

Hintergrundbericht zum Rechner

Emissionsfaktoren des zukünftigen Strom- mixes der Schweiz

Für die Jahre 2030, 2035, 2040 und 2050

Auftraggeberin

Bundesamt für Umwelt, 3003 Bern

Verfasser

Gavin Roberts & Mischa Zschokke, Carbotech AG

Version

1.0

Anzahl Seiten: 21

Basel, 6. März 2026

Impressum

—
Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Dieser Bericht wurde von der Carbotech AG mit grösster Sorgfalt und unter Verwendung sämtlicher uns zur Verfügung stehender, aktueller und angemessener Hilfsmittel und Grundlagen erstellt. Die diesem Bericht zugrunde liegende Bewertungsmethodik kann sich ändern. In einem solchen Fall verlieren die gezogenen Schlussfolgerungen ihre uneingeschränkte Gültigkeit und dürfen von der Auftraggeberin nur noch auf eigene Verantwortung weiterverwendet werden. Für Folgerungen ausserhalb des oben definierten Rahmens übernehmen wir gegenüber der Auftraggeberin sowie gegenüber Dritten keine Verantwortung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Methodik	5
2.1	Szenarien	5
2.1.1	Import / Export	5
2.2	Teil Ökobilanz	8
2.2.1	Zielsetzung und Rahmenbedingungen	8
2.2.1.1	Zielsetzung	8
2.2.1.2	Funktionelle Einheit	8
2.2.1.3	Anwendung und Zielgruppe der Studie	8
2.2.1.4	Systemgrenzen	8
2.2.2	Sachbilanz	9
2.2.2.1	Strom aus Pumpspeicherwerken	9
2.2.2.2	Aufteilung direkte und indirekte Emissionen	9
2.2.2.3	Berechnung der Verluste und des Übertragungsnetzes.	11
2.2.3	Wirkbilanz	11
2.2.3.1	IPCC 2021	11
2.2.3.2	Die Methode der ökologischen Knappheit	12
2.3	Unsicherheiten und Sensitivitätsanalyse	13
3	Resultate	15
3.1	Weiter wie bisher (WWB)	15
3.2	Basisvariante (ZERO Basis)	16
3.3	Variante A (ZERO A)	17
3.4	Variante C (ZERO C)	18
4	Fazit und Diskussion	20
5	Literatur	21

1 Einleitung

Mit dem Inkrafttreten des Bundesgesetzes über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (KIG) wird der Bund verpflichtet, Unternehmen oder Branchen, die bis zum Jahr 2029 entsprechende Fahrpläne ausarbeiten, Grundlagen zur Verfügung zu stellen (Artikel 5 Abs. 3).

Um die CO₂-Bilanz der Schweizer Unternehmen zu vereinfachen, hat das BAFU in Zusammenarbeit mit dem BFE ein Treibhausgas-Erhebungsformular entwickelt. Um diese Entwicklung fortzusetzen, muss die künftige Zusammensetzung des Schweizer Strommixes analysiert werden. Die Definition des Emissionsfaktors für den zukünftigen Strommix ermöglicht es den Unternehmen, den Fahrplan zur Dekarbonisierung zu berechnen, um die von der KIG festgelegten Ziele zu erreichen.

Die vorliegende Studie stellt diese Emissionsfaktoren für die Jahre 2030, 2035, 2040 und 2050 in Form eines Excel-Rechners zur Verfügung. Dieser Bericht erläutert die dazu verwendeten Hintergrunddaten, Berechnungen und die Methodik dieses Tools.

Wesentliche Grundlage bilden dabei die Berechnungen im Rahmen der Energieperspektiven 2050+ des BFE (Bundesamt für Energie (BFE), 2022b).

Im Rechner kann zwischen vier verschiedenen Szenarien ausgewählt werden. Alle stützen sich auf die Berechnungen im Rahmen der Energieperspektiven 2050+ des BFE:

- Weiter wie bisher (WWB)
- Basisvariante (ZERO Basis)
- Variante A (ZERO A)
- Variante C (ZERO C)

Mit dem Tool lassen sich die Emissionsfaktoren der Klimabelastung nach IPCC 2021 in g CO₂e pro kWh sowie die Umweltbelastung gemäss der Methode der ökologischen Knappheit 2021 (MöK 2021) in UBP pro kWh berechnen.

Die folgenden Kapitel behandeln zunächst die verwendete Methodik, gefolgt von den Resultaten und einer Interpretation.

