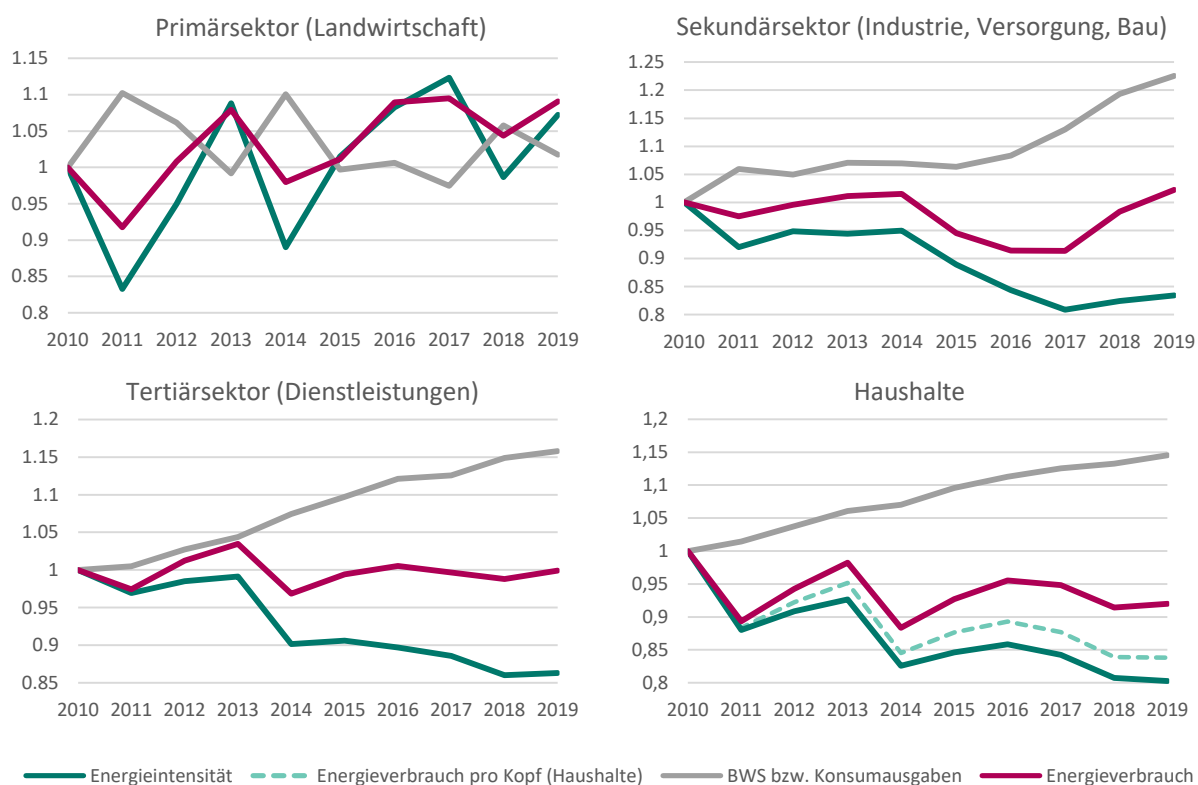


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Eine ähnliche Entkopplung zwischen Energieverbrauch und Bruttowertschöpfung (bzw. Konsumausgaben für Haushalte) zeigt sich auch innerhalb der Sektoren (siehe Abbildung 3-5). Im Sekundärsektor steigt die Bruttowertschöpfung um 22,6 % zwischen 2010 und 2019, während der Energieverbrauch mit 2,3 % nur leicht ansteigt. Im Tertiärsektor steigt die Bruttowertschöpfung um 15,8 % bei stagnierendem Energieverbrauch (-0,1 %). Die Konsumausgaben der Haushalte steigen um 14,6 % bei deutlich sinkendem Energieverbrauch (-8 %).

Die Ausnahme bildet auch hier der Primärsektor, in dem der Energieverbrauch um 9,1 % steigt, während die BWS dort nur um 1,7 % steigt. Zudem ist auffällig, dass sich der Energieverbrauch und die Bruttowertschöpfung im Primärsektor häufig in unterschiedliche Richtungen entwickeln. Wenn der Energieverbrauch steigt, sinkt die Bruttowertschöpfung und umgekehrt. Dadurch kommt es zu größeren Schwankungen in der Energieintensität über die Zeit als in anderen Sektoren.

Abbildung 3-5:
Energieintensität, Energieverbrauch und Bruttoinlandsprodukt (2010 = 1) nach Sektoren, Schweiz 2010 – 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

3.2 Entwicklung der Energieintensität im Schweizer Industriesektor

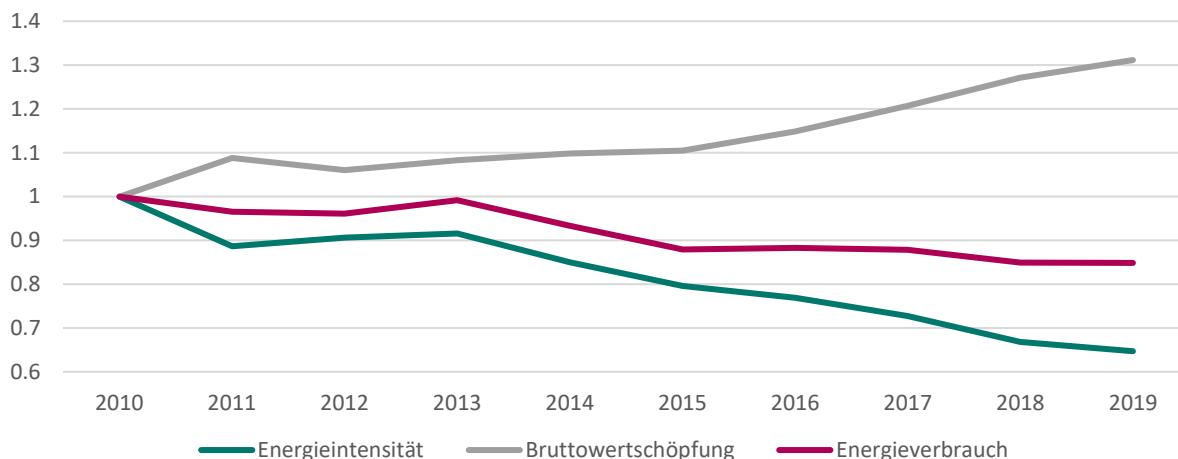
In diesem Abschnitt richtet sich der Fokus auf den Schweizer Industriesektor (verarbeitendes Gewerbe)¹³, wo die Energieintensität besonders niedrig ist im internationalen Vergleich: die durchschnittliche europäische Energieintensität ist hier mehr als siebenmal so hoch wie die der Schweiz (Abbildung 3-2).

Zudem zeigt Abbildung 3-6, dass die Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe in der Schweiz zwischen 2010 und 2019 um 35,27 % gesunken ist, und somit knapp 20 Prozentpunkte stärker als die

¹³ Das verarbeitende Gewerbe und Industriesektor werden in dieser Studie als Synonyme verwendet.

Energieintensität der gesamten Schweizer Wirtschaft (-15,4 %). Wie in der Gesamtwirtschaft ist auch im verarbeitenden Gewerbe eine Entkopplung der Wertschöpfung vom Energieverbrauch zu beobachten. Während die Bruttowertschöpfung um 31,2 % ansteigt, sinkt der Energieverbrauch gleichzeitig um 15,1 %.

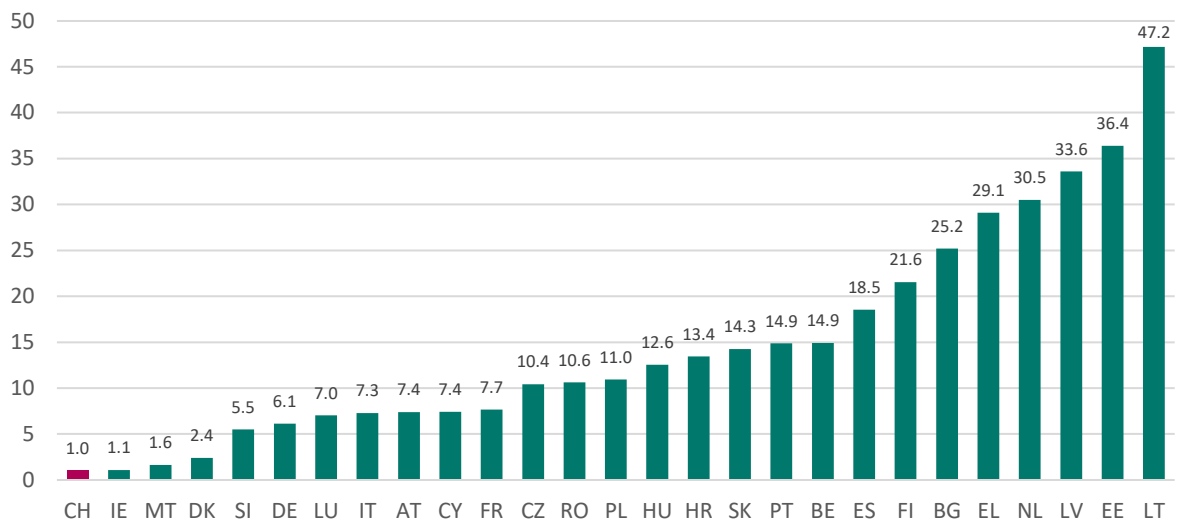
Abbildung 3-6:
Energieintensität, Bruttowertschöpfung und Energieverbrauch (2010 = 1) im verarbeitenden Gewerbe, Schweiz 2010 – 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

2019 weist die Schweizer Industrie eine Energieintensität von 1,24 TJ je Mio. konstante 2015 Euro Bruttowertschöpfung auf. Damit hat die Schweiz auch im verarbeitenden Gewerbe, wie bereits auf gesamtwirtschaftlicher Ebene, die geringste Energieintensität unter allen betrachteten Ländern (siehe Abbildung 3-7). Die Unterschiede reichen von ca. 8 % höherer Energieintensität in Irland bis zum 47-fachen der Schweizer Energieintensität in Litauen.

Abbildung 3-7:
Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe im internationalen Vergleich (Schweiz = 1), 2019



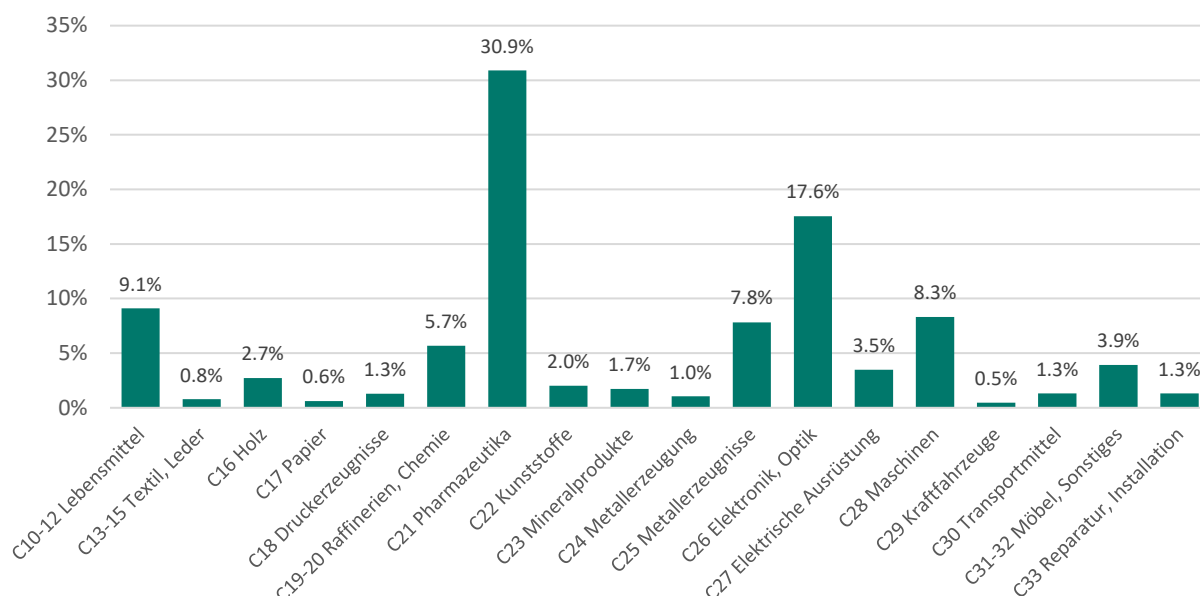
Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Energieintensität in den Branchen des Industriesektors

Das verarbeitende Gewerbe setzt sich aus verschiedenen Branchen zusammen, die sich in Energieverbrauch und Bruttowertschöpfung teils deutlich unterscheiden. Einen Überblick über die einzelnen Branchen im verarbeitenden Gewerbe befindet sich in Anhang A.

Abbildung 3-8 zeigt den Anteil, den die einzelnen Branchen im Jahr 2019 an der Bruttowertschöpfung (BWS) des verarbeitenden Gewerbes ausmachen. Die größten Branchen, gemessen an der BWS, sind C21 (Pharmazeutische Industrie) mit 30,9 % und C26 (Elektronik, Optik) mit 17,6 %. Darauf folgen die Branchen C10-12 (Lebensmittel, Getränke, Tabak) mit 9,1 %, C28 (Maschinen) mit 8,3 % und C25 (Metallerzeugnisse) mit 7,8 %. Dies sind dieselben Branchen, die bereits 2010 den größten Anteil der Bruttowertschöpfung in der Schweizer Industrie ausmachten (vgl. Abbildung B-5 im Anhang B).

Abbildung 3-8:
Anteil (%) an der Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

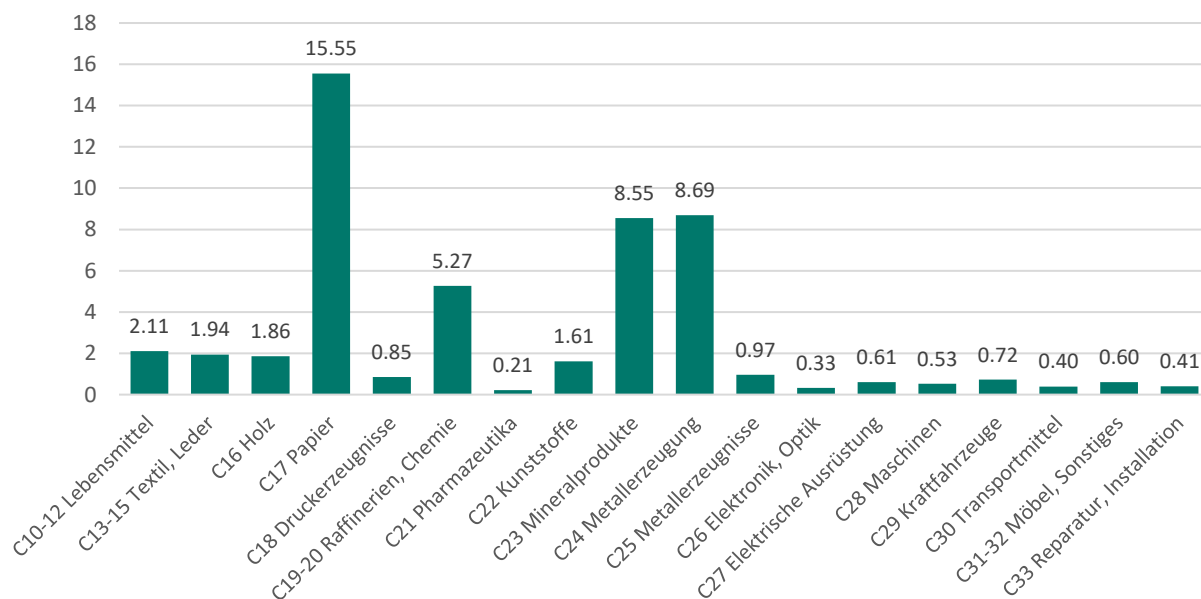
Den größten Energieverbrauch weisen hingegen die Branchen C19-20 (Mineralverarbeitung, Chemische Erzeugnisse) mit 38 Tsd. TJ in 2019, C10-12 (Lebensmittel, Getränke, Tabak) mit 24,5 Tsd. TJ und C23 (Mineralprodukte) mit 18,6 Tsd. TJ (vgl. Abbildung B-6 für 2019 und Abbildung B-7 für 2010) auf.

Dadurch ergibt sich eine starke Variation in der Energieintensität zwischen den verschiedenen Branchen des Industriesektors (siehe Abbildung 3-9). In 10 der 18 betrachteten Branchen liegt die Energieintensität bei unter 1 TJ/Mio. konstante 2015 EUR. In den Branchen C17 Papier und

Papierwaren (15,5 TJ/Mio. EUR), C23 Mineralprodukte¹⁴ (8,6 TJ/Mio. EUR), C24 Metallherzeugung (8,7 TJ/Mio. EUR) und C19-20 Mineralölverarbeitung und Chemie (5,3 TJ/Mio. EUR) fällt die Energieintensität hingegen vergleichsweise hoch aus. Diese Branchen hatten bereits 2010 die höchste Energieintensität, wie Abbildung B-8 in Anhang B zeigt.

Abbildung 3-9:

Energieintensität (TJ/Mio. konstante 2015 EUR) im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

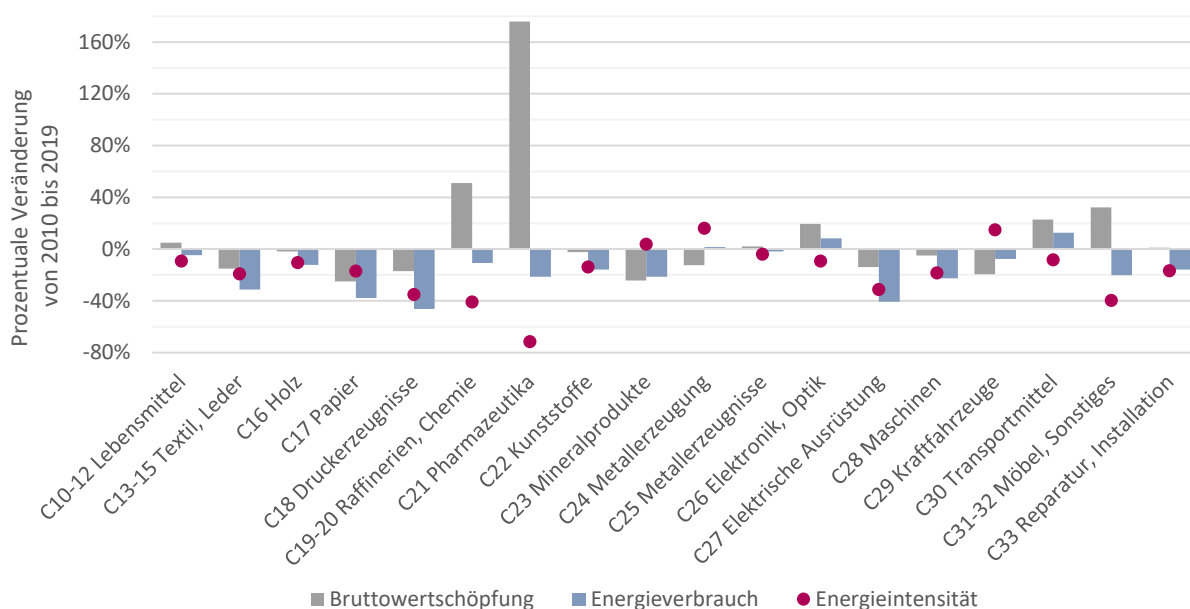
Im internationalen Vergleich hat die Schweiz auch in den Industriebranchen eine besonders niedrige Energieintensität. Die Schweizer Energieintensität liegt in allen Branchen weit unter dem EU-Mittelwert. Darüber hinaus hat die Schweiz in fünf der 18 Branchen die geringste Energieintensität unter allen betrachteten Ländern: C18 (Druckerzeugnisse), C21 (Pharmazeutische Industrie), C23 (Mineralprodukte), C29 (Kraftfahrzeuge) und C30 (Transportmittel). Abbildung B-9 in Anhang B vergleicht die Energieintensität der Schweiz mit der durchschnittlichen Energieintensität der EU-Staaten für das Jahr 2019.

Im zeitlichen Verlauf ist zu erkennen, dass die Energieintensität zwischen 2010 und 2019 in 15 der 18 Branchen gesunken ist, darunter auch in den sehr energieintensiven Branchen C19-20 Mineralölverarbeitung und Chemie und C17 Papier und Papierwaren. In der Pharmaindustrie (C21), die im Jahr 2019 den größten Anteil an der BWS in Schweizer Industrie ausmacht, ist die Energieintensität im betrachteten Zeitraum um 71,5 % gesunken. In der Mineralölverarbeitung und Chemie (C19-20), der Branche mit dem höchsten Energieverbrauch im Jahr 2019, ist die Energieintensität um 40,96 %

¹⁴ Darunter fallen z.B. Zement, Glas, Keramik.

gesunken. Gegen den Trend ist die Energieintensität in den Branchen C23 Mineralprodukte, C24 Metallherzeugung und C29 Kraftfahrzeuge angestiegen (vgl. Abbildung 3-10).

Abbildung 3-10:
Veränderung (%) von Energieintensität, Bruttowertschöpfung und Energieverbrauch im verarbeitenden Gewerbe, Schweiz 2010 – 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

4. Zerlegungsanalyse

In diesem Kapitel wird untersucht, inwiefern die niedrige Energieintensität im Verlauf der Zeit sowie im europäischen Vergleich dadurch zu erklären ist, dass sich die Schweiz verstärkt auf grundsätzlich weniger energieintensive Branchen fokussiert (Struktureffekt) oder ob die niedrige Energieintensität eher dadurch bedingt ist, dass die Schweiz innerhalb der Branchen energieeffizienter produziert. Die Bedeutung der Struktur- und Intensitätseffekte wird mithilfe einer Zerlegungsanalyse quantifiziert.

4.1 Entwicklung der Energieintensität in der Schweiz

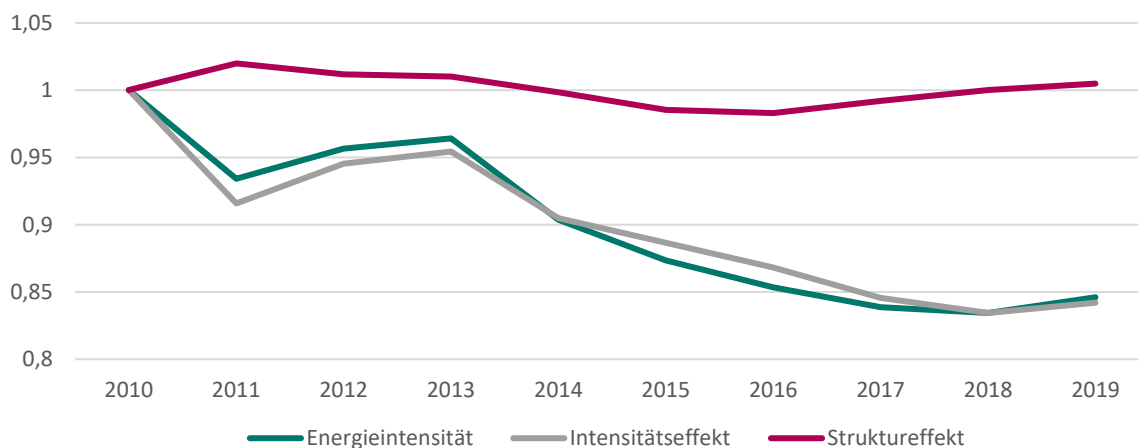
Im ersten Schritt wird eine Zerlegungsanalyse angewandt, um zu untersuchen, inwiefern die Senkung der Energieintensität in der Schweiz über die Zeit auf einen Struktureffekt *zwischen* den Sektoren (Primärsektor, Sekundärsektor, Tertiärsektor, Haushalte) oder auf einen Intensitätseffekt *innerhalb* der Sektoren zurückzuführen ist.

Abbildung 4-1 zeigt den Verlauf der Energieintensität, Struktur- und Intensitätseffekte von 2010 bis 2019. 2010 dient als Basisjahr, sodass die Werte in 2010 jeweils 1 betragen. Die Werte für die

folgenden Jahre zeigen jeweils die Entwicklung im Vergleich zum Basisjahr an. Ein Wert für die Energieintensität unter 1 bedeutet also, dass die Energieintensität im Vergleich zum Basisjahr gesunken ist. Ein Wert für den Struktureffekt unter 1 zeigt dann an, dass sich die Struktur der Produktion hin zu weniger energieintensiven Sektoren verlagert hat (im Vergleich zum Basisjahr), während ein Intensitätseffekt unter 1 anzeigt, dass die Produktion innerhalb der Sektoren energieeffizienter geworden ist. Je niedriger der Wert für den Struktur- bzw. Intensitätseffekt, desto größer der jeweilige Beitrag zur Senkung der Energieintensität¹⁵.

Abbildung 4-1 zeigt sehr deutlich, dass die sinkende Energieintensität fast ausschließlich durch einen Intensitätseffekt getrieben ist. Während der Wert für den Struktureffekt um den Wert 1 schwankt, sinken die Werte für die Energieintensität und den Intensitätseffekt im Gleichschritt (die grüne und graue Linie liegen beinahe übereinander). Die sinkende Energieintensität in der Schweiz ist also nicht dadurch zu erklären, dass sich die Produktion in energieärmere Sektoren verlagert hat, sondern ist dadurch bedingt, dass die Produktion innerhalb der Sektoren energieeffizienter geworden ist.

Abbildung 4-1:
Zerlegungsanalyse der Energieintensität, Schweiz 2010 – 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

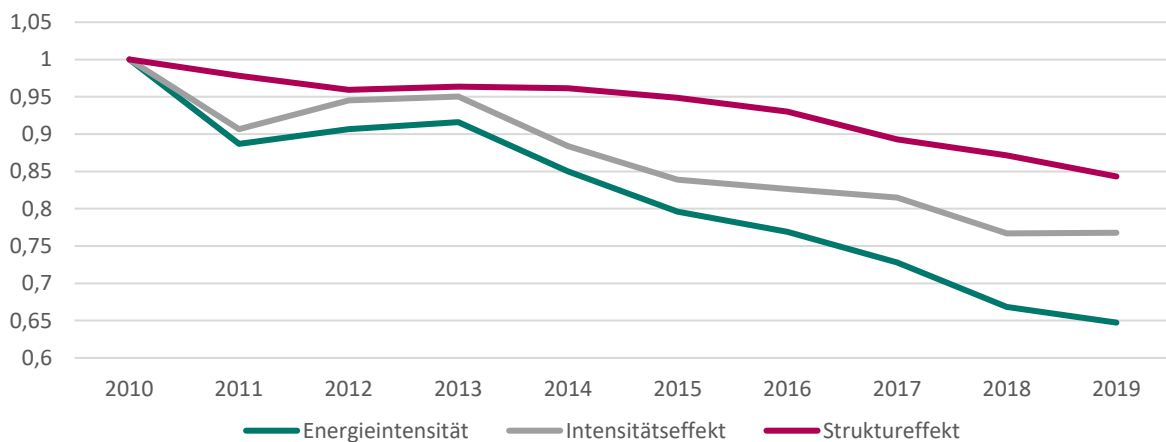
Im zweiten Schritt erfolgt eine Zerlegungsanalyse für das verarbeitende Gewerbe. Es wird also untersucht, inwiefern die Senkung der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe auf einer Verschiebung der Produktion zu weniger energieintensiven Branchen (Struktureffekt) oder auf einer gesteigerten Energieeffizienz innerhalb der Branchen (Intensitätseffekt) beruht. Zwischen 2010 und 2019 ist die Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe um 35,3 % gesunken. Abbildung 4-2 zeigt,

¹⁵ Der Gesamteffekt ergibt sich aus der Multiplikation des Intensitäts- und Struktureffekts. Daher lassen sich die prozentualen Anteile des Intensitäts- und Struktureffekts an der Senkung der Energieintensität nicht direkt ausdrücken.

dass die Reduktion der Energieintensität sowohl auf einer Verschiebung der Produktion in energieärmere Industriebranchen als auch auf einer Senkung der Energieintensität innerhalb der Branchen beruht. Der Intensitätseffekt leistet insgesamt einen größeren Beitrag zur Senkung der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe (graue Linie liegt unterhalb der roten Linie). Der Intensitätseffekt beruht wiederum auf einer Senkung der Energieintensität über fast alle Branchen des Industriesektors hinweg: zwischen 2010 und 2019 sinkt die Energieintensität in 15 der 18 betrachteten Industriebranchen (siehe Abbildung 3-10).

Abbildung 4-2:

Zerlegungsanalyse der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe, Schweiz 2010 – 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Der Struktureffekt wird insbesondere durch die wachsende Pharmaindustrie angetrieben, deren Energieintensität mit 0,75 TJ/Mio. Euro BWS (Stand 2010) vergleichsweise gering ist und deren Anteil an der Bruttowertschöpfung des verarbeitenden Gewerbes zwischen 2010 und 2019 von 14,7 % auf 30,9 % angestiegen ist. Auch Reduktionen in den vergleichsweise energieintensiven Branchen C10-12 Lebensmittel, Getränke und Tabak (von 11,4 % auf 9,1 %), C23 Mineralprodukte (von 3 % auf 1,7 %) und C24 Metallerzeugung (von 1,6 % auf 1,1 %) tragen zum Struktureffekt bei.

Grundsätzlich muss darauf hingewiesen werden, dass die Unterscheidung zwischen Struktur- und Intensitätseffekten nur in Bezug auf die Aggregationsebene interpretiert werden darf, auf der die Zerlegungsanalyse erfolgt. So zeigt die Zerlegungsanalyse auf der Ebene der Branchen des Industriesektors, dass der Intensitätseffekt (also die Senkung der Energieintensität *innerhalb* der Branchen) den Struktureffekt (Verschiebung der Produktion *zwischen* den Branchen) dominiert. Dabei muss bedacht werden, dass dieser Intensitätseffekt (auf Branchenebene) wiederum durch strukturelle Effekte innerhalb der Branchen, also auf Produktebene, getrieben sein könnte. Um dies zu untersuchen, müsste zusätzlich eine Zerlegungsanalyse auf Produktebene durchgeführt werden. Dies ist jedoch aufgrund fehlender Daten, insbesondere Energieverbrauchsdaten, nicht möglich.

4.2 Schweizer Energieintensität im internationalen Vergleich

Dabei wird zunächst der gesamtwirtschaftliche Unterschied in der Energieintensität zwischen den EU-Staaten und der Schweiz in einen Struktureffekt in der Verteilung der Produktion zwischen den Sektoren und ein Intensitätseffekt in der Energieintensität innerhalb der Sektoren zerlegt. In Abbildung 4-3 wird die Schweiz als Benchmark mit dem Wert 1 für den Struktureffekt (Y-Achse) und Intensitätseffekt (X-Achse) angezeigt. Die Intensitäts- und Struktureffekte der EU-Staaten lassen sich dann jeweils relativ zur Schweizer Energieintensität interpretieren. Liegt der Wert über 1, bedeutet dies, dass der Intensitätseffekt (oder Struktureffekt) zu einer Erhöhung der Energieintensität im Vergleich zur Schweiz beiträgt. Umgekehrt bedeutet ein Wert kleiner als 1, dass der Effekt dahin wirkt, dass das Vergleichsland eine niedrigere Energieintensität als die Schweiz hat.

In Abbildung 4-3 fällt auf, dass der Intensitätseffekt für alle beobachteten Staaten über 1 liegt. Die Schweiz hat also eine geringere Energieintensität innerhalb der Sektoren als alle EU-Staaten, sodass der Intensitätseffekt jeweils zu einer höheren Energieintensität der EU-Staaten auf gesamtwirtschaftlicher Ebene beiträgt. Der Struktureffekt hingegen liegt für jeweils die Hälfte der EU-Staaten oberhalb und unterhalb des Werts 1. Dies bedeutet, dass ca. die Hälfte der EU-Staaten mehr auf grundsätzlich weniger energieintensive Sektoren spezialisiert ist als die Schweiz. Dies ist insbesondere bei stark dienstleistungsorientierten Ländern wie Zypern (CY), Luxemburg (LU) und Malta (MT) der Fall. Die Tatsache, dass der Struktureffekt für Deutschland (DE) nahe am Wert 1 liegt, zeigt, dass die Anteile der Sektoren in der Schweiz und Deutschland sehr ähnlich sind, sodass die niedrigere Energieintensität in der Schweiz ausschließlich dadurch zu erklären ist, dass die Schweiz innerhalb der Sektoren weniger energieintensiv produziert als Deutschland.

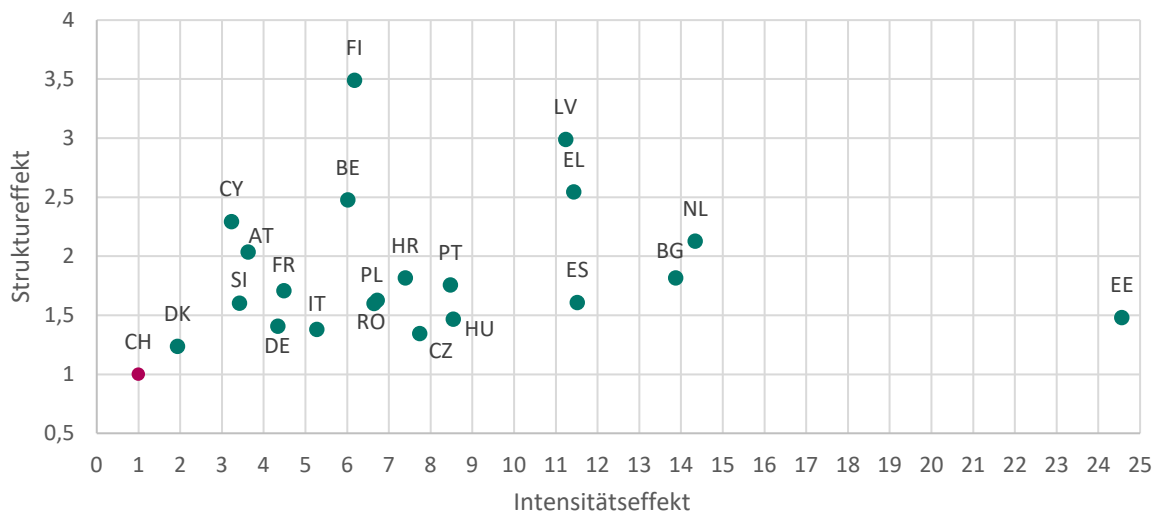
Abbildung 4-3:
Zerlegungsanalyse der gesamtwirtschaftlichen Energieintensität, internationaler Vergleich 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Da die Schweiz im internationalen Vergleich eine besonders niedrige Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe aufweist, wird im zweiten Schritt eine Zerlegungsanalyse im verarbeitenden Gewerbe durchgeführt. Hier zeigt sich, dass sowohl der Intensitätseffekt als auch der Struktureffekt für alle EU-Staaten größer als 1 ist (siehe Abbildung 4-4). Im Vergleich zu jedem der EU-Staaten zeichnet sich die Schweiz also einerseits dadurch aus, dass sie stärker auf solche Branchen innerhalb des verarbeitenden Gewerbes spezialisiert ist, die grundsätzlich weniger energieintensiv sind (Struktureffekt). Andererseits produziert die Schweiz auch innerhalb der Branchen energieeffizienter (Intensitätseffekt).¹⁶ Der Intensitätseffekt fällt im Vergleich zu den meisten Ländern deutlich größer aus.

Abbildung 4-4:
Zerlegungsanalyse der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe, internationaler Vergleich 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

¹⁶ In der Zerlegungsanalyse für die Industrie mussten fünf Länder (Irland, Litauen, Luxemburg, Malta, Slowakei) aufgrund von fehlenden Daten ausgelassen werden.

5. Einflussfaktoren der Schweizer Energieintensität

5.1 Auswahl potentieller Einflussfaktoren

In diesem Kapitel werden zunächst auf Basis theoretischer Überlegungen und relevanter Studien potentielle Einflussfaktoren der niedrigen Schweizer Energieintensität identifiziert. Dabei werden Einflussfaktoren aus der Klimapolitik sowie weitere sektorale und gesamtwirtschaftliche Faktoren betrachtet.

5.1.1 Klimapolitik

Eine der möglichen Ursachen für die niedrige Schweizer Energieintensität sind die umwelt- und klimapolitischen Maßnahmen, die in der Schweiz zwischen 2010 und 2019 schrittweise verschärft wurden.

Das Kernstück der Schweizer Klimapolitik ist das Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz). Zweck des CO₂-Gesetzes ist es, Treibhausgasemissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger zu reduzieren. Zu den marktwirtschaftlichen Instrumenten, die die externen Kosten durch die Nutzung fossiler Brennstoffe und die resultierenden Treibhausgasemissionen internalisieren sollen, zählen insbesondere die CO₂-Abgabe, die CO₂-Kompensationspflicht für Treibstoffimporteure und das Emissionshandelssystem (EHS).

Die CO₂-Abgabe wird seit 2008 auf stationäre fossile Brennstoffe (Heizöl, Erdgas, Kohle) erhoben und betrug zunächst 12 CHF/t CO₂.¹⁷ Die Abgabe ist im Untersuchungszeitraum von 36 CHF/t CO₂ (in 2010) auf 96 CHF/t CO₂ (in 2018) gestiegen und beträgt seit 2022 120 CHF/t CO₂. Treibhausgasintensive und entsprechend energieintensive Unternehmen können sich jedoch von der CO₂-Abgabe durch Zielvereinbarungen oder die Teilnahme am EHS befreien. Liegt der Zertifikatspreis im EHS unter der CO₂-Abgabe, reduziert das die Wirksamkeit der Maßnahme.

Die CO₂-Kompensationspflicht für Treibstoffimporteure wurde 2014 eingeführt. Danach sind Importeure von Benzin, Diesel, Erdgas und Kerosin ab einem Schwellenwert von 1000 t CO₂ dazu verpflichtet, die Emissionen dieser fossilen Treibstoffe im Verkehr teilweise durch eigene Projekte oder den Kauf von Bescheinigungen zu kompensieren. Der Anteil der Emissionen, der dabei zu

¹⁷ Auf Treibstoffe fällt diese Abgabe nicht an.

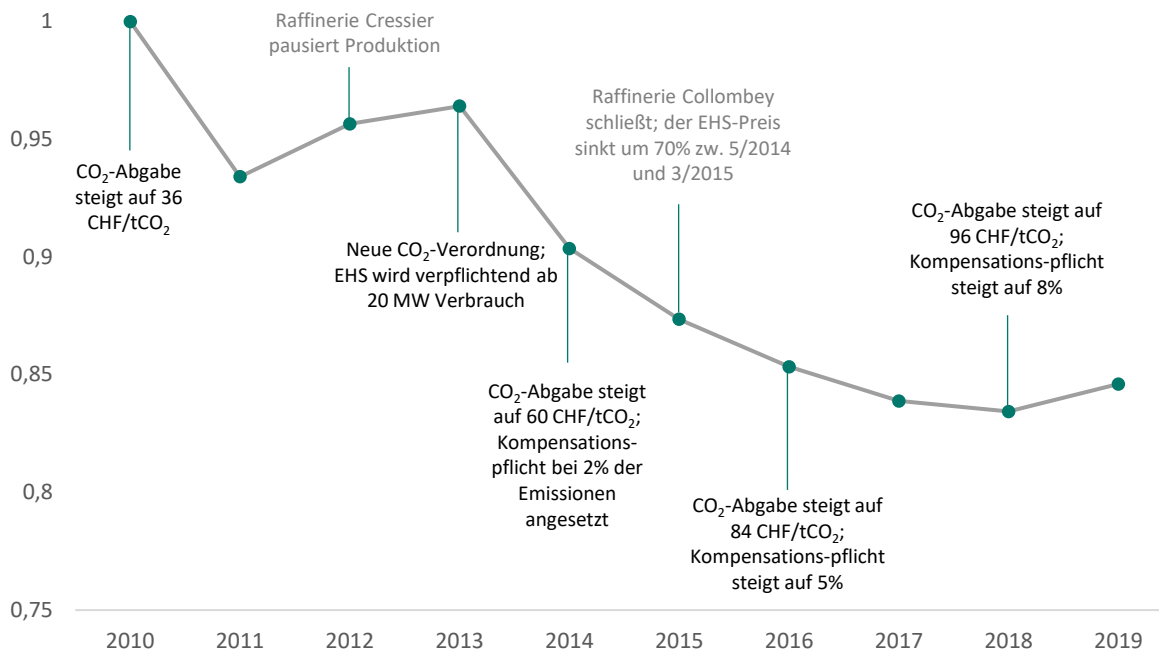
kompensieren ist, betrug zunächst 2 % und stieg seitdem mehrmals an auf 8 % in 2018 und 24 % für das Jahr 2024 (BAFU 2022).