2 Methodik

2.1 Szenarien

Im Rechner kann zwischen vier verschiedenen Szenarien ausgewählt werden. Alle stützen sich auf die Berechnungen im Rahmen der Energieperspektiven 2050+ des BFE:

- Weiter wie bisher (**WWB**): Dieses Szenario modelliert die Entwicklung, wie sie mit den bestehenden Massnahmen (Stand 2019) voraussichtlich umgesetzt wird. Ein gewisser technischer Fortschritt wird berücksichtigt.
- Basisvariante (**ZERO Basis**): Grundlage ist die Zielsetzung des Bundesrates bis 2050 netto null Emissionen zu erreichen. Entsprechend geht dieses Szenario von einer möglichst frühen Elektrifizierung und Steigerung der Energieeffizienz aus
- Variante A (**ZERO A**): Geht im Unterschied zur Basisvariante von einer umfassenderen Elektrifizierung des Energiesystems aus.
- Variante C (**ZERO C**): Geht im Unterschied zur Basisvariante von einer moderaten Elektrifizierung des Energiesystems aus.

Die Unterschiede bezüglich der Stromzusammensetzung zwischen dem Szenario *Weiter wie bisher* und den drei ZERO Varianten sind beträchtlich. Die drei ZERO Varianten wiederum unterscheiden sich nur geringfügig voneinander bezüglich der relativen Zusammensetzung der Stromproduktion. Der grössere Unterschied liegt im Umfang der Elektrifizierung und damit der Menge an produziertem Strom.

Die Energieperspektiven (Bundesamt für Energie (BFE), 2022b) rechnen bezüglich dem Ausstieg aus der Nuklearenergie mit zwei unterschiedlichen Laufzeiten der Kernkraftwerke: 50 Jahre (KKW50) und 60 Jahre (KKW60). Beide Varianten unterscheiden sich in der Zusammensetzung der Stromproduktion für die Jahre 2030–2045; ab dem Jahr 2050 sind beide Varianten deckungsgleich. Für diese Analyse wurden jeweils die Berechnungen mit einer 60-jährigen Laufzeit verwendet. Wo Datenlücken bestanden, wurden vereinzelt die Berechnungen gemäss KKW50 verwendet.

2.1.1 Import / Export

Die Grunddaten der Energieperspektiven weisen lediglich den Nettoimport an Strom aus. Da jedoch zu gewissen Jahres- und Tageszeiten Strom importiert und zu anderen Jahres- und Tageszeiten Strom exportiert wird, ist die Gesamtsumme an importierten Strom grösser als lediglich der Wert des Nettoimports. Analog zum Vorgehen zur Berechnung der aktuellen Auswirkung der Stromproduktion in der Schweiz, wie sie in Frischknecht (2025) beschrieben wird, wurden für die Berechnung die stündlichen Importe über das Jahr aufsummiert. Diese Angaben stehen in den detaillierten Szenarienergebnissen zur Verfügung (Prognos u. a., 2021). Auf der anderen Seite wurden die aufsummierten stündlichen Exporte von der inländischen Stromproduktion abgezogen.

Tabelle 1: Aufsummierte Stundenwerte der Importe und Exporte in TWh

Szenario		2030	2035	2040	2050
WWB	Import	17.342	23.403	23.692	24.338
	Export	6.718	3.433	3.096	3.709
ZERO Basis, ZERO A, ZERO C	Import	15.520	19.197	16.853	13.099
	Export	8.034	6.541	8.779	16.416

Da aus den Daten der Energieperspektiven nicht ersichtlich ist, aus welchen Ländern dieser Strom importiert wird, wurde auf die stündlichen Daten aus den Output-Berechnungen von TYNDP (TYNDP, 2024) zurückgegriffen. Fehlende Jahreswerte wurden linear interpoliert. Folgende Tabelle zeigt die resultierenden Importanteile.

Tabelle 2: Überblick über die Importanteile aus den umliegenden Ländern

Szenario	Import aus	2030	2035	2040	2050
WWB / TYNDP National Trends+	Österreich	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Deutschland	33.3%	35.5%	37.8%	41.6%
	Frankreich	66.7%	64.5%	62.3%	58.4%
	Italien	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
ZERO Basis / TYNDP Distributed Energy	Österreich	0.0%	6.0%	3.6%	6.1%
	Deutschland	33.3%	28.3%	26.0%	22.9%
	Frankreich	66.7%	65.7%	70.4%	71%
	Italien	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
ZERO A / TYNDP Global Ambition	Österreich	0.0%	9.1%	9.8%	9.3%
	Deutschland	33.3%	34.2%	35.0%	22.1%
	Frankreich	66.7%	56.7%	55.3%	68.6%
	Italien	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
ZERO C / TYNDP Global Ambition	Österreich	0.0%	9.1%	9.8%	9.3%
	Deutschland	33.3%	34.2%	35.0%	22.1%
	Frankreich	66.7%	56.7%	55.3%	68.6%
	Italien	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Zusammen mit den Importmengen resultieren für den Schweizer Strommix folgende Produktionsanteile für die jeweiligen Szenarien:

Tabelle 3: Übersicht Zusammensetzung Schweizer Strommix nach Jahren und Szenarien

	Weiter wie bisher (WWB)				ZERO Basis			
	2030	2035	2040	2050	2030	2035	2040	2050
Kleinwasserkraft	0.4%	0.5%	0.3%	0.4%	0.8%	0.9%	0.9%	1.3%
Speicherkraftwerke	19.6%	18.9%	20.8%	21.8%	19.9%	18.4%	18.6%	18.3%
Laufwasserkraft	19.5%	18.7%	20.1%	20.7%	19.4%	17.7%	17.6%	16.6%
Pumpspeicher	5.9%	5.5%	5.5%	5.3%	6.4%	7.1%	8.3%	6.8%
Kernkraft	21.6%	17.8%	10.2%	0.0%	20.6%	15.8%	7.8%	0.0%
Fossile KW	1.8%	1.9%	2.2%	3.0%	1.7%	1.6%	1.4%	1.0%
Photovoltaik	7.6%	8.0%	9.6%	13.8%	9.6%	14.5%	21.6%	32.4%
Wind (onshore)	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.6%	1.2%	2.2%	4.2%
Biomasse (Holz)	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%	0.2%
Biogas	0.3%	0.4%	0.5%	0.6%	0.4%	0.5%	0.7%	1.1%
ARA	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
KVA (EE-Anteil)	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	0.9%	0.8%	0.8%	0.6%
Geothermie	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	0.6%	1.9%
Import	21.4%	26.5%	29.0%	32.3%	19.2%	21.1%	19.0%	15.5%

	ZERO A				ZERO B			
	2030	2035	2040	2050	2030	2035	2040	2050
Kleinwasserkraft	0.8%	0.9%	0.9%	1.2%	0.8%	0.9%	0.9%	1.3%
Speicherkraftwerke	19.9%	18.4%	18.5%	17.4%	19.9%	18.4%	18.6%	18.8%
Laufwasserkraft	19.5%	17.7%	17.7%	15.9%	19.4%	17.7%	17.7%	17.2%
Pumpspeicher	6.3%	7.1%	8.3%	6.6%	6.4%	7.2%	8.3%	7.3%
Kernkraft	20.7%	15.8%	7.9%	0.0%	20.4%	15.7%	7.8%	0.0%
Fossile KW	1.7%	1.5%	1.4%	1.0%	1.8%	1.6%	1.4%	1.0%
Photovoltaik	9.6%	14.5%	21.7%	35.7%	9.6%	14.5%	21.6%	29.8%
Wind (onshore)	0.6%	1.2%	2.2%	4.0%	0.6%	1.2%	2.2%	4.3%
Wind (offshore)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Biomasse (Holz)	0.3%	0.3%	0.2%	0.1%	0.3%	0.2%	0.2%	0.2%
Biogas	0.4%	0.4%	0.6%	0.8%	0.4%	0.5%	0.7%	1.2%
ARA	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
KVA (EE-Anteil)	0.9%	0.8%	0.8%	0.6%	0.9%	0.8%	0.8%	0.7%
Geothermie	0.1%	0.1%	0.6%	1.8%	0.1%	0.1%	0.6%	2.0%
Import	19.3%	21.1%	19.0%	14.6%	19.3%	21.1%	19.0%	16.2%

Der Strommix der jeweiligen umliegenden Länder (Österreich, Deutschland, Frankreich und Italien) wurde ebenfalls aus den Berechnungen der Energieperspektiven 2050+ übernommen (Bundesamt für Energie (BFE), 2022a). Ebenfalls wurde ein europäischer Strommix für die Jahre und Varianten berechnet. Dieser wird nur verwendet für den Anteil an Importstrom, den die umliegenden Länder importieren. Die Quelle dazu sind die verschiedenen Szenarien aus TYNDP (2024). Die Passung mit den Szenarien aus den Energieperspektiven ist dabei die gleiche, wie bei der Bestimmung der Exportmengen in die Schweiz (siehe Tabelle 2).

2.2 Teil Ökobilanz

Die Berechnung der Umwelt- und Klimabelastung der jeweiligen Stromproduktion erfolgte gemäss der Methodik der Ökobilanzierung (Lebenszyklusanalyse, LCA). Dabei werden sämtliche Emissionen entlang des Lebenszyklus betrachtet und hinsichtlich der Klima- und Umweltrelevanz bewertet.

2.2.1 Zielsetzung und Rahmenbedingungen

2.2.1.1 Zielsetzung

Diese Studie stellt die Emissionsfaktoren des Schweizer Strommixes für die Jahre 2030, 2035, 2040 und 2050 zur Verfügung.

2.2.1.2 Funktionelle Einheit

Die Grösse, auf welche sich die Analyse bezieht, wird als funktionelle Einheit bezeichnet.