Darüber hinaus wurde 2013 die Teilnahme am EHS für Unternehmen mit mehr als 20 MW Energieverbrauch verpflichtend, so dass die ersten Auktionen der Emissionszertifikate in 2014 stattfanden. Der Zertifikatspreis lag zunächst bei 40,25 CHF/t CO₂, fiel dann aber rasch auf 12 CHF/t CO₂ im Januar 2015 und blieb auf sehr niedrigem Niveau, bis er sich nach einem Tief von 5,15 CHF/t CO₂ im Oktober 2018 wieder zu erholen begann (BAFU 2019). Diese drastische Reduktion ist vor allem auf den zu hoch angesetzten Cap (die maximale Anzahl der Zertifikate im Markt) zurückzuführen. Verstärkt wurde dieser Effekt durch die Schließung der Raffinerie Collombey im Jahr 2015. Zum anderen trugen auch die Einführung einer Härtefallregelung, die übergangsweise den Zukauf ausländischer Emissionszertifikate (z.B. EU EHS) erlaubte, und die Verknüpfung mit dem EU EHS zur Preissenkung auf das Niveau in der EU bei. Erstens war auch der Zertifikatspreis im EU EHS zu diesem Zeitpunkt tief, weil ebenfalls viele Zertifikate auf dem Markt waren. Zweitens können Schweizer Unternehmen von der Verknüpfung profitieren. Da sie effizienter sind als der EU-Durchschnitt, können sie oft einen höheren Anteil ihrer Treibhausgasemissionen mit kostenlosen Zertifikaten abdecken.¹⁸ Allerdings wurde das Schweizer EHS erst 2020 mit dem EU EHS verknüpft, so dass mögliche Effekte durch ein höheres Effizienzniveau der Schweizer Unternehmen außerhalb des Betrachtungszeitraums liegen.

Abbildung 5-1 zeigt die Entwicklung der Energieintensität in der Schweizer Wirtschaft zusammen mit den Veränderungen der marktbasierenden, umweltpolitischen Maßnahmen im betrachteten Zeitraum. Mit Ausnahme von 2018-2019 geht die sinkende Energieintensität mit einer Verschärfung der umweltpolitischen Maßnahmen einher, auch wenn aus dieser deskriptiven Betrachtung kein kausaler Zusammenhang abgeleitet werden kann. Dies unterstreicht jedoch die potentielle Bedeutung der Umweltpolitik als Erklärungsfaktor für die niedrige Energieintensität in der Schweiz.

¹⁸ Die kostenlosen Zertifikate werden anhand der Benchmarks zugeteilt. Die Benchmarks definieren für eine Reihe von Industrieprodukten eine aus heutiger Sicht technisch und wirtschaftlich effiziente Emissionsintensität, die operativ der durchschnittlichen Emissionsintensität der 10 % effizientesten Hersteller des Produktes im EU EHS entspricht. Die Unternehmen, die diesen Benchmark erreichen, erhalten kostenlose Zertifikate, die ihre Emissionen vollständig abdecken. Die Unternehmen mit einer höheren Emissionsintensität müssen für die zusätzlichen Emissionen Zertifikate auf dem Markt zukaufen. Je niedriger die Emissionsintensität desto höher der Anteil der Emissionen, der durch kostenlose Zertifikate abgedeckt wird.

Abbildung 5-1:
Energieintensität in der Schweiz, 2010 = 1, und umweltpolitische Meilensteine



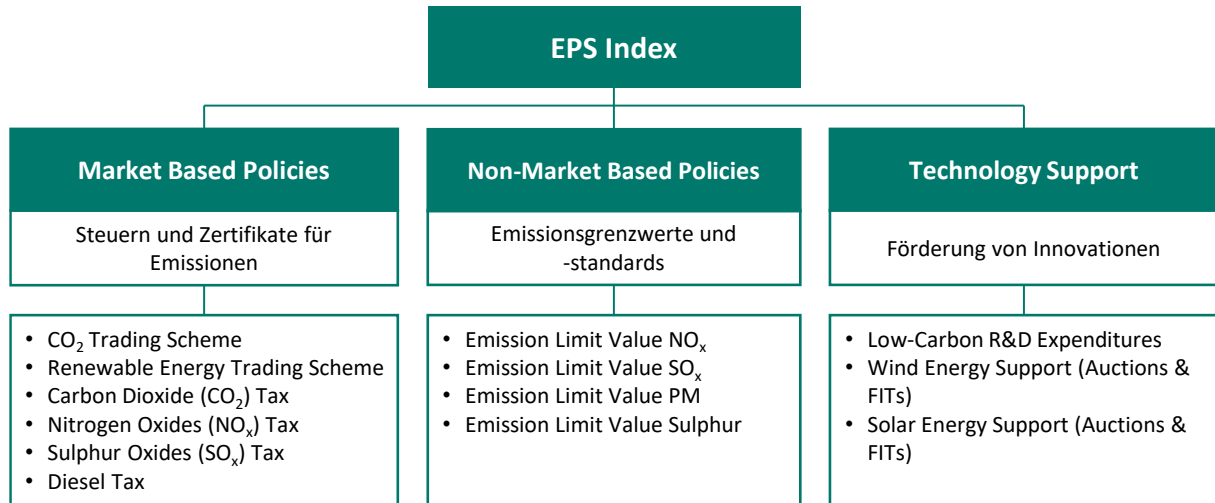
Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023) & IEA (2018).

Um die umweltpolitischen Maßnahmen in der Regressionsanalyse zu operationalisieren, wird der Economic Policy Stringency (EPS) Index der OECD genutzt. Der EPS-Index ist ein international vergleichbares Maß für die Strenge der Umweltpolitik eines Landes. Er umfasst 13 Instrumente, hauptsächlich zu Klima- und Luftverschmutzung, die in drei Gruppen zusammengefasst sind, und die Index-Skala reicht von null bis sechs. Abbildung 5-2 zeigt, wie sich der Index zusammensetzt und welche Maßnahmen darin enthalten sind.

Der Wert 0 wird den Observationen zugewiesen, in denen die jeweilige Maßnahme nicht in Kraft ist. Die Punktzahl 6 wird den Observationen zugewiesen, deren Werte über dem 90. Perzentil liegen, wobei nur Observationen in die Bewertung einfließen, bei denen die jeweilige Maßnahme in Kraft ist. Die Schwellenwerte für die Vergabe der restlichen Punktzahlen werden bestimmt, indem die Differenz zwischen dem 90. und dem 10. Perzentil in 5 gleiche Bereiche unterteilt wird. Somit erlaubt der Index einen länder- und zeitübergreifenden Vergleich der Strenge von umweltpolitischen Maßnahmen. Der Gesamtindex ergibt sich aus der Aggregation und Gewichtung der einzelnen Maßnahmen.¹⁹

¹⁹ Die sechs marktbasierenden Instrumente fließen jeweils mit 5,5 % in den finalen Index ein, die vier nicht marktbasierenden Instrumente mit je 8,25 %, die Förderung von Wind- und Solarenergie mit je 8,25 % und Investitionen in umweltfreundliche Energietechnologien mit 16,5 %.

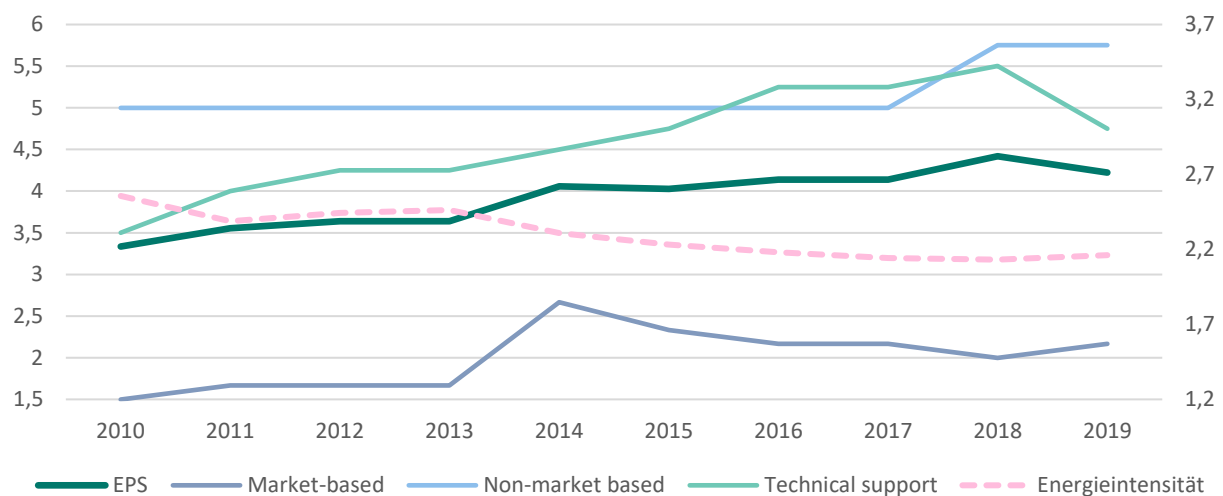
Abbildung 5-2:
Environmental Policy Stringency Index



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von OECD (2022).

Die zwischen 2010 und 2019 in der Schweiz umgesetzten Verschärfungen der Umweltschutzmaßnahmen spiegeln sich auch im Verlauf des EPS-Index wider (siehe Abbildung 5-3). Zwischen 2010 und 2019 steigt der Index von 3,33 auf 4,22. Ein besonders starker Anstieg ist zwischen 2013 und 2014 zu beobachten, was insbesondere auf den Index für marktbasierende Instrumente zurückzuführen ist, der von 1,67 in 2013 auf 2,67 in 2014 ansteigt. Durch den rapiden Preisverfall der Zertifikate im Schweizer EHS sinkt der marktbasierende EPS-Index ab 2014. Beim Vergleich mit der Energieintensität (rosa gestrichelte Linie in Abbildung 5-3) fällt auch auf, dass der EPS-Index und die Energieintensität in der Schweiz negativ korrelieren.

Abbildung 5-3:
Environmental Policy Stringency Index und Energieintensität (TJ/Mio. Euro, rechte Achse), 2010 – 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Im europäischen Vergleich ist die Schweizer Umweltpolitik bereits 2010 etwas strenger als der europäische Durchschnitt (Schweiz EPS: 3,33 und EU-Durchschnitt EPS: 3,11), und auch die Verschärfungen zwischen 2010 und 2019 fallen in der Schweiz stärker aus als im europäischen Durchschnitt. Trotz einiger gemeinsamer Maßnahmen wie dem EU-ETS besteht in den EU-Ländern ein großer Spielraum für nationale Politikmaßnahmen. In vielen Ländern ist der EPS-Index im betrachteten Zeitraum sogar gesunken, sodass der durchschnittliche EPS-Index 2019 mit 3,27 nur 0,16 Punkte höher liegt als im Jahr 2010. Vor allem der durchschnittliche EPS-Teilindex für Technology Support ist, im Gegensatz zur Schweiz, zurückgegangen. Dies resultierte in den meisten Ländern aus dem Rückgang der Einspeisevergütungen für Strom aus erneuerbaren Energien und in manchen Ländern auch aus der Reduktion der FuE-Unterstützung. Nur Frankreich hat mit einem EPS-Index von 4,72 im Jahr 2019 eine strengere Umweltpolitik als die Schweiz. Dies ist vor allem auf verstärkte marktpolitische Maßnahmen zurückzuführen, unter anderem die Steuern auf Luftschadstoffe wie Stickstoffoxide und Schwefeloxide.

5.1.2 Branchenspezifische Einflussfaktoren

Die große Varianz in der Energieintensität zwischen den verschiedenen Sektoren und Branchen legt nahe, dass verschiedene branchenspezifische Unterschiede in den Produktionsprozessen und Marktbedingungen einen signifikanten Einfluss auf die Energieintensität ausüben. Darüber hinaus ist denkbar, dass sich die Unternehmen innerhalb der Branchen in ihrer funktionalen Arbeitsteilung unterscheiden. Daher werden folgende branchenspezifische Faktoren in der Analyse berücksichtigt:

- Art der Produktion / der hergestellten Produkte
- Löhne
- Arbeitsintensität
- Investitionen
- Technischer Fortschritt und Verfügbarkeit energieeffizienter Technologien
- Art der verwendeten Energiequellen
- Skaleneffekte in der Produktion
- Im- und Exporte
- Sektoraler Wettbewerb

Die **Art der Produktion oder der hergestellten Produkte** approximiert den Struktureffekt innerhalb der Industriebranchen. Die Grundidee ist, dass die Produktion mancher Produkte innerhalb einer

bestimmten Branche energieintensiver ist als die Produktion anderer Produkte. Da jedoch keine Daten zum Energieverbrauch auf Produktebene vorliegen, wird dieser strukturelle Effekt auf Produktebene über den Einheitswert approximiert. Der Einheitswert setzt die Wertschöpfung ins Verhältnis zum physischen Produktionsvolumen. Während Grundstoffe wie Metalle oder Mineralprodukte typischerweise einen geringen Wert pro physische Einheit (z.B. eine Tonne Produkt) aufweisen, zeichnen sich Endprodukte durch einen höheren Wert pro Produktionsvolumen aus.²⁰

Die **Arbeitsintensität** ist ein Indikator für die Produktionsprozesse und die Zusammensetzung der Wertschöpfung in der Branche. Die Arbeitsintensität steht in einem umgekehrten Verhältnis zur Kapitalintensität. Dabei sind kapitalintensive Produktionsprozesse in der Regel energieintensiver und arbeitsintensive Prozesse sind im Umkehrschluss weniger energieintensiv (Narayanan und Sahu 2010). Als Indikator für die Arbeitsintensität wird das Verhältnis von Beschäftigung (Anzahl Angestellte) und Produktionswert genutzt; ein alternativer Indikator ist der Anteil der Personalkosten am Produktionswert.

Löhne können über verschiedene Kanäle mit der Energieintensität einer Branche zusammenhängen, wobei ein höheres Lohnniveau mit einer geringeren Energieintensität einhergeht (Pickenpaugh und Balash 2012, Zhao und Mao 2022). In dieser Studie werden Löhne als Durchschnittslöhne (Personalkosten pro Person) gemessen.

Investitionen in den Kapitalstock sind oftmals eine Grundvoraussetzung, um energieeffizienter zu produzieren (Petrović, Filipović und Radovanović 2018). Daher werden die Bruttoanlageinvestitionen als wichtiger sektoraler Indikator in der Analyse berücksichtigt.

Technischer Fortschritt kann sowohl auf Länder- als auch auf sektoraler Ebene betrachtet werden. Für beide gilt, dass innovative Branchen bzw. Länder oft weniger energieintensiv sind (Liu, et al. 2018, Llorca und Jamasb 2017). In dieser Studie wird der technische Fortschritt auf sektoraler Ebene mithilfe der FuE Investitionen gemessen.

Die **Art der verwendeten Energiequellen** hat einen großen Einfluss auf die Energieintensität, da einige Energiearten technisch effizienter genutzt werden können als andere (Wang, Ang und Su 2017, Jimenez und Mercado 2014). Zum Beispiel sind elektrifizierte Anwendungen in der Regel effizienter als solche, die mechanische oder thermische Energie aus Kohle oder Gas nutzen. Daher wird in der Analyse

²⁰ Da in der Produktionsstatistik jedoch keine aggregierten und vergleichbaren Daten zum physischen Produktionsvolumen verfügbar sind, wird der Einheitswert über die Handelsstatistik als Verhältnis zwischen Exportwert und Exportvolumen berechnet. Eine wichtige Annahme ist dabei, dass die Exportstruktur der Branche repräsentativ für die Produktionsstruktur ist.

für die Anteile der wichtigsten Energiearten (Strom, Gas, Kohle, Wärme) am Gesamtverbrauch kontrolliert.

Skaleneffekte in der Produktion beschreiben die Kostenvorteile, die größere Unternehmen bei der Ausweitung der Produktionsmenge durch die Senkung der fixen Stückkosten erzielen. Größere Unternehmen können zum einen die Produktionsfaktoren (inkl. Energie) optimal miteinander kombinieren und verfügen zum anderen über Kapitalressourcen, um frühzeitig in energieeffiziente Technologien zu investieren. Kleinere Unternehmen sind dagegen oft langfristig an bereits getätigte Investitionen gebunden (Tzeiranaki, et al. 2023). Diese Skaleneffekte werden auf sektoraler Ebene durch die durchschnittliche Unternehmensgröße (anhand der Anzahl der Angestellten) gemessen.

Die **Exportquoten** dient als Indikator für internationalen Wettbewerbsdruck (Petrović, Filipović und Radovanović 2018). Um konkurrenzfähig zu bleiben, müssen exportorientierte Branchen ihre Produktionskosten reduzieren, was auch die Energiekosten einschließt. Daher besteht ein Wettbewerbsdruck für eine möglichst effiziente Energienutzung. Der **sektorale Wettbewerb** wird zusätzlich zur Exportquote an der Anzahl der Unternehmen im Inlandsmarkt gemessen (Wen, Li und Lee 2021).

Die **Importquote** in Vorleistungen kontrolliert für Technologietransfer und die Struktur der Wertschöpfungskette. Wenn eine Volkswirtschaft viele Vorleistungen oder Komponenten importiert, die für die Produktion von Gütern oder Dienstleistungen verwendet werden, können oftmals auch technologisches Know-how und fortschrittliche Fertigungstechniken aus dem Ausland übernommen werden (Cui, et al. 2014). Darüber hinaus können höhere Anteile an Importen in Vorleistungen zur Reduktion von energieintensiven Produktionsstufen in der Wertschöpfungskette führen, beispielsweise wenn Grundstoffe für die Weiterverarbeitung zu Endprodukten importiert werden.

5.1.3 Gesamtwirtschaftliche Indikatoren

Neben den sektoralen Indikatoren werden folgende gesamtwirtschaftliche Faktoren betrachtet:

- Entwicklung der Energiepreise
- Pro-Kopf BIP
- Marktregulierung
- Marktkapitalisierung

Energiepreise können auf die Energieintensität einwirken, in dem Unternehmen in ihrem Energieverbrauch sowie in der Wahl der Energieträger beeinflusst werden, und sind daher ein

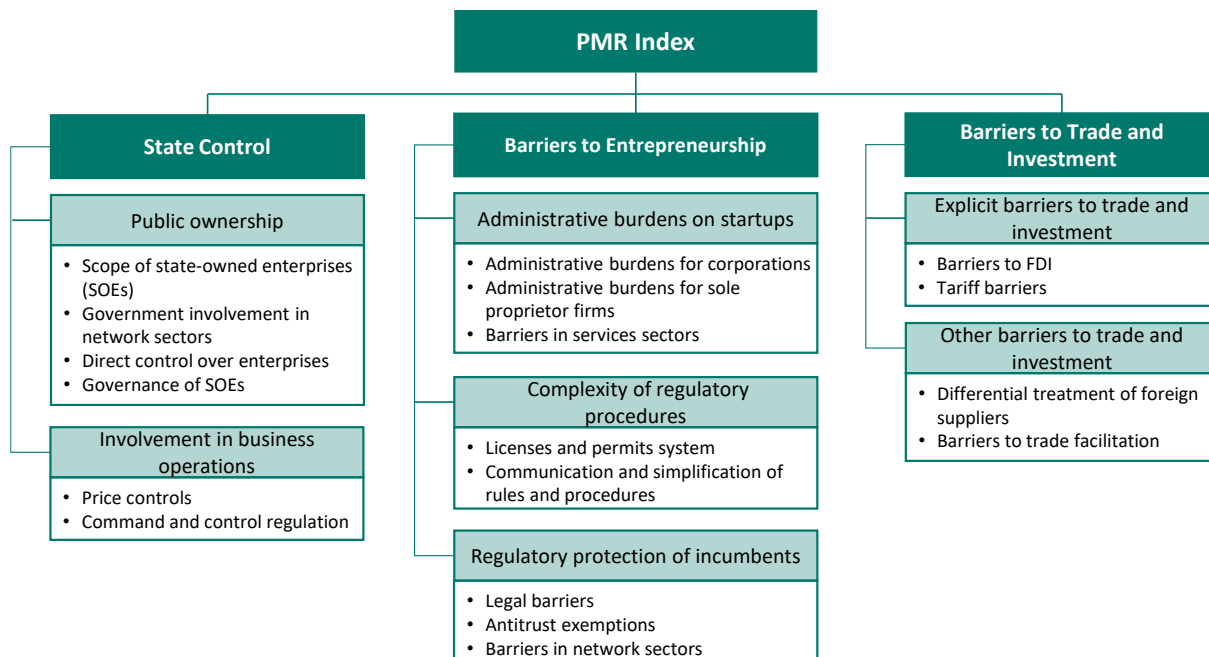
wichtiger Wirkungsmechanismus marktbasierter Klimapolitik. Hohe Energiepreise schaffen Anreize für Unternehmen, Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz zu ergreifen. Wenn die Klimapolitik die Preise für fossile Brennstoffe erhöht oder Preise für erneuerbare Energien senkt, werden Unternehmen auch dazu veranlasst, auf kosteneffizientere Sekundärquellen wie Strom und Fernwärme oder auf erneuerbare Energien umzusteigen. In der folgenden Analyse werden daher die Industriepreise für Strom, Diesel, Gas und Heizöl als wichtige Determinanten der Energieintensität berücksichtigt.

Das **Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf** ist ein Indikator für die gesamtwirtschaftliche Leistung bzw. Wirtschaftsentwicklung. Ein höheres Entwicklungsniveau korreliert mit einer niedrigeren Energieintensität, da sowohl Haushalte als auch Industrie energiesparende und effizientere Technologien einsetzen (Filipović, Verbič und Radovanović 2015).

Die **Marktregulierung** ist ein politischer Indikator für die gesamtwirtschaftlichen Markt- und Wettbewerbsbedingungen. Die Marktregulierung wird in dieser Studie mithilfe des OECD Product Market Regulation (PMR) Index operationalisiert. Der PMR umfasst drei Dimensionen der Marktregulierung: (i) regulatorische Hindernisse für den Markteintritt und den Wettbewerb von Unternehmen, (ii) Hindernisse für Handel und Investitionen sowie (iii) die staatliche Kontrolle und Einflussnahme durch staatliche Unternehmen oder Beteiligungen. Der Index ist allerdings im betrachteten Zeitraum nur für die Jahre 2013 und 2018 verfügbar, die wegen einer methodologischen Änderung nicht miteinander vergleichbar sind.²¹ Abbildung 5-4 zeigt die Struktur des PMR 2013.

²¹ 2024 erscheint eine neue Version des Product Market Regulation Index, welche jedoch in dieser Studie noch nicht berücksichtigt werden konnte.

Abbildung 5-4:
Product Market Regulation Index 2013



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Koske, et al. (2015).

Die **Marktkapitalisierung** beschreibt die Entwicklung der Aktienmärkte und beeinflusst potentiell die Investitionsentscheidungen für Projekte im Bereich erneuerbare Energien und Energieeffizienz (Paramati, Ummalla und Apergis 2016). Unternehmen, die auf Nachhaltigkeit setzen, könnten aufgrund ihrer Bemühungen potenziell höhere Investitionen oder bessere Finanzierungsbedingungen erwarten. Dies könnte dazu führen, dass in Ländern mit weiter entwickelten Aktienmärkten mehr in Nachhaltigkeit, einschließlich Energieeffizienz, investiert wird.

5.2 Ökonometrische Analyse der Einflussfaktoren

5.2.1 Paneldatenanalyse

Zunächst werden die Auswirkungen der oben identifizierten Faktoren auf die Energieintensität mithilfe einer Paneldatenanalyse untersucht. Der Paneldatensatz umfasst Daten zum Energieverbrauch, der Bruttowertschöpfung und den Einflussfaktoren der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe (Abschnitt C) auf Zweistellerebene für die Schweiz und diejenigen 21 EU-Länder, die Mitglied in der OECD sind.

Dabei wird die Paneldimension des Datensatzes genutzt, um mit Hilfe eines Fixed Effects-Modells für konstante unbeobachtete Faktoren auf Länder- und Branchenebene zu kontrollieren und um dadurch der Schätzung der kausalen Auswirkungen der verschiedenen Variablen näher zu kommen.

Wir schätzen das folgende Modell:

$$Y_{ict} = \alpha + \beta X'_{ict} + d_{i \times c} + d_t + \varepsilon_{ict},$$

wobei die Outcome-Variable Y_{ict} der natürliche Logarithmus der Energieintensität in Branche i in Land c in Jahr t ist und gegen das Set von zeitvariablen Kontrollvariablen X'_{ict} regressiert wird, das folgende Variablen enthält.²²

- OECD Environmental Policy Stringency Index (EPS)
- Anteil wichtigster Energiearten am Gesamtverbrauch (Strom, Gas, Kohle, Wärme)
- Verhältnis von Arbeitseinsatz und Produktion
- Exportquote und Importquote
- Log FuE Investitionen
- Log Bruttoanlageinvestitionen
- Log Einheitswert
- Log Durchschnittliche Unternehmensgröße (Angestellte)
- Log Durchschnittlicher Lohn
- Log BIP pro Kopf, konstante KKP-Preise
- Log Industriepreis der wichtigsten Energiearten (Strom, Diesel, Gas, Heizöl)
- Log Marktkapitalisierung
- Log Bruttowertschöpfung

Weiter bezeichnet $d_{i \times c}$ eine Reihe von zeitinvarianten Effekten für die Branchen-Länder-Einheiten und d_t sind Zeiteffekte (Jahreseffekte). Die Branchen-Länder-Effekte kontrollieren für alle Störfaktoren, die im Laufe der Zeit auf der Branche-Länder-Ebene fixiert sind, und die Jahreseffekte kontrollieren für alle makroökonomischen Störfaktoren.

Tabelle 5-1 stellt in Spalte (1) die Ergebnisse der Fixed-Effects-Regression mit allen oben genannten erklärenden Variablen dar. Dabei zeigt sich, dass der Wärmeanteil am Energieverbrauch und die

²² Wir nehmen natürliche Logarithmen der Ergebnisvariablen und anderer numerischer Erklärungsfaktoren, da diese Variablen eine exponentielle Verteilung mit relativ vielen Extremwerten im Vergleich zu einer Normalverteilung aufweisen. Infolgedessen können die Koeffizienten β als prozentuale Veränderungen und nicht als absolute Veränderungen der Energieintensität interpretiert werden, und die Koeffizienten der logarithmierten Faktoren sind Elastizitäten

Dieselpreise einen signifikant negativen Einfluss auf die Energieintensität haben. Dies steht im Einklang mit vorherigen Erwartungen. Höhere Energiepreise schaffen Anreize zur Reduktion des Energieverbrauchs, während die Nutzung sekundärer Energieträger wie Wärme die Umwandlungsverluste in den Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung verlagert, wo diese durch Skaleneffekte und effizientere Prozesse wie Kraft-Wärme-Kopplung weiter reduziert werden können.

Für die Bruttowertschöpfung wird der stärkste negative Effekt auf die Energieintensität gemessen. 1 % mehr Bruttowertschöpfung senkt die Energieintensität um 0,87 %. Dieser starke Effekt war zu erwarten, da die Bruttowertschöpfung im Nenner der Energieintensität auftaucht, um somit einen unmittelbaren Effekt auf die Energieintensität hat.

Die positiven Effekte für den Durchschnittslohn und FuE Investitionen sind hingegen überraschend. Der positive Effekt des Durchschnittslohn könnte jedoch dadurch erklärt werden, dass Unternehmen von Arbeit auf energieintensives Kapital umsteigen, wenn Arbeit teurer wird. Bei den FuE-Investitionen ist es eher unwahrscheinlich, dass sie die Energieintensität sofort reduzieren, da energieeffizienter technischer Fortschritt Zeit braucht. Kurzfristig können FuE-Aktivitäten sogar Energie verbrauchen. Dabei sollte auch beachtet werden, dass die Signifikanz beider Effekte mit 10 % nur schwach ist.

Der Koeffizient des BIP pro Kopf ist ebenfalls unerwartet positiv. Dies scheint bisherigen Studien zu widersprechen, die eine negative Korrelation zwischen dem Entwicklungsniveau und der Energieintensität feststellen (Filipović, Verbič und Radovanović 2015). Dabei muss jedoch bedacht werden, dass die Panelregression nicht den Effekt von Unterschieden im Entwicklungsniveau zwischen den Ländern misst, sondern den Effekt von Veränderungen im BIP pro Kopf, also dem Wirtschaftswachstum, innerhalb eines Landes. Je nach Ausgangsniveau kann ein wachsendes Einkommen zu höherer Nachfrage nach energieintensiven Produkten (z.B. Baustoffen für die wachsende Immobiliennachfrage) und dadurch höherer Energieintensität führen.

Von besonderem Interesse ist der Koeffizient des EPS-Index, da der EPS-Index die klima- und umweltpolitischen Maßnahmen widerspiegelt, die direkt unter der Kontrolle der politischen Entscheidungsträger stehen. Der Koeffizient des EPS-Index ist leicht positiv und statistisch nicht signifikant. Dies könnte dadurch bedingt sein, dass entscheidende Wirkkanäle des EPS-Index bereits durch andere Variablen kontrolliert werden. Dazu zählen insbesondere die Energiepreise und die Energieanteile.

Um den Effekt des EPS-Index präziser zu identifizieren, werden daher in Spalte (2) die Anteile der Energieträger und die Energiepreise als Kontrollvariablen weggelassen. Nun wird für den EPS-Index ein negativer Koeffizient mit 10 % Signifikanz gemessen. Eine stringenter Umwelt- und Klimapolitik senkt in dieser Konstellation also die Energieintensität.

Im nächsten Schritt wird nun untersucht, inwiefern sich die Effekte zwischen energieintensiven und nicht-energieintensiven Branchen innerhalb des Industriesektors unterscheiden. Dabei werden die Branchen je nachdem, ob die Energieintensität der Branche oberhalb oder unterhalb der durchschnittlichen Energieintensität über alle Branchen des Industriesektors liegt, zu den energieintensiven oder nicht-energieintensiven Branchen gezählt. Anschließend wird in Spalte (3) und Spalte (4) dieselbe Spezifikation wie in Spalte (2), also ohne die Energievariablen, getrennt geschätzt für die energieintensiven und nicht-energieintensiven Branchen. Hier zeigt sich eine deutliche Heterogenität des Effekts des EPS-Index. Für den EPS-Index in energieintensiven Branchen wird ein senkender Effekt von 12 % weniger Energieintensität pro Indexpunkt gemessen (signifikant mit 10 %), wobei ein Anstieg des EPS-Index um einen Indexpunkt ungefähr der Veränderung des EPS-Index in der Schweiz zwischen 2010 und 2019 entspricht. Für nicht-energieintensive Branchen wird hingegen kein signifikanter Effekt gemessen. In einer alternativen Spezifikation wurden lediglich die „klassischen“ energieintensiven Branchen (C19 Mineralölverarbeitung und Kokereien, C20 Chemische Industrie, C23 Mineralprodukte, C24 Metallherzeugung) als energieintensiv eingestuft (siehe Tabelle C-5 im Anhang C). Es zeigt sich eine sehr ähnliche Heterogenität der Effekte, wobei der Effekt für energieintensiven Branchen mit 15 % weniger Energieintensität pro Indexpunkt des EPS noch stärker ausfällt.

Die anderen Variablen weisen im Allgemeinen keine starke Heterogenität zwischen den Spezifikationen auf, so dass ihre Koeffizienten in den Tabellen im nächsten Schritt, in dem die Teilindizes des EPS untersucht werden, nicht angegeben werden.

Tabelle 5-1:
Fixed-Effects-Regressionen gesamt und nach Industrietyp (aggregierter EPS)

	(1) Alle Faktoren	(2) Beschränkte Faktoren	(3) Energieintensive Branchen	(4) Nicht- Energieintensive Branchen
Environmental Policy Stringency Index (Index 0 bis 6)	0.038 (0.042)	-0.054* (0.030)	-0.124* (0.073)	-0.013 (0.031)
log Einheitswert	-0.011 (0.011)	-0.010 (0.009)	-0.013 (0.048)	-0.006 (0.006)
log FuE Investitionen (Mio. USD)	0.029* (0.017)	0.024 (0.015)	0.049** (0.022)	-0.012 (0.022)
log Bruttoanlageinvestitionen (Mio. USD)	0.000 (0.036)	-0.011 (0.033)	-0.024 (0.060)	-0.039 (0.036)
Arbeitsintensität (Personen/USD)	0.007 (0.021)	0.007 (0.019)	-0.015 (0.019)	0.033 (0.021)
Anteil der Personalkosten an Produktion	-0.182 (0.394)	-0.426 (0.419)	-1.930 (1.616)	-0.182 (0.353)
Exportquote (Anteil)	-0.103 (0.195)	0.010 (0.224)	-0.348 (0.301)	0.215 (0.271)
Importquote in Vorleistungen (Anteil)	-0.031 (0.368)	-0.193 (0.341)	-0.672 (0.669)	0.673 (0.460)

log Durchschnittlicher Lohn	0.259*	0.235*	0.096	0.307**
	(0.150)	(0.124)	(0.177)	(0.152)
log Anzahl Unternehmen	-0.036	0.024	0.123	-0.062
	(0.072)	(0.072)	(0.137)	(0.066)
log Bruttowertschöpfung (Mio. USD)	-0.869***	-0.878***	-0.999***	-0.404***
	(0.122)	(0.115)	(0.036)	(0.101)
log BIP pro Kopf, konstante KKP-Preise	0.556*	0.646*	0.752*	0.330
	(0.299)	(0.335)	(0.401)	(0.407)
Anteil Strom am Gesamtverbrauch	-0.391			
	(0.544)			
Anteil Kohle am Gesamtverbrauch	0.706			
	(1.315)			
Anteil Gas am Gesamtverbrauch	-0.641			
	(0.569)			
Anteil Wärme am Gesamtverbrauch	-1.510*			
	(0.779)			
log Industriepreis Heizöl (USD/toe)	-0.029			
	(0.140)			
log Industriepreis Diesel (USD/toe)	-0.556**			
	(0.244)			
log Industriepreis Gas (USD/toe)	0.086			
	(0.086)			
log Industriepreis Strom (USD/toe)	0.016			
	(0.151)			
R-Quadrat	0.990	0.988	0.978	0.940
Anzahl der Beobachtungen	1597	1892	600	1292

Anmerkung: Die abhängige Variable ist die logarithmierte Energieintensität (MJ/USD). Spalte (1) enthält Schätzungen aus Fixed-Effects-Regressionen unter Verwendung der vollständigen Stichprobe und unter Einbeziehung aller erklärenden Variablen, einschließlich Energieanteile und Preise. Spalte (2) enthält Schätzungen aus Fixed-Effects-Regressionen unter Verwendung der vollständigen Stichprobe mit eingeschränkten erklärenden Variablen. Spalte (3) enthält Schätzungen für die Untergruppe der Branchen mit überdurchschnittlicher Energieintensität ($EI > 10,5$ MJ/USD) mit eingeschränkten erklärenden Variablen. Spalte (4) enthält Schätzungen für Branchen mit unterdurchschnittlicher Energieintensität und eingeschränkten erklärenden Variablen. In Klammern sind die robusten Standardfehler für die Sektor-Land-Cluster angegeben.

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Quelle: DIW Econ.

5.2.1.1 Multikollinearität und Untersuchung weiterer Wirkkanäle

Einige Variablen im Datensatz können stark miteinander korrelieren, so dass Multikollinearität entstehen kann. Aus diesem Grund wurde eine Reihe von Spezifikationen mit unterschiedlichen Kombinationen von erklärenden Variablen getestet, um mögliche Multikollinearität und unterschiedliche Wirkungskanäle zu berücksichtigen. Diese Spezifikationen sind in Tabelle C-4 im Anhang dargestellt und werden hier kurz erläutert.

Spalte (1) ist die Basisspezifikation und identisch mit Spalte (2) in Tabelle 5-1. In Spalte (2) wurde die durchschnittliche Unternehmensgröße hinzugefügt, die als Indikator für Skaleneffekte fungiert. Die Hinzunahme der durchschnittlichen Unternehmensgröße führt zu einer starken Veränderung der Koeffizienten für die durchschnittliche Anzahl der Unternehmen, den Durchschnittslohn und den Anteil der Personalkosten an Produktion. Dies ist wahrscheinlich auf Multikollinearität zurückzuführen,

da sowohl der Zähler (Gesamtbeschäftigung) als auch der Nenner (Anzahl der Unternehmen) der durchschnittlichen Unternehmensgröße in den anderen Variablen enthalten sind. Aus diesem Grund wird die durchschnittliche Unternehmensgröße in der Basisspezifikation weggelassen.

In Spalte (3) wurde die Marktkapitalisierung hinzugefügt, um den potenziellen Einfluss der Marktentwicklung auf Investitionstätigkeiten zu erfassen, die die Energieeffizienz beeinflussen könnten. Die Regressionsergebnisse (im Vergleich zu Spalte 1) werden dadurch nicht wesentlich verändert, und Marktkapitalisierung hat keinen Effekt auf die Energieeffizienz. Die Einbeziehung dieser Variable führt jedoch zu einem Verlust von etwa einem Drittel der Beobachtungen aufgrund fehlender Werte. Aus diesem Grund wurde die Marktkapitalisierung nicht in die Basisspezifikation aufgenommen.

In den Spalten (4) und (5) wurden jeweils die Arbeitsintensität in Personen pro USD Produktionswert bzw. der Anteil der Personalkosten an der Produktion weggelassen, da sie beide als Indikatoren für die Arbeitsintensität zu stark korrelieren könnten. Das Weglassen einer der beiden Variablen scheint jedoch die andere im Vergleich zu Spalte (1) nicht stark zu beeinflussen, und die beiden Variablen weisen eine Korrelation von nur 0,18 auf. Sie sind also ausreichend differenziert, um gleichzeitig einbezogen zu werden.

In Spalte (6) wird untersucht, warum die Anzahl der Unternehmen (als Indikator für Wettbewerb) einen positiven, wenn auch nicht signifikanten Koeffizienten aufweist. Eine Möglichkeit ist, dass ein starker Wettbewerb die Unternehmen dazu veranlasst, nach günstigeren Energieträgern wie Kohle zu suchen, die jedoch weniger effizient genutzt werden können. Um diese Hypothese zu testen, wurden in Spezifikation (6) Anteile der unterschiedlichen Energiearten und die Interaktion zwischen dem Kohleanteil und der Anzahl der Unternehmen aufgenommen. Die Interaktion steht für differenzierte Wettbewerbseffekte in Märkten, in denen Kohle bereits aktiv genutzt wird und daher wahrscheinlich eine kostengünstige Alternative zu anderen Energieträgern darstellt. Obwohl die Interaktion nicht signifikant ist, nimmt der Koeffizient für die Anzahl der Unternehmen ab, was darauf hindeutet, dass der Wirkungsmechanismus eine Rolle spielen könnte.

Schließlich wird in Spalte (7) untersucht, warum der Durchschnittslohn einen positiven Koeffizienten aufweist. Wie bereits erwähnt, ist eine mögliche Erklärung, dass Unternehmen bei steigenden Löhnen von Arbeit auf energieintensiveres Kapital umsteigen. Wenn der Durchschnittslohn aus dem Modell entfernt wird, wird der Koeffizient für die Arbeitsintensität negativ, was diese Idee unterstützt.

5.2.2 Querschnittsdatenanalyse

Zusätzlich wird eine Querschnittsdatenanalyse durchgeführt, um den Effekt des OECD Product market regulation index (PMR) auf die Energieintensität zu untersuchen. Der PMR konnte nicht in der Paneldatenanalyse berücksichtigt werden, da der Index nur für die Jahre 2013 und 2018 vorliegt, wobei der PMR in den beiden Jahren mit einer unterschiedlichen Methodik berechnet wurde, sodass die Werte für die beiden nur eingeschränkt vergleichbar sind.

Wir konzentrieren uns in der Querschnittsanalyse auf das Jahr 2018, da die Länderabdeckung durch den PMR in diesem Jahr größer ist. Das Jahr 2013 wird jedoch als Sensitivitätskontrolle getestet. Die Spezifikation lautet wie folgt:

$$Y_{ic} = \gamma + \delta X'_{ic} + d_i + \epsilon_{ic}$$

Die Outcome-Variable Y_{ic} ist, analog zur Paneldatenanalyse, der natürliche Logarithmus der Energieintensität in Branche i in Land c , X'_{ic} ist das Set von Kontrollvariablen, die bereits in der Paneldatenanalyse benutzt wurden, plus der PMR-Index, und d_i sind Branchen-Effekte. Der Grund für die Einbeziehung von Brancheneffekten ist, dass bestimmte Branchen sowohl eine niedrigere Energieintensität als auch niedrigere/höhere Werte für erklärende Faktoren aufweisen können, was einfach auf die spezifische Natur dieser Branche zurückzuführen ist und nicht auf einen kausalen Zusammenhang. Wir können jedoch keine Ländereffekte einbeziehen, da viele Schlüsselvariablen wie die Policy-Variablen, das Pro-Kopf-BIP, die Marktkapitalisierung und die Energiepreise nur nach Land und Zeit und nicht nach Branche innerhalb der Länder variieren. Die Marktkapitalisierung wird aufgrund der vielen fehlenden Werte in den Daten nicht berücksichtigt.

Tabelle 5-2 zeigt die Ergebnisse der Querschnittsanalyse in Spalte (1). Ähnlich wie in der Paneldatenanalyse deuten die Ergebnisse daraufhin, dass der Anteil der verschiedenen Energieträger (bspw. Gas, Kohle) eine wichtige Rolle spielt. Der Koeffizient für den PMR-Index wird zwar negativ geschätzt, ist jedoch statistisch nicht signifikant. Es kann also kein signifikanter Effekt der Marktregulierung auf die Energieintensität festgestellt werden. Dies ist nicht gleichbedeutend damit, dass die Marktregulierung keinen Effekt hat, sondern dass ein solcher mit den vorhandenen Daten und Methodik nicht nachgewiesen werden kann.

Um das Problem der Multikollinearität in der Querschnittsanalyse zu lösen, verwenden wir zusätzlich eine Technik, die als LASSO-Regression bekannt ist, um nur die wichtigsten Faktoren zur Erklärung der Energieintensität auszuwählen. LASSO steht für Least Absolute Shrinkage and Selection Operator und ist ein maschineller Lernalgorithmus zur Auswahl der wichtigsten Variablen in einer Regression. Dabei wird die Regression iterativ durchgeführt, und weniger aussagekräftige Regressoren werden nach und

nach entfernt, bis das Modell einen optimalen Kompromiss zwischen Erklärungskraft und Anzahl der Kontrollvariablen gefunden hat.