Als funktionelle Einheit in dieser Studie wird die Bereitstellung von 1kWh elektrischen Strom definiert.

2.2.1.3 Anwendung und Zielgruppe der Studie

Das im Rahmen dieser Studie entwickelte Excel-Tool richtet sich vorwiegend an Unternehmungen, die einen Fahrplan zur Dekarbonisierung berechnen möchten, um die vom KIG festgelegten Ziele erreichen zu können. Dieser Bericht soll die wesentlichen Hintergrundinformationen und Datengrundlagen erläutern und richtet sich an die Auftraggeberin sowie die interessierte Öffentlichkeit.

2.2.1.4 Systemgrenzen

Inhaltliche Systemgrenzen

Gemäss dem Ansatz der Ökobilanzierung wurden – so weit möglich – sämtliche Prozesse von der Wiege bis zur Bahre (*cradle-to-grave*) berücksichtigt. Dies umfasst insbesondere die Herstellung, den Betrieb und die Demontage von Kraftwerken sowie des Elektrizitätsnetzwerks. Ebenfalls berücksichtigt wurden Umwandlungsverluste und Übertragungsverluste des Stromnetzwerks.

Zeitliche Systemgrenzen

Die Studie betrachtet die Zusammensetzung der Stromproduktion in den Jahren 2030, 2035, 2040 und 2050. Dabei wird berücksichtigt, dass sich die Anteile der Stromproduktion aus den verschiedenen Kraftwerkstypen stark verändern wird.

Nicht berücksichtigt wird hingegen der technische Fortschritt. Das heisst, dass beispielsweise in Zukunft die Herstellung von Kraftwerken oder die Übertragungsnetze mit einer veränderten Umweltbelastung einhergehen dürften. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind beispielsweise Veränderungen in der Effizienz der Stromherstellung.

Räumliche Systemgrenzen

Der primäre Fokus der Studie ist die Schweiz. Da aber signifikante Mengen an Strom aus dem angrenzenden Ausland importiert werden, wurden in dieser Studie auch Inventare aus diesen Ländern sowie gesamteuropäische Inventare verwendet. Die Resultate sind jedoch nur gültig für den in der Schweiz bezogenen Strom.

2.2.2 Sachbilanz

Die Hintergrunddaten wurden aus der Ökobilanzdatenbank BAFU:2025 (Federal Office for the Environment (FOEN), 2025) übernommen und mit der Ökobilanzsoftware openLCA berechnet. Tabelle 4 zeigt eine Übersicht der verwendeten Inventare und Emissionsfaktoren für die verschiedenen Kraftwerkstypen.

Da nicht sämtliche Kraftwerkstypen in der BAFU:2025 Datenbank abgebildet sind, mussten für einzelne Kraftwerkstypen Annäherungen verwendet werden.

Für die Produktion von Strom aus Wasserstoff wurde das folgende Inventar angepasst:

Electricity, residential, by combustion of hydrogen using CHP, allocated by exergy, distributed by pipeline, produced by Electrolysis, PEM using electricity from Solar PV + Wind (MA) {CH}

Die Effizienz wurde angepasst auf 54.6 g H₂ / kWh. Entsprechend resultieren Emissionsfaktoren von 0.116 g CO_{2e} / kWh (IPCC 2021) und 316 UBP / kWh (MöK 2021).

2.2.2.1 Strom aus Pumpspeicherwerken

Die Inventare für die Produktion von Strom aus Pumpspeicherwerken mussten für diese Studie angepasst werden. Der Grund dafür ist, dass der grösste Teil der Umweltbelastung in den bestehenden Inventaren der BAFU:2025 Datenbank jeweils aus dem verwendeten Strom zurückzuführen ist. Da aber in Zukunft der zum Füllen der Pumpspeicherwerke verwendete Strom eine andere Zusammensetzung haben wird, wurde in den bestehenden Inventaren der Stromverbrauch auf Null gesetzt. In der anschliessenden Berechnung im Excel-Rechner wird der jeweilige Strommix des Jahres und Szenarios verwendet um die Umweltbelastung zu berechnen. Dabei wird berücksichtigt, dass mehr Strom benötigt wird um die Pumpspeicherwerke zu füllen, als anschliessend durch das Ablassen wieder produziert wird. Dieser Verlustfaktor beträgt beispielsweise 1.419 für Pumpspeicherwerke in der Schweiz.

2.2.2.2 Aufteilung direkte und indirekte Emissionen

Die Aufteilung der Emissionen in direkte Emissionen (Scope 1) und indirekte Emissionen (Scope 3) wurde gemäss dem Anhang zum Corporate Footprint Calculator des BAFUs vorgenommen (Bundesamt für Energie (BFE) & Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2026). Dabei spiegelt die Aufteilung nach Scopes die Sichtweise der Stromproduzenten wider.

Die folgende Tabelle zeigt die verwendeten Inventare pro Kraftwerkstyp sowie die Emissionsfaktoren sowohl nach IPCC 2021 sowie der Methode der ökologischen Knappheit 2021. Die Tabellen für die umliegenden Länder sowie Europa finden sich im Tool.

Tabelle 4: Verwendete Inventare pro Kraftwerkstyp sowie Emissionsfaktoren für direkte und indirekte Emissionen gemäss IPCC 2021 und MÖK 2021

Kraftwerktypen	BAFU Inventare	IPCC 2021 Direkt [kg CO ₂ e]	IPCC 2021 Indirekt [kg CO ₂ e]	IPCC 2021 Total [kg CO ₂ e]	MÖK 2021 Direkt [UBP]	MÖK 2021 Indirekt [UBP]	MÖK 2021 Total [UBP]
Kleinwasserkraft	Electricity, hydropower, at small hydropower plant {CH} U	0.000	0.005	0.005	9.854	10.175	20.029
Speicherkraftwerke	Electricity, hydropower, net, at reservoir power plant {CH} U	0.001	0.004	0.005	11.299	8.709	20.007
Laufwasserkraft	Electricity, hydropower, net, at reservoir power plant {CH} U	0.001	0.004	0.005	11.299	8.709	20.007
Pumpspeicher	Electricity, hydropower, at pumped storage power plant {CH} (without electricity) – CH (angepasstes Inventar) ¹	0.001	0.004	0.005	0.022	7.528	7.551
Wasserkraft (unspezifisch)	Hydropower (Durchschnitt aus Electricity Split Tool)	0.001	0.004	0.005	7.234	11.794	19.028
Kernkraft	Nuclear (Durchschnitt aus Electricity Split Tool)	0.000	0.015	0.015	0.578	557.684	558.263
Kohle	Coal (Durchschnitt aus Electricity Split Tool)	0.964	0.086	1.050	1019.275	217.278	1236.553
Gas	Natural Gas (Durchschnitt aus Electricity Split Tool)	0.433	0.151	0.584	442.951	287.835	730.787
Öl	Oil (Durchschnitt aus Electricity Split Tool)	0.815	0.208	1.024	962.287	409.903	1372.191
Fossile KW	Natural Gas (Durchschnitt aus Electricity Split Tool)	0.433	0.151	0.584	442.951	287.835	730.787
Photovoltaik	Electricity, production mix photovoltaic, at plant {CH} U	0.000	0.029	0.029	9.626	65.946	75.572
Wind (onshore)	Electricity, at wind farm {CH} U	0.000	0.017	0.017	10.113	37.280	47.393
Wind (offshore)	Electricity, at wind farm {CH} U	0.000	0.017	0.017	10.113	37.280	47.393
Biomasse (Holz)	Electricity, at cogen 1MWth, wood chips, allocation exergy {CH} U	0.006	0.056	0.063	93.265	149.466	242.730
Biogas	Electricity, at cogen 300kWth, biomethane, allocation exergy {CH} U	0.017	0.301	0.318	31.300	388.482	419.782

¹ Die hier dargestellten Werte beziehen sich auf das Inventar ohne die Belastung aus dem zum Pumpen benötigten Strom. Dieser Anteil wird im Tool mit dem jeweiligen Strommix des Jahres berechnet (vgl. auch Kapitel 2.2.2.1).

ARA	Electricity, at wind farm {CH} U	0.000	0.017	0.017	10.113	37.280	47.393
KVA (EE-Anteil)	Electricity from waste, at municipal waste incineration plant {CH} U	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Geothermie	Electricity, at wind farm {CH} U	0.000	0.017	0.017	10.113	37.280	47.393
Wasserstoff	Electricity, from hydrogen produced with PV {CH}	0.000	0.116	0.116	0.000	316.000	316.000
Übrige Erneuerbare	Electricity, at wind farm {CH} U	0.000	0.017	0.017	10.113	37.280	47.393

2.2.2.3 Berechnung der Verluste und des Übertragungsnetzes.

Die Berechnung der Umwandlungsverluste und Übertragungsverluste des Stromnetzwerkes wurden gemäss den Berechnungen im Anhang zum Corporate Footprint Calculator des BAFUs vorgenommen (Bundesamt für Energie (BFE) & Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2026).