Tabelle 5-2 zeigt die Ergebnisse der LASSO-Regression in Spalte (2). Die LASSO Regression bestätigt die Ergebnisse der Basisspezifikation in Spalte (1) dahingehend, dass der PMR-Index in der LASSO Regression eliminiert wird, da er keinen wichtigen Beitrag zur Erklärung der Energieintensität leistet. Tabelle C-6 im Anhang zeigt zudem die Ergebnisse unter Verwendung des PMR für 2013 statt für 2018. Während sich die Koeffizienten leicht ändern, gibt es keinen qualitativen Unterschied zwischen den Ergebnissen für 2013 und 2018. Die Marktregulierung hat somit in beiden Jahren keinen statistisch signifikanten Zusammenhang mit der Energieintensität.

Bei der Interpretation der Ergebnisse sollte jedoch beachtet werden, dass Schätzungen aus einem Querschnittsansatz nicht kausal interpretiert werden können. Die Koeffizienten des PMR-Index können dadurch verzerrt werden, dass nicht für alle relevanten Variablen, die sowohl mit dem PMR-Index als auch mit der Energieintensität korreliert sind, kontrolliert werden kann.

Tabelle 5-2:
Querschnittsregressionen der Energieintensität (2018)

	(1) Alle Kontroll- variablen	(2) LASSO
EPS: 1 Market based policies (Index 0 bis 6)	0.139 (0.103)	
EPS: 2 Non-market based policies (Index 0 bis 6)	2.203* (1.097)	
EPS: 3 Technology support policies (Index 0 bis 6)	0.150* (0.081)	
Product market regulation index (PMR 2018) (Index 0 bis 6)	-0.329 (0.255)	
Anteil Strom am Gesamtverbrauch	-1.056* (0.515)	-1.606* (0.875)
Anteil Kohle am Gesamtverbrauch	1.316*** (0.423)	1.319** (0.542)
Anteil Gas am Gesamtverbrauch	-0.531 (0.501)	-0.735 (0.481)
Anteil Wärme am Gesamtverbrauch	-1.646*** (0.501)	-2.153*** (0.634)
log Einheitswert	0.008 (0.057)	-0.055 (0.079)
log FuE Investitionen (Mio. USD)	0.108 (0.108)	
log Bruttoanlageinvestitionen (Mio. USD)	-0.017 (0.039)	-0.069 (0.042)
Arbeitsintensität (Personen/USD)	-0.052*** (0.016)	-0.015 (0.011)
Anteil der Personalkosten an Produktion	1.408 (1.550)	-0.024 (1.029)
Exportquote (Anteil)	0.423 (0.515)	

Importquote in Vorleistungen (Anteil)	0.316 (0.631)	0.492 (0.528)
log Durchschnittlicher Lohn	0.197 (0.247)	
log Anzahl Unternehmen	0.089 (0.101)	0.096 (0.076)
log Bruttowertschöpfung (Mio. USD)	-0.211 (0.170)	-0.064 (0.074)
log Industriepreis Heizöl (USD/toe)	-2.544*** (0.849)	
log Industriepreis Diesel (USD/toe)	0.410 (0.514)	
log Industriepreis Gas (USD/toe)	0.811 (0.591)	
log Industriepreis Strom (USD/toe)	-0.690 (0.690)	
log BIP pro Kopf, konstante KKP-Preise	-2.938*** (0.860)	-0.310 (0.299)
R-Quadrat	0.928	0.856
Anzahl der Beobachtungen	187	295

Anmerkung: Die abhängige Variable ist die logarithmierte Energieintensität (MJ/USD). In Klammern sind die robusten Standardfehler für die Sektor-Cluster angegeben.

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Quelle: DIW Econ.

6. Fazit

Die Schweiz weist im europäischen Vergleich die niedrigste Energieintensität auf. Auch im Vergleich zu Staaten mit einer ähnlichen Wirtschaftskraft pro Kopf, wie Deutschland oder Frankreich, verbraucht die Schweiz deutlich weniger Energie pro Einheit Bruttowertschöpfung. Dabei erstreckt sich die geringere Energieintensität in der Schweiz über alle Sektoren (Landwirtschaft, Industrie, Dienstleistungen und Haushalte). Eine Zerlegungsanalyse zeigt, dass die niedrige Energieintensität in der Schweiz nicht so sehr durch eine unterschiedliche Verteilung der Wertschöpfung über die Sektoren (Struktureffekt), sondern eher durch eine geringere Energieintensität innerhalb der Sektoren (Intensitätseffekt) bedingt ist. So sind beispielsweise die Anteile der verschiedenen Sektoren an der gesamten Bruttowertschöpfung in der Schweiz und Deutschland sehr ähnlich, sodass die niedrigere Energieintensität in der Schweiz ausschließlich dadurch zu erklären ist, dass die Schweiz innerhalb der Sektoren weniger energieintensiv produziert als Deutschland.

Der Unterschied in der Energieintensität zu den anderen europäischen Staaten ist im Sekundärsektor, insbesondere im verarbeitenden Gewerbe, mit Abstand am größten. So verbraucht die Schweizer Industrie weniger als ein Drittel der Energie der französischen Industrie und weniger als die Hälfte der Energie der deutschen Industrie für eine Einheit Bruttowertschöpfung. Hier zeigt eine Zerlegungsanalyse, dass die Schweiz sowohl verstärkt in Branchen des verarbeitenden Gewerbes produziert, die grundsätzlich weniger energieintensiv sind (Struktureffekt), als auch innerhalb der Branchen energieeffizienter produziert (Intensitätseffekt), wobei der Intensitätseffekt deutlich stärker ausfällt.

Dieses Bild wird auch durch die Analyse der Veränderung der Energieintensität in der Schweiz über die Zeit bestätigt. Die Energieintensität ist im verarbeitenden Gewerbe zwischen 2010 und 2019 mit -35 % besonders stark gesunken. Auch hier zeigt eine Zerlegungsanalyse, dass sowohl ein Struktureffekt (Verschiebung der Produktion in grundsätzlich weniger energieintensive Branchen wie z.B. die Pharmabranche) als auch ein Intensitätseffekt (Senkung der Energieintensität innerhalb der Branchen) zur Senkung der Energieintensität in der Industrie beitragen, wobei der Intensitätseffekt dominiert. Der Struktureffekt wird insbesondere durch die stärker wachsende Pharmaindustrie angetrieben, deren Energieintensität vergleichsweise gering ist und deren Anteil an der Bruttowertschöpfung des Schweizer Industriesektors zwischen 2010 und 2019 von 15 % auf 31 % angestiegen ist. Der Intensitätseffekt erstreckt sich über fast alle Branchen des Industriesektors: die Produktion wurde in 15 von 18 Branchen energieeffizienter. Auch beim Intensitätseffekt spielt die Pharmabranche eine besonders wichtige Rolle. So ist die Energieintensität in der Pharmabranche mit einem Rückgang von 71 % am stärksten gesunken und damit stärker als bei ihren europäischen Mitbewerbern.

Grundsätzlich muss bei den Ergebnissen der Zerlegungsanalyse bedacht werden, dass ein Intensitätseffekt auf einer höheren Aggregationsebene, hier die Ebene der Branchen innerhalb der Industrie, wiederum in Struktur- und Intensitätseffekte auf einer tieferen Ebene, also der Produktebene innerhalb der Branchen des Industriesektors zerlegt werden könnte. Aufgrund fehlender Daten konnte diese Analyse auf der Produktebene nicht durchgeführt werden. Daher kann diese Studie auch keine direkten Aussagen dazu treffen, inwiefern die niedrigere Energieintensität in den Schweizer Industriebranchen durch eine unterschiedliche funktionale Arbeitsteilung der Unternehmen innerhalb der Branchen bedingt ist.

Zusätzlich wurden verschiedene Regressionsmethoden verwendet, um die spezifischen Einflussfaktoren der niedrigen Energieintensität genauer zu untersuchen. Dabei zeigt sich, dass die Energiepreise (z.B. Dieselpreise) sowie der Anteil der Energieträger (z.B. Wärmeanteil) einen signifikanten negativen Einfluss auf die Energieintensität haben. Hohe Energiepreise und Abhängigkeiten von Energie schaffen zusätzliche Anreize für Unternehmen, Energie einzusparen. Die Nutzung sekundärer Energieträger wie Wärme verlagert die Umwandlungsverluste in der Verbrennung fossiler Brennstoffe via Fernwärmesysteme in den Sektor der Strom- und Wärmeerzeugung, wo diese durch Skaleneffekte und effizientere Prozesse wie Kraft-Wärme-Kopplung oder den Einsatz erneuerbarer Energien weiter reduziert werden können.

Von besonderem Interesse ist der Koeffizient des EPS-Index, da der EPS-Index die klima- und umweltpolitischen Maßnahmen widerspiegelt, die direkt unter der Kontrolle der politischen Entscheidungsträger stehen. Der Koeffizient des EPS-Index ist negativ und statistisch signifikant mit 10 %. Zudem zeigt sich eine Heterogenität des Effekts zwischen den Branchen. Während für der EPS-Index in energieintensiven Branchen ein senkender Effekt von 12-15 % weniger Energieintensität pro Indexpunkt gemessen (signifikant mit 10 %), wird für weniger energieintensive Branchen kein signifikanter Effekt gemessen. Ein Anstieg des EPS um einen Indexpunkt entspricht ungefähr dem Anstieg des EPS-Index der Schweiz zwischen 2010 und 2019.

Literaturverzeichnis

- Acatech, Leopoldina & Akademienunion. 2022. „Welche Auswirkungen hat der Ukrainekrieg auf die Energiepreise und Versorgungssicherheit?“ Mainz.
- Ang, B.W. 2015. „LMDI decomposition approach: A guide for implementation.“ *Energy Policy* 86: 233-238.
- Ang, B.W., X.Y. Xu, und Bin Su. 2015. „Multi-country comparisons of energy performance: The index decomposition analysis approach.“ *Energy Economics* (Elsevier) 47: 68-76.
- BAFU. 2022. *Kompensationspflicht für Treibstoffimporteure*. 11. Juli. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/verminderungsmassnahmen/kompensation/treibstoffe.html>.
- BAFU. 2019. *Schweizer Emissionshandelssystem: Überblick Emissionshandel für stationäre Anlagen 2013–2018*. Bundesamt für Umwelt, Abteilung Klima.
- Bhadbhade, N., I. Fouiteh, S. Yilmaz, M. K. Patel, N. Boogen, und R. Betz. 2021. „Energy efficiency Trends and Policies in Switzerland.“
- Brethauer, S., M. Riediker, O. Thees, und M. H.-P. Studer. 2021. „Die Rolle von Biomasse im zukünftigen schweizerischen Energie- und Rohstoffsystem.“ *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 172 (1): 7-15.
- Cui, Q., H. B. Kuang, C. Y. Wu, und Y. Li. 2014. „The changing trend and influencing factors of energy efficiency: the case of nine countries.“ *Energy* 64: 1026-1034.
- Du, H., D. C. Matisoff, Y. Wang, und X. Liu. 2016. „Understanding drivers of energy efficiency changes in China.“ *Applied energy*, 1196-1206.
- Filipović, S., M. Verbič, und M Radovanović. 2015. „Determinants of energy intensity in the European Union: A panel data analysis.“ *Energy*, 547-555.
- IEA. 2023. *IEA Energy efficiency indicators database*. Zugriff am 2023. April 2023. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/energy-efficiency-indicators>.
- Jimenez, R., und J. Mercado. 2014. „Energy intensity: A decomposition and counterfactual exercise for Latin American countries.“ *Energy Economics* 42: 161-171.
- Jin, T. 2022. „Impact of heat and electricity consumption on energy intensity: A panel data analysis.“ *Energy*, 121903.

- Koske, I., I. Wanner, R. Bitetti, und O. Barbiero. 2015. „The 2013 update of the OECD's database on product market regulation: Policy insights for OECD and non-OECD countries.“ *OECD Economics Department Working Papers* (OECD Publishing) No. 1200.
- Kruse, T., A. Dechezleprêtre, R. Saffar, und L. Robert. 2022. *Measuring Environmental Policy Stringency In OECD Countries: An Update Of The OECD Composite EPS Indicator*. OECD.
- Liu, K., H. Bai, J. Wang, und B. & Lin. 2018. „How to reduce energy intensity in China's heavy industry— Evidence from a seemingly uncorrelated regression.“ *Journal of cleaner production* 180: 708-715.
- Llorca, M., und T. Jamasb. 2017. „Energy efficiency and rebound effect in European road freight transport.“ *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 101: 98-110.
- Miskinis, V., A. Galinis, I. Konstantinaviciute, V. Lekavicius, und E. Neniskis. 2020. „ Comparative analysis of energy efficiency trends and driving factors in the Baltic States.“ *Energy Strategy Reviews*, 1-14.
- Narayanan, K., und S.K. Sahu. 2010. „Labour and Energy Intensity: A Study of Pulp & Paper Industries in India.“ *Joint Annual International Conference of IASSI & Knowledge Forum on “Science, Technology and Economy: Human Capital and Development”*. Mumbai.
- Paramati, S. R., M. Ummalla, und N. Apergis. 2016. „The effect of foreign direct investment and stock market growth on clean energy use across a panel of emerging market economies.“ *Energy Economics* 56: 29-41.
- Pehnt, M. 2010. *Energieeffizienz: Ein Lehr-und Handbuch*. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Petrović, P., S. Filipović, und M. Radovanović. 2018. „Underlying causal factors of the European Union energy intensity: Econometric evidence.“ *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 89: 216-227.
- Pickenpaugh, G. C., und P. Balash. 2012. „An Examination of Energy Intensity in the U.S. Manufacturing Sector.“ *IAEE Online Conference Proceedings*. The International Association for Energy Economics.
- Prognos AG, Infrac AG, TEP Energy GmbH. 2022. „Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2021 nach Verwendungszwecken. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie.“
- Tzeiranaki, S. T., P. Bertoldi, M. Economidou, E. L. Clementi, und M. Gonzalez-Torres. 2023. „Determinants of energy consumption in the tertiary sector: Evidence at European level.“ *Energy Reports* 9: 5125-5143.

United Nations. 2023. *Goal 7 - SDG Indicators*. Zugriff am 11. April 2023.
<https://unstats.un.org/sdgs/report/2022/goal-07/>.

Wang, H., B. W. Ang, und B. Su. 2017. „Assessing drivers of economy-wide energy use and emissions: IDA versus SDA.“ *Energy Policy* 107: 585-599.

Wen, H., N. Li, und C. C. Lee. 2021. „Energy intensity of manufacturing enterprises under competitive pressure from the informal sector: evidence from developing and emerging countries.“ *Energy Economics* 104: 105613.

Zhao, Y., und J. Mao. 2022. „Energy effects of non-energy policies: Minimum wage standard and enterprise energy efficiency in China.“ *Resources Policy* 79: 102953.

Anhang A. Datengrundlage

A1. Übersicht über Sektoren, Länder und Datenquellen

Tabelle A-1:
Überblick über die Sektoren

Datensätze für die Zerlegungsanalyse	Datensätze für die Regressionsanalyse
<p>NACE-Abschnitte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abschnitt A: Primärer Sektor • Abschnitte B-F: Industrie, Versorgung, Bau • Abschnitte G-S: Dienstleistungen • Haushalte <p>NACE-Zweistellerebene</p> <ul style="list-style-type: none"> • C10-C12: Lebensmittel, Getränke, Tabak • C13-C15: Textilien, Bekleidung, Leder • C16: Holz, Holzwaren • C17: Papier, Papierwaren • C18: Druckerzeugnisse, Tonträger • C19-C20: Chemische Erzeugnisse • C21: Pharmazeutika • C22: Gummi, Kunststoffe • C23: Mineralprodukte • C24: Metalle • C25: Metallerzeugnisse • C26: Elektronik, Optik • C27: Elektrische Ausrüstung • C28: Maschinen • C29: Kraftfahrzeuge 	<p>NACE-Zweistellerebene</p> <ul style="list-style-type: none"> • C10-C12: Lebensmittel, Getränke, Tabak • C13-C15: Textilien, Bekleidung, Leder • C16: Holz, Holzwaren • C17-C18: Papier, Papierwaren & Druckerzeugnisse • C19: Koks- & Mineralölerzeugnisse • C20: Chemische Erzeugnisse • C21: Pharmazeutika • C22: Gummi, Kunststoffe • C23: Mineralprodukte • C24: Metalle • C25: Metallerzeugnisse • C26: Elektronik, Optik • C27: Elektrische Ausrüstung • C28: Maschinen • C29: Kraftfahrzeuge • C30: Transportmittel • C31-33: Möbel, sonstige Waren, Reparatur, Installation

Quelle: DIW Econ.

Tabelle A-2:
Überblick über die Länder

Abkürzung	Land	Abkürzung	Land
AT	Österreich	HU	Ungarn
BE	Belgien	IE	Irland
BG	Bulgarien	IT	Italien
CH	Schweiz	LT	Litauen
CY	Zypern	LU	Luxemburg
CZ	Tschechien	LV	Lettland
DE	Deutschland	MT	Malta
DK	Dänemark	NL	Niederlande
EE	Estland	PL	Polen
EL	Griechenland	PT	Portugal
ES	Spanien	RO	Rumänien
FI	Finnland	SI	Slowenien
FR	Frankreich	SK	Slowakei
HR	Kroatien		

Quelle: DIW Econ.

**Tabelle A-3:
Datenquellen**

Quelle	Gruppe ²³	Variablen
OECD	Basisstatistiken	<input type="checkbox"/> Bruttowertschöpfung
		<input type="checkbox"/> Produktionswert
		<input type="checkbox"/> Währungskurse
	Arbeitsintensität	<input type="checkbox"/> Verhältnis von Beschäftigung und Produktion
	Technischer Fortschritt & Technologietransfer	<input type="checkbox"/> FuE Investitionen
		<input type="checkbox"/> Importquote
	Investitionen	<input type="checkbox"/> Bruttoinvestitionen
	Wettbewerb	<input type="checkbox"/> Exportquote
CO ₂ -Preise / CO ₂ -Steuer	<input type="checkbox"/> Environmental Policy Stringency Index (EPS)	
Marktregulierung	<input type="checkbox"/> Product Market Regulation Index (PMR)	
Eurostat	Basisstatistiken	<input type="checkbox"/> Bruttowertschöpfung
		<input type="checkbox"/> Produktionswert
		<input type="checkbox"/> Gesamtenergieverbrauch
	Arbeitsintensität	<input type="checkbox"/> Verhältnis von Arbeitskosten und Produktion
	Energiestruktur	<input type="checkbox"/> Anteil verschiedener Energiearten am Gesamtenergieverbrauch
	Skaleneffekte & Pfadabhängigkeit	<input type="checkbox"/> Durchschnittliche Unternehmensgröße
Wettbewerb	<input type="checkbox"/> Anzahl der Unternehmen	
Sektorale Struktur	<input type="checkbox"/> Durchschnittlicher Lohn	
Weltbank	Finanzierungsbedingungen	<input type="checkbox"/> Marktkapitalisierung: Gesamtwert der Unternehmen eines Sektors an der Börse im Verhältnis zu BIP
UN Comtrade	Sektorale Struktur	<input type="checkbox"/> Einheitswert: Durchschnittlicher Wert der produzierten Waren in einem Sektor
IEA	Energiepreise	<input type="checkbox"/> Industrieenergiepreise nach Energiearten

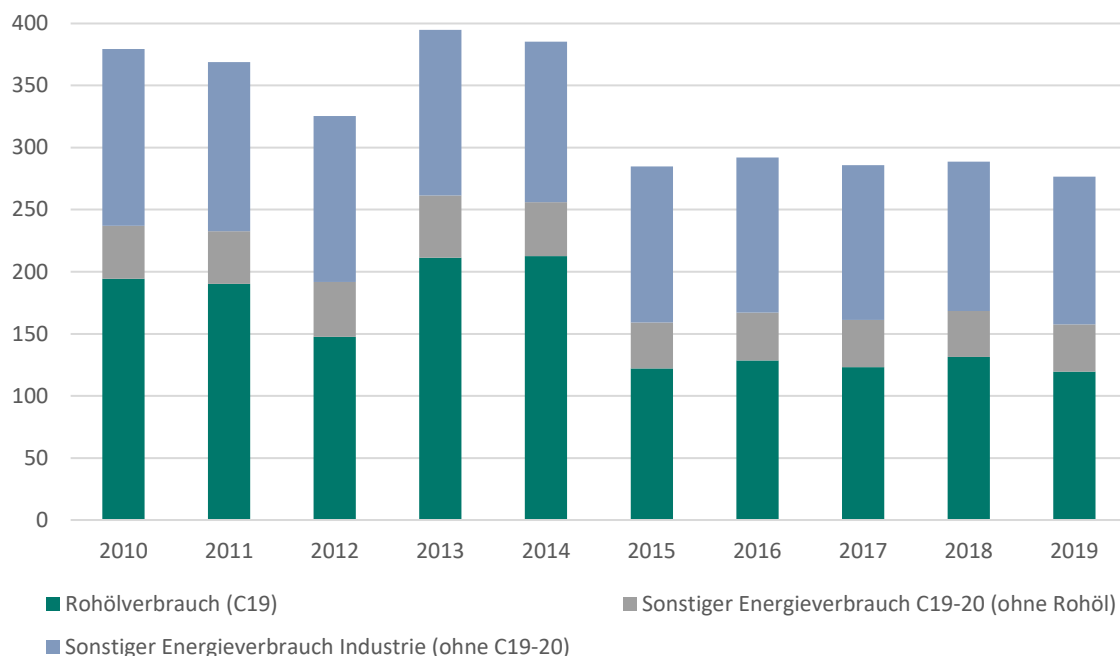
Quelle: DIW Econ.