Chrom VI Emissionen

Im Inventar für Mittelstromleitungen in der BAFU:2025 Datenbank (Transmission network, electricity, medium voltage {CH}) wird von hohen Chrom VI Emissionen ausgegangen. Im Rahmen einer Literaturrecherche wurden aktuellere Werte ermittelt. So sind mittlerweile nur noch ca. 20% der Mittelspannungsstromleitungen in der Schweiz oberirdisch (ElCom, 2021). Unter der konservativen Annahme, dass es sich dabei ausschliesslich um Holzmasten handelt, kommt die Berechnung unter Berücksichtigung der Menge an Holzschutzmittel pro Masten (Itten u. a., 2014) und einer durchschnittlichen Auswaschungsrate von 10% (AWEL, 2013), zu einer Emission von Chrom VI in den Boden von 0.685 kg pro km Mittelspannungsleitung. Dies ist nur ein Bruchteil der 5.341 kg/km, die in der BAFU:2025 Datenbank hinterlegt sind. Entsprechend wurde der Faktor für die Übertragungsverluste im Mittelspannungsnetz für die Auswertung mit der Methode der ökologischen Knappheit von 36.4 UBP/kWh auf 5.8 UBP/kWh angepasst.

2.2.3 Wirkbilanz

In diesem Schritt wird die Sachbilanz bezüglich der Auswirkungen auf die Umwelt bewertet. Die Berechnung der Wirkbilanz beinhaltet die folgenden zwei Teilschritte:

- Klassifizierung (Einteilung der Stoffe aus der Sachbilanz bezüglich ihrer Auswirkungen)
- Charakterisierung (Berechnung der Auswirkungen auf die Umwelt):
Dabei werden die einzelnen Substanzen entsprechend ihres Schädigungspotenzials bezüglich einer Leitsubstanz gegeneinander gewichtet. Daraus ergeben sich die Schädigungspotenziale bezüglich einer bestimmten Umweltauswirkung. Beim Treibhauspotential wird CO₂ als Leitsubstanz verwendet und Beiträge von weiteren Treibhausgasen wie Methan und Lachgas in CO₂-Äquivalenten umgerechnet.

2.2.3.1 IPCC 2021

Auf Ebene Wirkbilanz wird das Treibhauspotential (CO₂-Fussabdruck) gemäss IPCC 2021, GWP 100a berücksichtigt. In dieser Methode wird nur die Umweltwirkung der Klimaerwärmung berücksichtigt. Dabei wird für jede klimarelevante Substanz das Treibhauspotential über 100 Jahre bestimmt. Aus dem Verhältnis zum

Treibhauspotential von CO₂ kann damit für jede Emission deren Auswirkungen auf das Klima als entsprechende Menge CO₂ angegeben werden. Daraus resultieren Angaben in sogenannten CO₂-Äquivalenten (CO₂-eq).

Beim Resultat der Wirkbilanz handelt es sich um eine Zusammenstellung von verschiedenen Indikatoren, welche jeweils einen Aspekt der Umweltauswirkungen beschreiben. Um eine fundierte Entscheidungsbasis zu erhalten, können die verschiedenen Auswirkungen gewichtet und zu einer Kennzahl zusammengefasst werden. Die Gewichtung verschiedener Umweltauswirkungen ist ein Prozess, in welchen Werthaltungen einfließen und welcher deshalb für eine hohe Akzeptanz möglichst breit abgestützt sein muss.

2.2.3.2 Die Methode der ökologischen Knappheit

Im Rahmen dieser Studie wurde die Methode der ökologischen Knappheit 2021 (Bundesamt für Umwelt, 2021)) verwendet. Die Bewertung mittels der Methode der ökologischen Knappheit wurde unter Mitarbeit des Bundesamts für Umwelt entwickelt und ist in der Schweiz etabliert. Die Resultate werden in Umweltbelastungspunkten (UBP) ausgedrückt.

Diese Methode wurde gewählt, weil sie für die Bewertung sowohl die Umweltsituation wie auch die Umweltziele der Schweiz berücksichtigt (vgl. Abbildung 1) und somit bezüglich Werthaltung breit abgestützt ist. Betreffend der Verwendung der gesamttaggregierenden Methoden richtet sich die vorliegende Studie nicht nach der ISO Norm 14'040, sondern geht über diese hinaus².

Obwohl diese Methode die Werthaltung der schweizerischen Umweltpolitik widerspiegelt, hat sie auch international eine hohe Akzeptanz.

² Da die Bewertung der verschiedenen Umweltauswirkungen von Wertmassstäben abhängig ist, werden diese gesamttaggregierenden Methoden teilweise abgelehnt, z. B. auch von der ISO Norm 14'044. Dabei ist zu beachten, dass auch eine Auswahl der Umweltauswirkungen subjektiv ist. Falls nur ein Teil der Auswirkungen, z. B. nur der CO₂-Fussabdruck betrachtet wird, kommt dies einer Gewichtung der anderen Auswirkungen mit Null gleich. Die Betrachtung der einzelnen Wirkkategorien kann durchaus hilfreich sein, z. B. zur Ermittlung der Ursachen von spezifischen Auswirkungen und Erarbeitung von möglichen Optimierungspotentialen. Als Entscheidungsgrundlage oder für die Betrachtung der gesamten Umweltauswirkungen dürfen jedoch nicht einzelne Umweltaspekte ausgeklammert werden. Dafür sind gesamt aggregierende Bewertungsmethoden nicht nur hilfreich sondern notwendig (Kägi u. a., 2016) um die Aussagekraft der Resultate abzusichern.