²³ Daten auf sektoraler Ebene sind grün markiert und Daten auf Länderebene sind blau markiert.

A2. Entfernung von Rohöl- und Kohleverbrauch in Branche C19-20

Die PEFA-Daten zum Energieverbrauch enthalten auch den transformativen Verbrauch von fossilen Brennstoffen und Rohöl. Abbildung A-1 zeigt den Rohölverbrauch in Branche C19 Mineralölverarbeitung, den sonstigen Energieverbrauch in C19-20 Mineralölverarbeitung und chemische Industrie sowie den sonstigen Energieverbrauch der Industrie (ohne C19-20) für die Schweiz. Dabei ist zu erkennen, dass der Energieverbrauch starken Schwankungen unterliegt, die sich größtenteils aus Produktionsveränderungen der Raffinerien ergeben. Im Januar 2012 stellte die Raffinerie Cressier, eine der zwei in der Schweiz ansässigen Raffinerien, vorübergehend die Produktion ein, da kein Rohöl mehr verfügbar war. Dies spiegelt sich in der Reduktion des Energieverbrauchs im verarbeitenden Gewerbe um ca. 12 % zwischen 2011 und 2012 wider. Zwischen 2012 und 2013 steigt der Verbrauch daraufhin um ca. 21 %. Abbildung A-1 zeigt, dass diese Fluktuationen größtenteils durch den Rohölverbrauch erklärt werden. Dieser fällt zwischen 2011 und 2012 von ca. 190 PJ auf 147 PJ und steigt 2013 auf 211 PJ an. Auch ab 2015 befindet sich der Energieverbrauch auf einem niedrigeren Niveau. Zwischen 2014 und 2015 sinkt er von ca. 385 PJ auf 285 PJ und somit um 26 %. Dies ist eine Folge der Schließung der Raffinerie Collombey, die ihre Produktion im März 2015 vollständig eingestellt hat. Dadurch wurde der Rohölverbrauch von ca. 213 PJ im Jahr 2014 auf 122 PJ im Jahr 2015 reduziert.

Abbildung A-1:
Energieverbrauch (PJ) in der Schweizer Industrie, 2010 – 2019

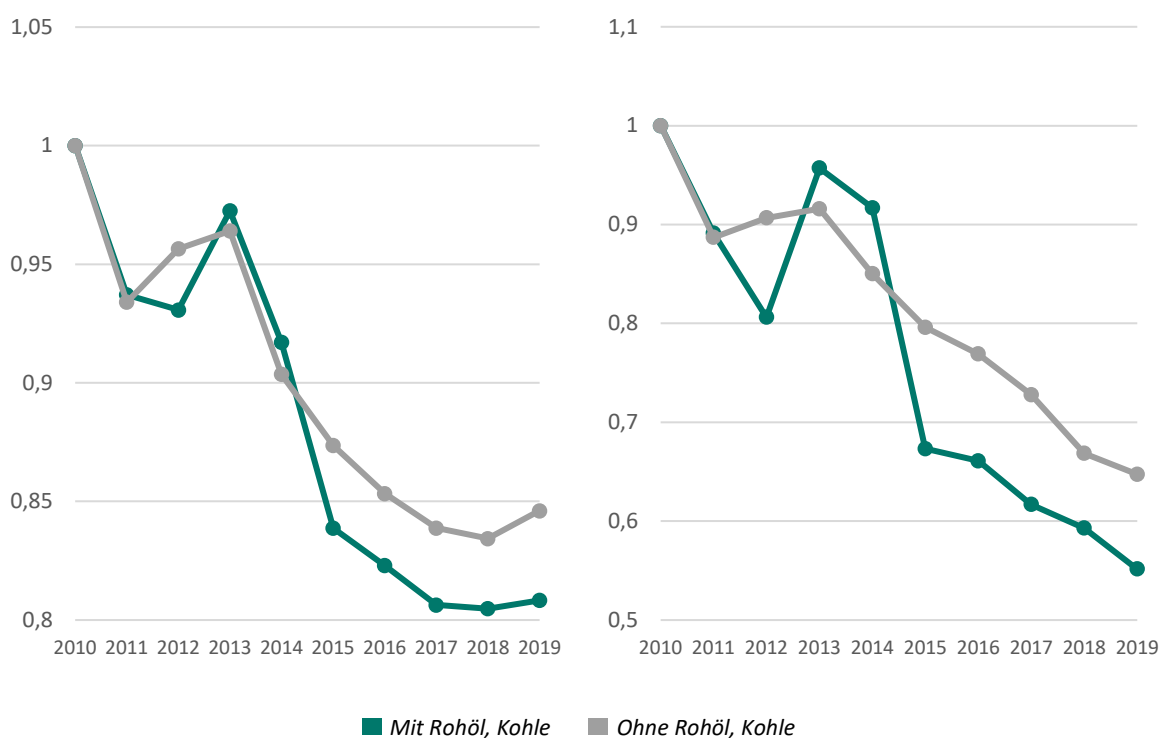


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Aufgrund des erheblichen Anteils der Raffinerien am Energieverbrauch hatten diese Ereignisse einen signifikanten Einfluss auf die Energieintensität. Abbildung A-2 vergleicht die Entwicklung der

Energieintensität in der gesamten Schweizer Wirtschaft und im verarbeitenden Gewerbe, vor und nach Entfernen des Rohöl- und Kohleverbrauchs in Branche C19. Dabei zeigen beide Grafiken eine ähnliche Entwicklung. Die Energieintensität bei Berücksichtigung des Rohöl- und Kohleverbrauchs in Branche C19 ist im Jahr 2012 sowie ab 2015 signifikant niedriger als die Energieintensität nach Entfernen des Rohöl- und Kohleverbrauchs. Letztere ist in den Jahren 2013 und 2014 auf einem höheren Niveau. Aufgrund dieser starken Schwankungen in der Energieintensität wird in den obigen Analysen sowohl der Rohölverbrauch als auch der Kohleverbrauch in Branche C19 aus den Daten entfernt.

Abbildung A-2:
Entwicklung der Energieintensität vor und nach Entfernen des Rohöl- und Kohleverbrauchs in Branche C19, links für die gesamte Wirtschaft, rechts für das verarbeitende Gewerbe (2010 = 1)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

A3. Approximation der Energieverbrauchsdaten für Branchen C19 und C20

In der verwendeten Energiestatistik für die Schweiz sind die Sektoren C19 (Kokereien und Mineralölverarbeitung) und C20 (Chemische Industrie) zusammengefasst. Dabei hat die chemische Industrie eine große ökonomische Bedeutung in der Schweiz, während die beiden Sektoren starke Unterschiede in der Energieintensität aufweisen und auch durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden können. Zudem liegen die Daten für die beiden Sektoren für alle anderen Länder separat vor. Daher wurden sie für die Regressionsanalyse auch für die Schweiz aufgeteilt. Dafür wurde ein

approximativer Ansatz gewählt, der darauf basiert, dass verschiedene statistische Quellen für die Schweiz unterschiedliche sektorale Gruppierungen nutzen.

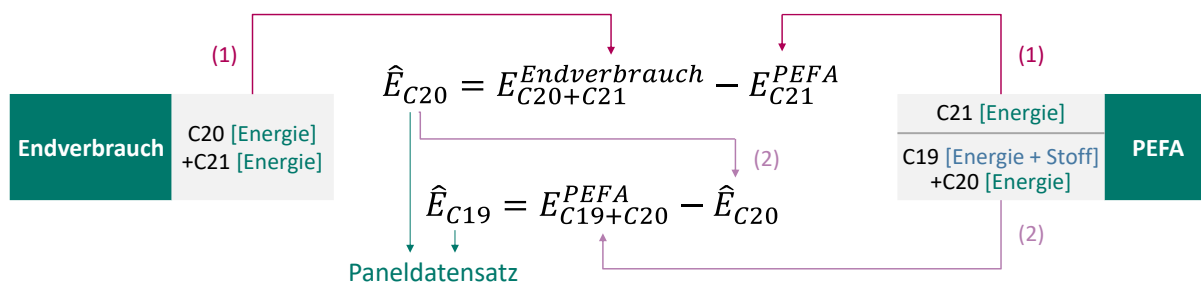
Der für die Quantifizierung des Gesamtenergieverbrauchs verwendete PEFA-Datensatz fasst nämlich die Sektoren C19 Mineralölverarbeitung und C20 Chemische Industrie zusammen, weist aber C21 Pharmazeutische Industrie separat aus. Die Endverbrauchsstatistiken hingegen beinhalten keine Informationen zum Energieumwandlungssektor C19 und fassen die Sektoren C20 und C21 zusammen. Es ist auf zwei grundlegende methodische Unterschiede zwischen den beiden Datensätzen hinzuweisen, die jedoch für die Zwecke dieser Analyse vernachlässigt werden können:

- Die PEFA-Daten inkludieren die stoffliche Nutzung der Brennstoffe, während die Schweizer Endverbrauchsstatistiken nur den energetischen Verbrauch erfassen. Nach Brethauer et al. (2021) allerdings ist in den drei Sektoren C19, C20 und C21 die stoffliche Nutzung nur auf C19 begrenzt. Damit erfassen die PEFA-Daten und die Endverbrauchsstatistiken für die Sektoren C20 und C21 die gleichen Informationen.
- Die PEFA-Daten nutzen das Inländerprinzip und Endverbrauchsstatistiken das Inlandsprinzip.²⁴ Allerdings entstehen dadurch erfahrungsgemäß insgesamt eher geringe Differenzen im Industriesektor, weil jede Produktionsstätte in der Regel eine Niederlassung darstellt. Somit ist sie auch in dem Land, wo sie physisch die Energie verbraucht, ansässig und wird unter beiden Ansätzen erfasst.

In der Schweizer Energiebilanz wird außerdem die Verwendung von Erdöl ausschließlich den Raffinerien (C19) zugeordnet. Die drei vorliegenden Statistiken können somit dazu genutzt werden, die jeweiligen Energieverbräuche insgesamt und nach den wichtigsten Energiearten in den Sektoren C19 und C20 als Sektordifferenzen zu schätzen. Im ersten Schritt (markiert mit (1) in Abbildung A-3) wird der Energieverbrauch im Sektor C20 als Differenz zwischen dem Endverbrauch in der Sektorengruppe C20-C21 und dem PEFA-Verbrauch im Sektor C21 geschätzt. Im zweiten Schritt wird dieser Wert genutzt, um den stofflichen und energetischen Verbrauch im Sektor C19 aus PEFA-Daten für die Sektorengruppe C19-C20 zu berechnen. Die beiden geschätzten Werte werden in den Paneldatensatz übernommen.

²⁴ Nach Inlandsprinzip werden die Energieverbräuche in geographischen Grenzen des Landes erfasst, nach Inländerprinzip dagegen Verbräuche der im Land ansässigen Unternehmen bzw. Niederlassungen, unabhängig davon ob der Verbrauch physisch im Land stattfindet.

Abbildung A-3:
Schätzung der Energieverbräuche in Schweizer Sektoren C19 und C20



Quelle: DIW Econ.

Zur Plausibilisierung der geschätzten Werte wurden diese mit den in 2022 vom BFE veröffentlichten Auswertungen des hochgerechneten Energieverbrauchs in der Industrie und im Dienstleistungssektor nach 41 NOGA-Gruppen verglichen. Die Auswertungen des BFE wurden für ausgewählte Energieträger in 2011-2021 erstellt und, weil sie teilweise starke Unsicherheiten aufweisen, als nicht-öffentliche Statistik herausgegeben. Nur die Endverbrauchssektoren wurden erfasst, d.h. der Umwandlungssektor C19 ist in den Daten nicht enthalten. Die PEFA-Daten für den Sektor C21 bzw. die daraus resultierende Verbrauchsschätzung für den Sektor C20 liegen sehr nah an den Ergebnissen der Sonderauswertung und unterstreichen damit die Validität der approximativ berechneten Werte.

A4. Plausibilisierung der Energieverbrauchsdaten

Auf sektoraler Ebene wird die Energieintensität grundsätzlich mit dem Endenergieverbrauch berechnet. Da die Energieverbrauchsstatistik für die Schweiz nur für Sektorengruppen vorliegt, wird im Rahmen der vorliegenden Studie der PEFA-Datensatz zum Gesamtenergieverbrauch genutzt. Dieser besteht aus End- und transformativen Energieverbrauch und wird nach dem Inländerprinzip berechnet, während Endverbrauchsstatistiken auf dem Inlandsprinzip basieren. Aufgrund dieser methodischen Unterschiede ist davon auszugehen, dass die im Rahmen dieser Studie genutzten Daten vom Endenergieverbrauch abweichen. Inwiefern dies der Fall ist und ob dies ein Problem darstellt, wird in diesem Abschnitt untersucht.

Für die Schweiz können die PEFA-Daten mit den Endenergieverbrauchsdaten des Bundesamtes für Energie verglichen werden, die für 19 Sektoren erfasst werden. Über die entsprechenden NOGA-Codes können die Branchen den entsprechenden NACE-Branchen in den PEFA-Daten grob zugeordnet werden (Tabelle A-4).

Tabelle A-4:
Zuordnung der NOGA-Gruppen den NACE-Branchen in den PEFA-Daten

Eurostat (NACE)	Bundesamt für Energie
C10-C12	Nahrungsmittel
C13-C15	Textil / Leder
C17-C18	Papier / Druck
C23	Zement / Beton, andere NE-Mineralien
C24	Metall / Eisen, NE-Metalle
C16, C22, C25-32	Metall / Geräte, Maschinen, andere Industrien
Tertiärsektor	Handel, Gastgewerbe, Kredit / Versicherungen, Verwaltung, Unterricht, Gesundheits- / Sozialwesen, andere Dienstleistungen, Verkehr ²⁵

Quelle: DIW Econ.

Die Angaben zum Energieverbrauch nach Eurostat fallen in allen der betrachteten Industriebranchen größer aus, mit Abweichungen die zwischen 5 % und 36 % liegen. Eine Abweichung dieser Größenordnung ist in Anbetracht der methodischen Unterschiede zwischen den beiden Statistiken zu erwarten. Eine Ausnahme ist der Tertiärsektor (Dienstleistungen). Hier weicht der Energieverbrauch nach Eurostat vom Endenergieverbrauch um 31 % nach unten ab, nachdem der Energieverbrauch im Verkehr ebenfalls einbezogen wird. Da dieser aber nicht ausschließlich dem Tertiärsektor zurechenbar ist, ist auch diese Abweichung nicht unerwartet.

Für die Sektoren C19, C20, und C21 (Kokereien und Mineralverarbeitung, Chemische Erzeugnisse und Pharmazeutische Erzeugnisse) liegen die PEFA-Daten und die Endverbrauchsdaten für unterschiedliche Gruppenkonstellationen vor, so dass ein direkter Vergleich nicht möglich ist. Die Daten wurden jedoch bei der Aufteilung der Sektoren C19 und C20 mit den Auswertungen des BFE verglichen, wie in Anhang A3 beschrieben.

Für die EU-Staaten vergleichen wir unsere Daten mit den über Eurostat abrufbaren Energiebilanzen. Die Zuordnung ist in Tabelle A-5 zusammengefasst.

²⁵ Der Energieverbrauch im Verkehr ist aus der Statistik des Bundesamtes für Energie zum Energieverbrauch der Industrie und im Dienstleistungssektor aus Vergleichsgründen ausgeschlossen. Die Verbrauchsdaten für den Verkehr haben wir daher aus (Prognos AG, Infrac AG, TEP Energy GmbH 2022).

Tabelle A-5:
Zuordnung der NACE-Branchen in den PEFA-Daten den Sektoren in den Energiebilanzen

Energieverbrauch	Energiebilanzen
C10-C12	Lebensmittel, Getränke und Tabakwaren
C13-C15	Textil und Leder
C16	Holz und Holzprodukte
C17-C18	Papier, Zellstoff und Druck
C23	Nicht-metallische Mineralien
C24	Eisen und Stahl, Nichteisenmetalle
C25-C28	Maschinen
C29-C30	Transportmittel
Primärsektor	Land- und Forstwirtschaft
Tertiärsektor & Haushalte	Verkehr (Schiene, Straße, Binnenflugverkehr und Schifffahrt, Transport in Rohrleitungen, anderweitig nicht genannt), Sonstige Sektoren (Gewerbliche und öffentliche Dienstleistungen, Haushalte, nicht anderweitig genannt)

Quelle: DIW Econ.

Für den Tertiärsektor und Haushalte liegen die Abweichungen bei der Mehrheit der betrachteten Staaten zwischen -10 % und +20 % im Vergleich zum Endenergieverbrauch laut Energiebilanzen und somit im Rahmen des Erwartbaren. Ausnahmen sind Dänemark, Irland und Litauen mit Abweichungen von entsprechend 122 %, 69 % und 55 %. Mögliche Gründe für die Abweichungen sind erstens, dass die Differenzen zwischen Inlands- und Inländerprinzip bei Verkehr und Dienstleistungen am größten ausfallen, und zweitens, dass – insbesondere bei negativen Abweichungen – der industrie-eigene Verkehr in den PEFA-Daten der Industrie, in der Energiebilanz aber dem Verkehrssektor zugerechnet wird. Für den Primärsektor liegen die Abweichungen in den meisten Staaten bei bis zu 25 %. Ausnahmen sind Bulgarien mit 69 %, Litauen mit 104 %, Spanien mit 42 % und Portugal mit 35 %.

Für die Industriebranchen liegen die Abweichungen nach Abzug des transformativen Verbrauchs für die meisten Staaten bei unter 20 %. Es ist jedoch zu beachten, dass nicht für alle Länder Daten zum transformativen Energieverbrauch vorliegen, so dass größere Abweichungen zum Teil auch darauf zurückzuführen sind. Deutlich mehr Ausreißer gibt es auch bei den Branchengruppen mit grober Zuordnung wie C25-C28 (Maschinen, Transportmittel, Elektrische Ausrüstungen). Hier gibt es in neun von 26 Ländern größere Abweichungen. Auch der Sektor C24 (Metallerzeugung) ist mit Vorsicht zu betrachten, weil die PEFA-Daten auch nach Abzug des transformativen Verbrauchs für die Strom- und

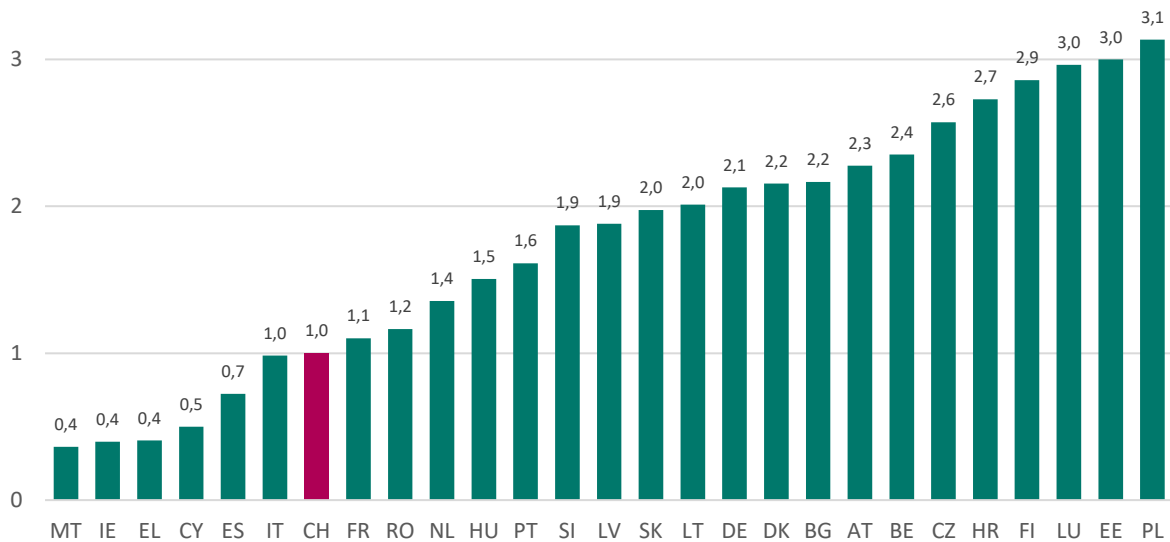
Wärmeerzeugung mehreren Sektoren in der Energiebilanz zugeordnet werden können, die jedoch keine perfekte Überlappung aufweisen. Einerseits werden der Metallerzeugung nicht nur der Endverbrauch in der Eisen- und Nichteisenmetallindustrie, sondern auch der Verbrauch in Hochöfen zugerechnet. Zum anderen können dem Endverbrauch in der Eisen- und Nichteisenmetallindustrie teilweise auch Produktionsbereiche der Metallbearbeitung zugerechnet werden, die in den PEFA-Daten eher dem Sektor C25 zugeordnet werden. Im Sektor C24 gibt es in sechs von 26 Ländern größere Abweichungen. In den anderen Sektoren gibt es jeweils nur 3-4 Ausreißer.