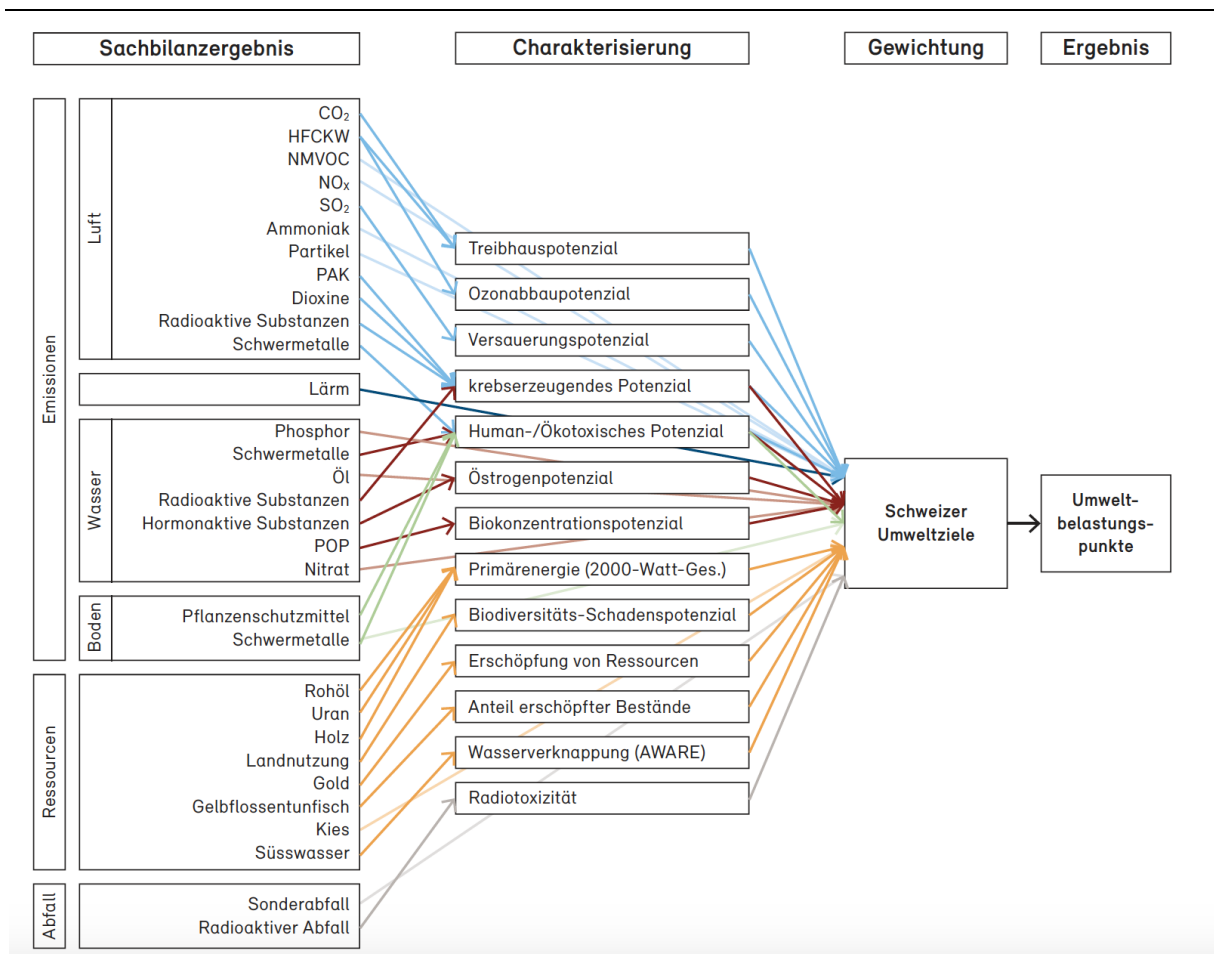


Abbildung 1: Grundschemata der Methode der ökologischen Knappheit (Grafik aus (Frisknecht & Büsser Knöpfel, 2013))

2.3 Unsicherheiten und Sensitivitätsanalyse

Neben den Unsicherheiten bezüglich Methodik und den Inventaren sind in dieser Studie insbesondere die Unsicherheiten bezüglich der künftigen Zusammensetzung der Stromproduktion zu erwähnen.

Diese Unsicherheit wird dadurch repräsentiert, dass insgesamt vier verschiedene Szenarien bezüglich Strommix berechnet wurden.