Aus den Ergebnissen dieses Vergleichs lassen sich mehrere Schlüsse ziehen. Erstens sind die Unterschiede zwischen den in dieser Studie verwendeten Daten und anderweitig verfügbaren Endverbrauchsdaten in den meisten Staaten und Sektoren moderat. Größere Abweichungen gibt es zwar in den meisten Sektoren, sie betreffen jedoch nur einen kleinen Teil der Staaten und häufig dieselben. Dies betrifft insbesondere Staaten wie Zypern oder Malta, in denen der Energieverbrauch grundsätzlich niedriger ist, und wir vermuten, dass die Abweichungen hier unter anderem auf die Verwendung vereinfachter, aber weniger genauer Erhebungsansätze zurückzuführen sind. Darüber hinaus gehen wir davon aus, dass ein großer Teil der Abweichungen auf den transformativen Verbrauch zurückzuführen ist. Die in dieser Studie verwendeten Daten erlauben es daher, neben dem Endverbrauch auch den transformativen Verbrauch in die Berechnung der Energieintensität einzubeziehen.

Anhang B. Schweizer Energieintensität im Zeitverlauf und internationalen Vergleich

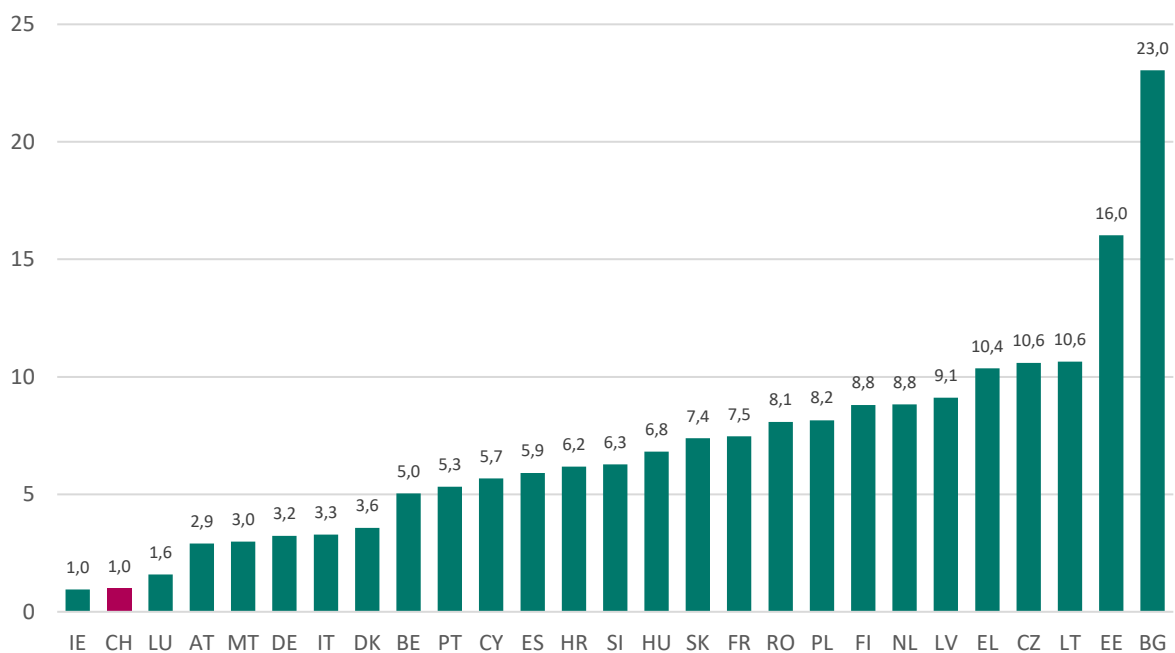
B1. Sektorale Energieintensität im internationalen Vergleich

Abbildung B-1:
Energieintensität im Primärsektor, 2019 (Schweiz = 1)



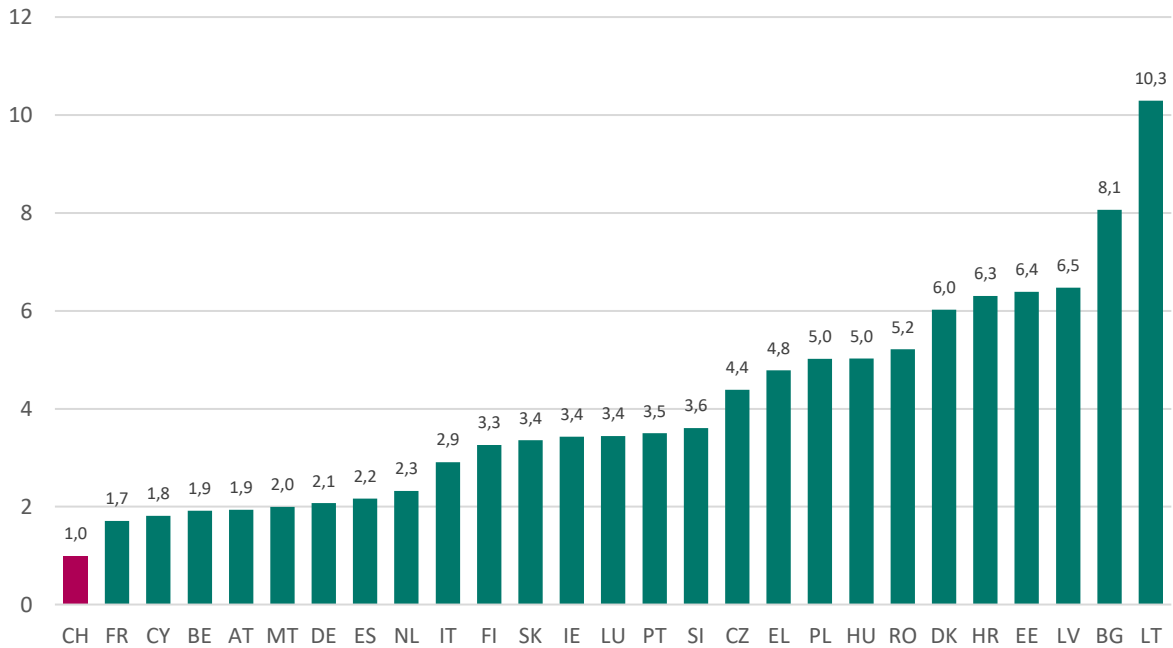
Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Abbildung B-2:
Energieintensität im Sekundärsektor, 2019 (Schweiz = 1)



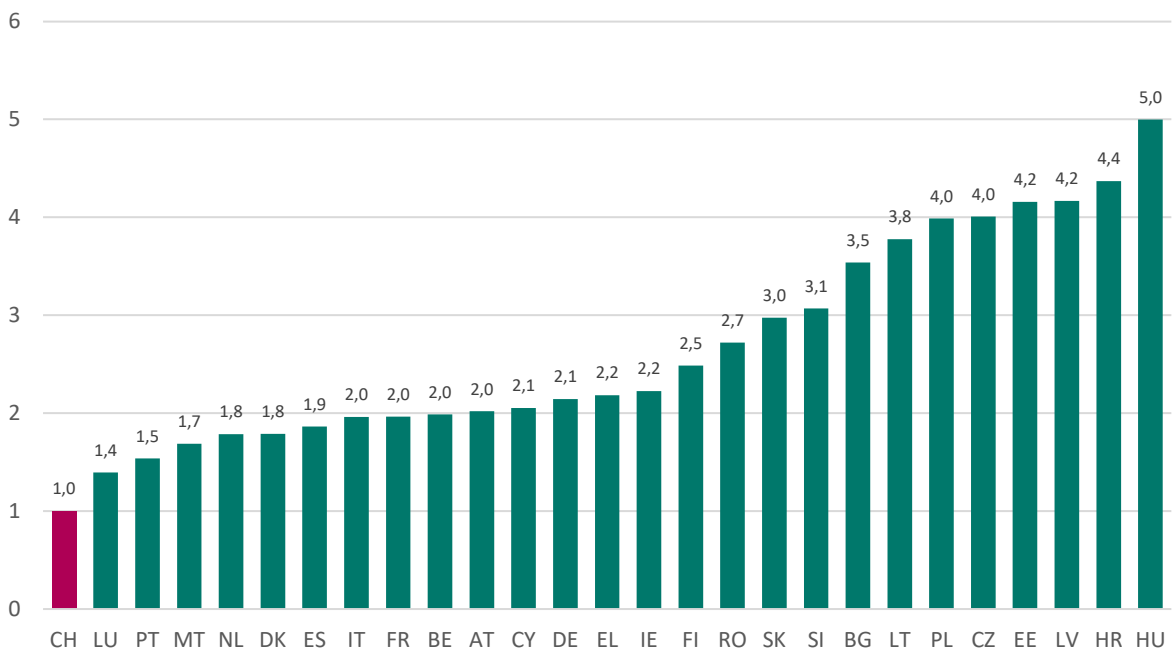
Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Abbildung B-3:
Energieintensität im Tertiärsektor, 2019 (Schweiz = 1)



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Abbildung B-4:
Energieintensität bei Haushalten, 2019 (Schweiz = 1)

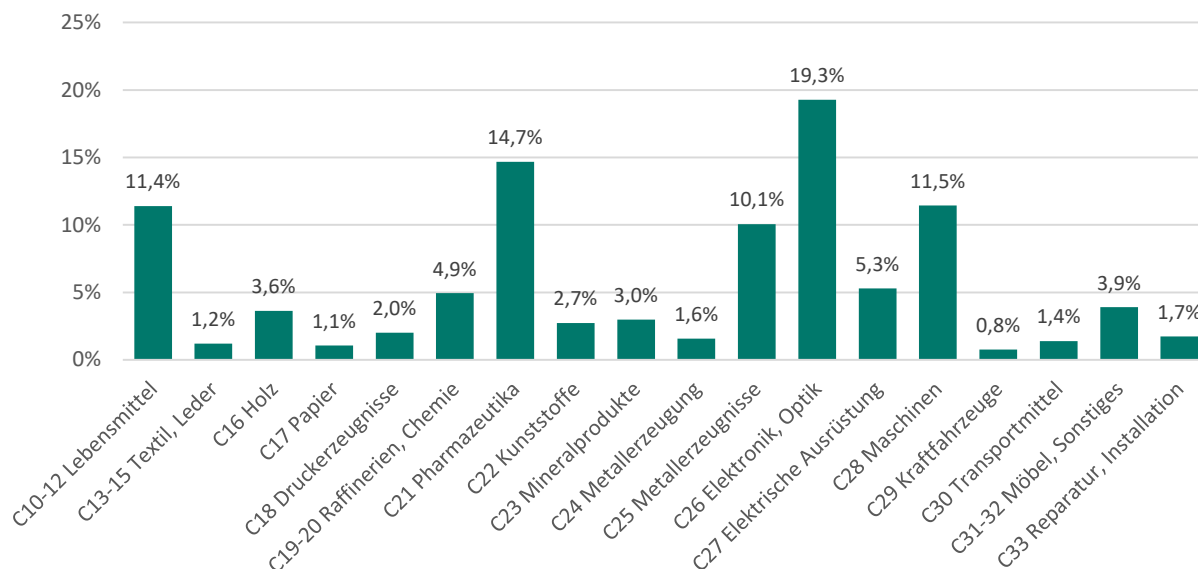


Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

B2. Bruttowertschöpfung, Energieverbrauch und Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe, 2010

Abbildung B-5:

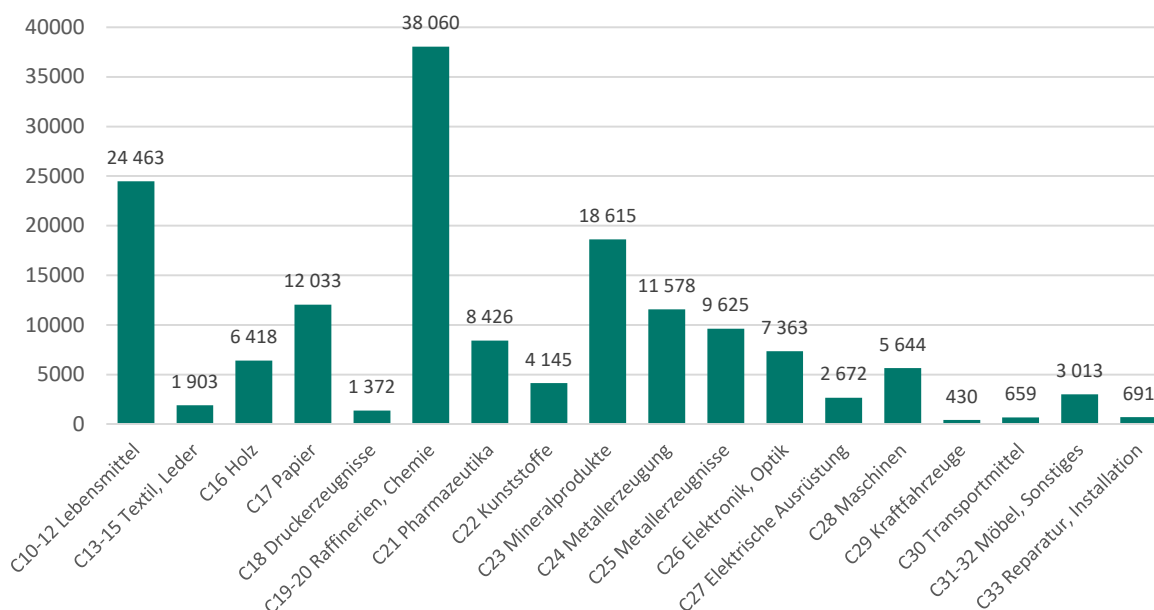
Anteil (%) an der Bruttowertschöpfung im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2010



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

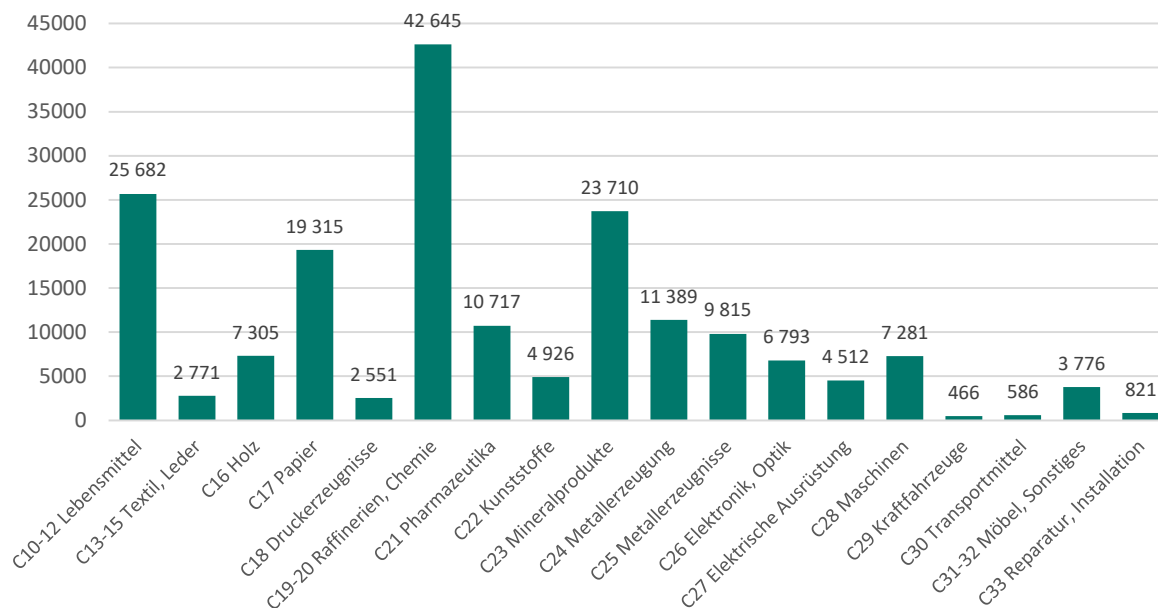
Abbildung B-6:

Energieverbrauch (TJ) im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2019



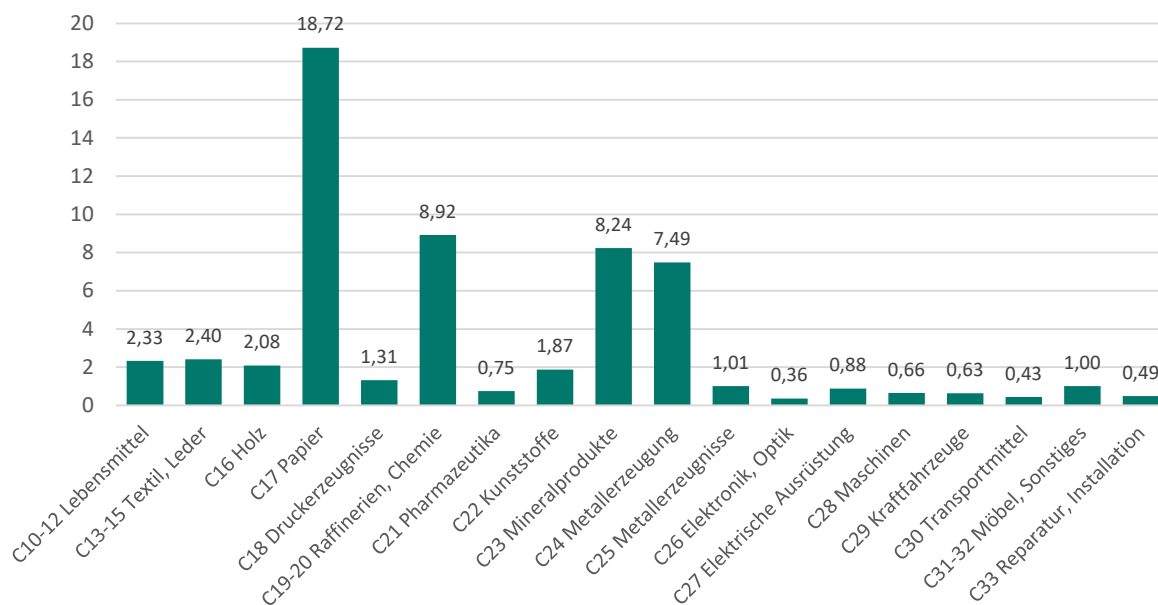
Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Abbildung B-7:
Energieverbrauch (TJ) im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2010



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

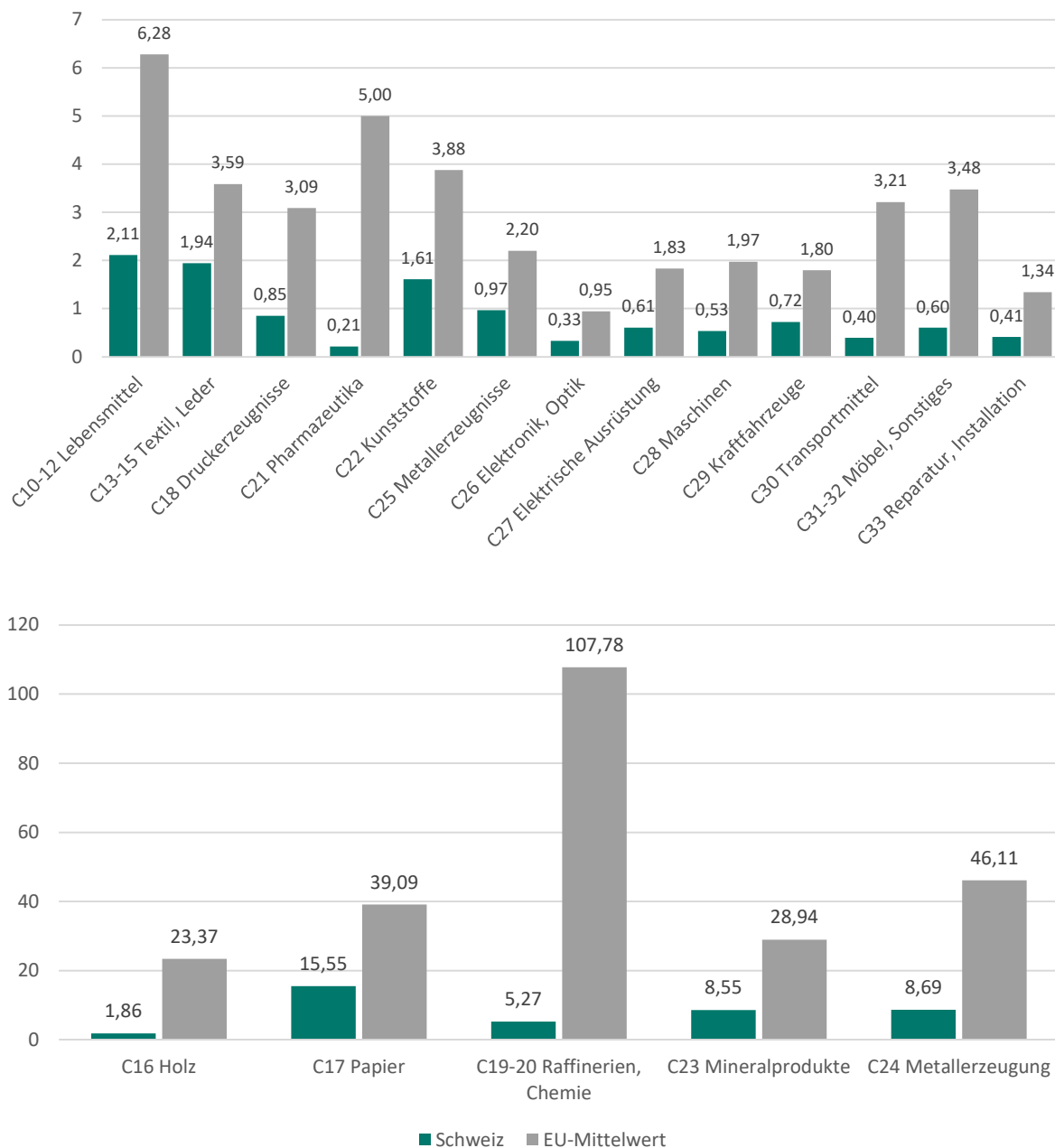
Abbildung B-8:
Energieintensität (TJ/Mio. konstante 2015 EUR) im verarbeitenden Gewerbe der Schweiz, 2010



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

B3. Internationaler Vergleich der Energieintensität im verarbeitenden Gewerbe

Abbildung B-9:
Energieintensität (TJ/Mio. konstante 2015 EUR) nach Industriebranchen, 2019



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis von Eurostat (2023).

Anhang C. Ergebnisse der Regressionsanalyse

Um die Auswirkungen der verschiedenen klimapolitischen Maßnahmen, die im EPS-Index zusammengefasst werden, differenzierter zu betrachten, wird der EPS in Tabelle C-1 **Fehler! Ungültiger Eigenverweis auf Textmarke.** und Tabelle C-2 in die verschiedenen Teilindizes und Indikatoren aufgegliedert. In Tabelle C-1 werden zunächst die Effekte separat für „market-based policies“, „non-market based policies“ und „technology support policies“ gemessen. In der Spezifikation mit allen Branchen ist der Koeffizient zwar für alle Teilindizes negativ, jedoch statistisch insignifikant. Analog zum gesamten EPS-Index zeigt sich auch eine Heterogenität der Effekte zwischen energieintensiven und nicht-energieintensiven Branchen. Für alle Teilindizes wird in den energieintensiven Branchen ein stärkerer negativer Effekt gemessen als in den nicht-energieintensiven Branchen, was erwartet werden konnte. Ein besonders starker Effekt wird für „non-market based policies“ beobachtet: ein Indexpunkt reduziert die Energieintensität um knapp 16 %. Zu den non-market based policies zählen vor allem Emissionsgrenzwerte.

Zusätzlich zeigt Tabelle C-2 die geschätzten Koeffizienten für die einzelnen Indikatoren des EPS-Index. Dabei fällt der positive Koeffizient für das Emissionshandelssystem auf, der auf den ersten Blick schwer zu erklären ist. Der positive Koeffizient könnte darauf zurückzuführen sein, dass dieser Index in allen EU-Ländern und Branchen identisch ist und die einzige erkennbare Abweichung von den Unterschieden zum Schweizer System herrührt. Die größten Unterschiede zwischen den beiden Systemen fallen mit Perioden steigender Energieintensität in der Schweiz zusammen, was zu einer positiven Korrelation führt, die jedoch nicht kausal interpretiert werden sollte.

In Tabelle C-3 schließlich, die sich nur auf die Schweiz konzentriert, werden der aggregierte EPS und die EPS-Teilindizes der ersten Ebene sowie andere erklärende Faktoren untersucht. Viele der Koeffizienten, einschließlich derer der EPS-Indizes, sind ähnlich wie in den Spezifikationen mit allen Ländern, aber weniger signifikant, was wahrscheinlich auf die kleinere Stichprobe zurückzuführen ist.

Tabelle C-1:
Fixed-Effects-Regressionen gesamt und nach Industrietyp (EPS-Teilindizes der 1. Ebene)

	(1) Alle Sektoren	(2) Energieintensive Sektoren	(3) Nicht- Energieintensive Sektoren
EPS: 1 Market based policies (Index 0 bis 6)	-0.028 (0.023)	-0.074* (0.040)	0.001 (0.024)
EPS: 2 Non-market based policies (Index 0 bis 6)	-0.040 (0.030)	-0.159*** (0.053)	-0.009 (0.031)
EPS: 3 Technology support policies (Index 0 bis 6)	-0.015 (0.011)	-0.023 (0.028)	-0.004 (0.011)
R-Quadrat	0.988	0.978	0.940
Anzahl der Beobachtungen	1892	600	1292

Anmerkung: Die abhängige Variable ist die logarithmierte Energieintensität (MJ/USD). Spalte (1) enthält Schätzungen aus Fixed-Effects-Regressionen unter Verwendung der vollständigen Stichprobe. Spalte (2) enthält Schätzungen für die Untergruppe der Branchen mit überdurchschnittlicher Energieintensität (EI > 10,5 MJ/USD). Spalte (3) enthält Schätzungen für die Untergruppe der Branchen mit unterdurchschnittlicher Energieintensität (EI < 10,5 MJ/USD). Alle Spalten enthalten die erklärenden Faktoren der Spalte (2) in Tabelle 5-1, d.h. ohne Energieanteile und Energiepreise. In Klammern sind die robusten Standardfehler für die Sektor-Land-Cluster angegeben.

* p < 0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01

Quelle: DIW Econ.

Tabelle C-2:
Fixed-Effects-Regressionen gesamt und nach Industrietyp (EPS-Teilindizes der 2. Ebene)

	(1) Alle Sektoren	(2) Energieintensive Sektoren	(3) Nicht- Energieintensive Sektoren
EPS: 1.1 CO2 Trading Scheme (Index 0 bis 6)	0.027** (0.011)	-0.002 (0.072)	0.024** (0.011)
EPS: 1.2 Renewable Energy Trading Scheme (Index 0 bis 6)	-0.023* (0.013)	-0.037 (0.024)	-0.007 (0.016)
EPS: 1.3 Carbon dioxides (CO2) Tax (Index 0 bis 6)	-0.009 (0.007)	-0.012 (0.010)	-0.013 (0.008)
EPS: 1.4 Nitrogen Oxides (NOx) Tax (Index 0 bis 6)	0.020* (0.010)	-0.002 (0.019)	0.017 (0.011)
EPS: 1.5 Sulphur Oxides (SOx) Tax (Index 0 bis 6)	-0.050** (0.019)	-0.029 (0.043)	-0.028 (0.019)
EPS: 1.6 Diesel tax (Index 0 bis 6)	0.010 (0.013)	0.021 (0.030)	0.002 (0.011)
EPS: 2.1 Emission limit value NOx (Index 0 bis 6)	-0.109 (0.101)	-0.099 (0.080)	-0.067 (0.094)
EPS: 2.2 Emission limit value SOx (Index 0 bis 6)	0.081 (0.070)	0.000 (.)	0.064 (0.050)
EPS: 2.3 Emission limit value PM (Index 0 bis 6)	-0.018* (0.011)	-0.054** (0.027)	-0.003 (0.010)
EPS: 2.4 Emission limit value sulphur (Index 0 bis 6)	0.000 (.)	0.000 (.)	0.000 (.)
EPS: 3.1 Low-carbon R&D expenditures (Index 0 bis 6)	0.009 (0.009)	-0.011 (0.028)	0.018*** (0.007)
EPS: 3.2 Wind Energy support (Auctions & FITs) (Index 0 bis 6)	-0.012* (0.006)	-0.006 (0.009)	-0.010 (0.008)

EPS: 3.3 Solar Energy support (Auctions & FITs) (Index 0 bis 6)	-0.006 (0.005)	-0.006 (0.011)	-0.004 (0.006)
R-Quadrat	0.988	0.978	0.941
Anzahl der Beobachtungen	1892	600	1292

Anmerkung: Die abhängige Variable ist die logarithmierte Energieintensität (MJ/USD). Spalte (1) enthält Schätzungen aus Fixed-Effects-Regressionen unter Verwendung der vollständigen Stichprobe. Spalte (2) enthält Schätzungen für die Untergruppe der Branchen mit überdurchschnittlicher Energieintensität ($EI > 10,5$ MJ/USD). Spalte (3) enthält Schätzungen für die Untergruppe der Branchen mit unterdurchschnittlicher Energieintensität ($EI < 10,5$ MJ/USD). Alle Spalten enthalten die erklärenden Faktoren der Spalte (2) in Tabelle 5-1, d.h. ohne Energieanteile und Energiepreise. In Klammern sind die robusten Standardfehler für die Sektor-Land-Cluster angegeben.

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Quelle: DIW Econ.

Tabelle C-3:
Fixed-Effects-Regressionen für die Schweiz

	(1)	(2)
Environmental Policy Stringency Index (Index 0 bis 6)	-0.056 (0.043)	
EPS: 1 Market based policies (Index 0 bis 6)		-0.010 (0.016)
EPS: 2 Non-market based policies (Index 0 bis 6)		0.014 (0.047)
EPS: 3 Technology support policies (Index 0 bis 6)		-0.007 (0.064)
log Einheitswert	0.002 (0.002)	0.001 (0.002)
log Bruttoanlageinvestitionen (Mio. USD)	0.067* (0.032)	0.067 (0.041)
Arbeitsintensität (Personen/USD)	0.137*** (0.046)	0.137*** (0.044)
Anteil der Personalkosten an Produktion	-0.745 (0.485)	-0.748 (0.496)
Exportquote (Anteil)	0.156** (0.053)	0.164*** (0.049)
Importquote in Vorleistungen (Anteil)	-0.327 (0.199)	-0.325 (0.197)
log Durchschnittlicher Lohn	0.050 (0.190)	0.036 (0.174)
log Anzahl Unternehmen	-0.262 (0.149)	-0.259 (0.217)
log Bruttowertschöpfung (Mio. USD)	-0.224** (0.086)	-0.226** (0.090)
log BIP pro Kopf, konstante KKP-Preise	-0.400 (0.863)	-1.106 (2.158)
R-Quadrat	0.997	0.997
Anzahl der Beobachtungen	119	119

Anmerkung: Der Datensatz ist auf die Schweiz begrenzt. Die abhängige Variable ist die logarithmierte Energieintensität (MJ/USD). In Klammern sind die robusten Standardfehler für die Sektor-Cluster angegeben.

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Quelle: DIW Econ.

Tabelle C-4:
Alternative Spezifikationen für die Paneldatenanalyse

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Environmental Policy Stringency Index (Index 0 bis 6)	-0.054*	-0.044	-0.041	-0.054*	-0.051*	-0.036	-0.048
	(0.030)	(0.030)	(0.032)	(0.030)	(0.030)	(0.029)	(0.030)
log Einheitswert	-0.010	-0.007	-0.004	-0.010	-0.010	-0.009	-0.011
	(0.009)	(0.008)	(0.005)	(0.009)	(0.009)	(0.009)	(0.009)
log FuE Investitionen (Mio. USD)	0.024	0.005	0.021	0.024	0.023	0.018	0.026*
	(0.015)	(0.014)	(0.020)	(0.015)	(0.015)	(0.017)	(0.015)
log Bruttoanlageinvestitionen (Mio. USD)	-0.011	-0.022	0.022	-0.010	-0.010	-0.011	-0.008
	(0.033)	(0.033)	(0.034)	(0.033)	(0.033)	(0.032)	(0.032)
Arbeitsintensität (Personen/USD)	0.007	-0.011	-0.017		-0.001	0.005	-0.011
	(0.019)	(0.020)	(0.023)		(0.015)	(0.018)	(0.013)
Anteil der Personalkosten an Produktion	-0.426	-1.057**	-0.520	-0.293		-0.214	0.222
	(0.419)	(0.437)	(0.535)	(0.326)		(0.355)	(0.304)
Exportquote (Anteil)	0.010	0.116	-0.043	0.010	-0.001	-0.069	-0.022
	(0.224)	(0.224)	(0.191)	(0.224)	(0.221)	(0.205)	(0.220)
Importquote in Vorleistungen (Anteil)	-0.193	-0.654*	-0.062	-0.205	-0.141	-0.068	-0.146
	(0.341)	(0.334)	(0.379)	(0.341)	(0.332)	(0.327)	(0.341)
log Bruttowertschöpfung (Mio. USD)	-0.878***	-0.982***	-0.924***	-0.879***	-0.874***	-0.878***	-0.869***
	(0.115)	(0.070)	(0.082)	(0.112)	(0.116)	(0.116)	(0.114)
log BIP pro Kopf, konstante KKP-Preise	0.646*	0.296	0.593	0.647*	0.646*	0.567*	0.660**
	(0.335)	(0.326)	(0.376)	(0.334)	(0.334)	(0.318)	(0.332)
log Durchschnittlicher Lohn	0.235*	0.413***	0.063	0.200***	0.159*	0.302**	
	(0.124)	(0.137)	(0.117)	(0.076)	(0.090)	(0.137)	
log Anzahl Unternehmen	0.024	0.597***	0.025	0.025	0.022	0.014	0.027
	(0.072)	(0.166)	(0.078)	(0.072)	(0.071)	(0.100)	(0.070)
log Durchschnittliche Unternehmensgröße (Angestellte)		0.608***					
		(0.147)					
log Marktkapitalisierung (% des BIP)			0.001				
			(0.040)				

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Anteil Kohle x log Anzahl Unternehmen						-0.172 (0.621)	
R-Quadrat	0.988	0.989	0.993	0.988	0.988	0.990	0.988
Anzahl der Beobachtungen	1892	1892	1294	1892	1892	1850	1892

Anmerkung: Die abhängige Variable ist die logarithmierte Energieintensität (MJ/USD). In Klammern sind die robusten Standardfehler für die Sektor-Land-Cluster angegeben.

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Quelle: DIW Econ.

Tabelle C-5:

Fixed-Effects-Regressionen gesamt und nach Industrietyp (aggregierter EPS), alternative Industrieaufteilung

	(1) Alle Faktoren	(2) Beschränkte Faktoren	(3) Branchen C19, C20, C23, C24	(4) Andere Branchen
Environmental Policy Stringency Index (Index 0 bis 6) log Einheitswert	0.038 (0.042)	-0.054* (0.030)	-0.152** (0.067)	-0.027 (0.034)
log FuE Investitionen (Mio. USD)	-0.011 (0.011)	-0.010 (0.009)	-0.082 (0.083)	-0.005 (0.007)
log Bruttoanlageinvestitionen (Mio. USD)	0.029* (0.017)	0.024 (0.015)	0.011 (0.025)	0.014 (0.016)
Arbeitsintensität (Personen/USD)	0.000 (0.036)	-0.011 (0.033)	-0.020 (0.054)	-0.030 (0.033)
Anteil der Personalkosten an Produktion	0.007 (0.021)	0.007 (0.019)	-0.036 (0.022)	0.031 (0.019)
Exportquote (Anteil)	-0.182 (0.394)	-0.426 (0.419)	-0.187 (1.237)	-0.344 (0.377)
Importquote in Vorleistungen (Anteil)	-0.103 (0.195)	0.010 (0.224)	-0.277 (0.372)	0.185 (0.262)
log Durchschnittlicher Lohn	-0.031 (0.368)	-0.193 (0.341)	-0.100 (0.409)	0.419 (0.432)
log Anzahl Unternehmen	0.259* (0.150)	0.235* (0.124)	-0.055 (0.134)	0.302** (0.149)
log Bruttowertschöpfung (Mio. USD)	-0.036 (0.072)	0.024 (0.072)	0.006 (0.132)	-0.038 (0.073)
Anteil Strom am Gesamtverbrauch	-0.869*** (0.122)	-0.878*** (0.115)	-1.010*** (0.025)	-0.395*** (0.106)
Anteil Kohle am Gesamtverbrauch	-0.391 (0.544)			
Anteil Gas am Gesamtverbrauch	0.706 (1.315)			
Anteil Wärme am Gesamtverbrauch	-0.641 (0.569)			
log Industriepreis Heizöl (USD/toe)	-1.510* (0.779)			
log Industriepreis Diesel (USD/toe)	-0.029 (0.140)			
log Industriepreis Gas (USD/toe)	-0.556** (0.244)			
log Industriepreis Strom (USD/toe)	0.086 (0.086)			
log BIP pro Kopf, konstante KKP- Preise	0.016 (0.151)	0.556* (0.299)	0.646* (0.335)	1.095** (0.445)
R-Quadrat	0.215 (0.377)			
Anzahl der Beobachtungen	0.990	0.988	0.992	0.966
	1597	1892	394	1498

Anmerkung: Die abhängige Variable ist die logarithmierte Energieintensität (MJ/USD). Spalte (1) enthält Schätzungen aus Fixed-Effects-Regressionen unter Verwendung der vollständigen Stichprobe und unter Einbeziehung aller erklärenden Variablen, einschließlich Energieanteile und Preise. Spalte (2) enthält Schätzungen aus Fixed-Effects-Regressionen unter Verwendung der vollständigen Stichprobe mit

eingeschränkten erklärenden Variablen. Spalte (3) enthält Schätzungen für die Untergruppe der energieintensiven Branchen (Mineralölverarbeitung, Chemie, Mineralprodukte, Metallerzeugung) mit eingeschränkten erklärenden Variablen. Spalte (4) enthält Schätzungen für nicht-energieintensive Branchen und eingeschränkten erklärenden Variablen. In Klammern sind die robusten Standardfehler für die Sektor-Land-Cluster angegeben.

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Quelle: DIW Econ.

Tabelle C-6:
Querschnittsregressionen der Energieintensität (2013)

	(1) Alle Kontrollvariablen	(3) LASSO
EPS: 1 Market based policies (Index 0 bis 6)	-1.835*** (0.522)	0.081 (0.050)
EPS: 2 Non-market based policies (Index 0 bis 6)	3.436** (1.262)	
EPS: 3 Technology support policies (Index 0 bis 6)	-0.270 (0.268)	-0.043 (0.033)
OECD Product market regulation index (PMR) (Index 0 bis 6)	-6.119** (2.866)	
Anteil Strom am Gesamtverbrauch	-0.960 (0.583)	-1.693** (0.780)
Anteil Kohle am Gesamtverbrauch	-0.181 (0.616)	1.220** (0.515)
Anteil Gas am Gesamtverbrauch	-1.257** (0.501)	-0.817 (0.480)
Anteil Wärme am Gesamtverbrauch	-2.380** (1.028)	-1.354** (0.525)
log Einheitswert	0.095* (0.045)	-0.074 (0.053)
log FuE Investitionen (Mio. USD)	0.194 (0.122)	
log Bruttoanlageinvestitionen (Mio. USD)	0.010 (0.051)	-0.087** (0.034)
Arbeitsintensität (Personen/USD)	-0.114 (0.085)	0.004 (0.006)
Anteil der Personalkosten an Produktion	1.288 (1.321)	-1.313 (0.922)
Exportquote (Anteil)	1.264** (0.518)	
Importquote in Vorleistungen (Anteil)	-0.040 (1.459)	
log Durchschnittlicher Lohn	0.488 (0.652)	
log Anzahl Unternehmen	0.063 (0.139)	

	(1) Alle Kontrollvariablen	(3) LASSO
log Bruttowertschöpfung (Mio. USD)	-0.548*** (0.118)	-0.001 (0.047)
log Industriepreis Heizöl (USD/toe)	3.376** (1.255)	
log Industriepreis Diesel (USD/toe)	5.998*** (1.986)	
log Industriepreis Gas (USD/toe)	7.336** (3.068)	
log Industriepreis Strom (USD/toe)	-2.783** (1.143)	
log BIP pro Kopf, konstante KKP-Preise	0.000 (.)	
R-Quadrat	0.944	0.844
Anzahl der Beobachtungen	123	297

Anmerkung: Die abhängige Variable ist die logarithmierte Energieintensität (MJ/USD). In Klammern sind die robusten Standardfehler für die Sektor-Cluster angegeben.

* $p < 0.10$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

Quelle: DIW Econ.