Zum Zeitpunkt der Studie repräsentieren diese Szenarien die Bandbreite an wahrscheinlichen Entwicklungspfaden. Gerade aber mit der unsicheren politischen und wirtschaftlichen Lage der Welt, ist es praktisch unmöglich genaue Vorhersagen zur irgendeiner künftigen Entwicklung zu treffen.

Schliesslich muss auch noch erwähnt werden, dass die Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit sich auf Ökofaktoren bezieht, welche für das Jahr 2021 entworfen wurden. Da sich diese Methode an Umweltzielen orientiert, welche sich in Zukunft ebenfalls ändern können, repräsentieren die Werte für die Zukunft lediglich die Bewertung aus der heutigen Perspektive und nicht die Bewertung aus der Perspektive des jeweiligen Zeitpunkts. So hat beispielsweise die Bewertung von CO₂-Emissionen zwischen der MöK 2013 und der MöK 2021 von 460 UB / kg CO₂ (Frisknecht & Büsser Knöpfel, 2013) auf 1000 UB / kg CO₂

(Bundesamt für Umwelt, 2021) zugenommen. Eine hypothetische MöK 2050 wiederum dürfte noch einmal eine andere Gewichtung für CO₂ haben, da sich sowohl die Emissionen (aktueller Fluss) als auch die Ziele (kritischer Fluss) geändert haben dürften.

3 Resultate

In diesem Kapitel werden nur die Resultate auf Niederspannungsniveau dargestellt. Für die Resultate auf Mittelspannungsniveau sei auf das Excel-Tool verwiesen.

3.1 Weiter wie bisher (WWB)

Die Klimabelastung des Schweizer Strommixes beträgt für das Jahr 2030 im Szenario *Weiter wie bisher* 67.1 g CO₂e/kWh. Dieser Wert steigt bis 2050 auf 78.8 g CO₂e/kWh. Grund dafür sind einerseits die massive Zunahme an Importstrom. Auf der Produktionsseite ist vor allem die Zunahme an Strom aus Gaskraftwerken verantwortlich für den gesteigerten Klimafussabdruck.

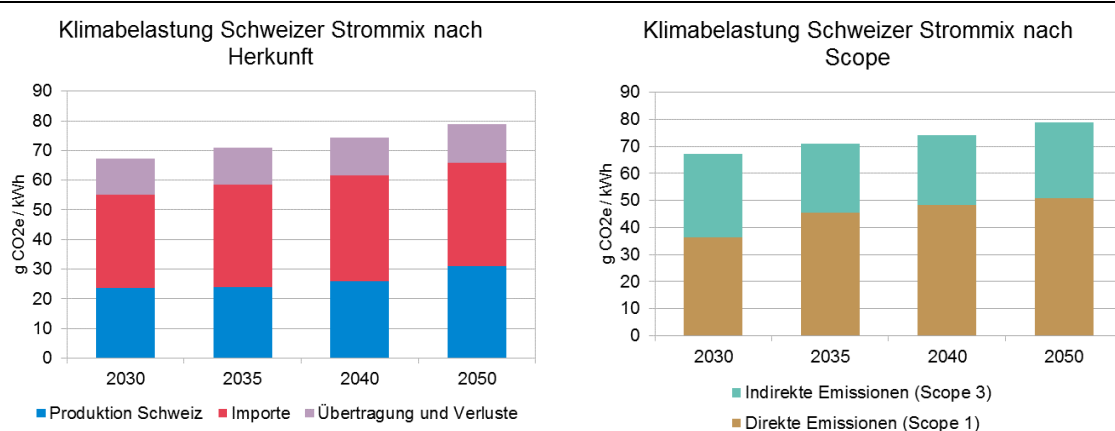


Abbildung 2: Klimabelastung Schweizer Strommix (WWB), berechnet nach IPCC 2021

Im Gegensatz zur Klimabelastung zeigt die Berechnung mit der Methode der ökologischen Knappheit eine sinkende Umweltbelastung über die Jahre. Die Umweltbelastung sinkt von 327 UBP/kWh im Jahr 2030 auf 157 UBP/kWh im Jahr 2050. Dies liegt daran, dass die Methode der ökologischen Knappheit neben den Auswirkungen auf das Klima auch die Auswirkungen der Kernenergie auf die Abfallthematik und die Energieresourcen berücksichtigt. Entsprechend weist die Kernenergie eine vergleichsweise hohe Umweltbelastung auf. Mit dem modellierten sukzessiven Ausstieg aus der Kernenergie sinkt deshalb die Umweltbelastung. Deutlich ersichtlich ist dies unter anderem in der Aufteilung nach Scope. Der Anteil der indirekten Emissionen sinkt deutlich über die Jahre, während der Anteil der direkten Emissionen (vor allem klimarelevante Emissionen) steigt.

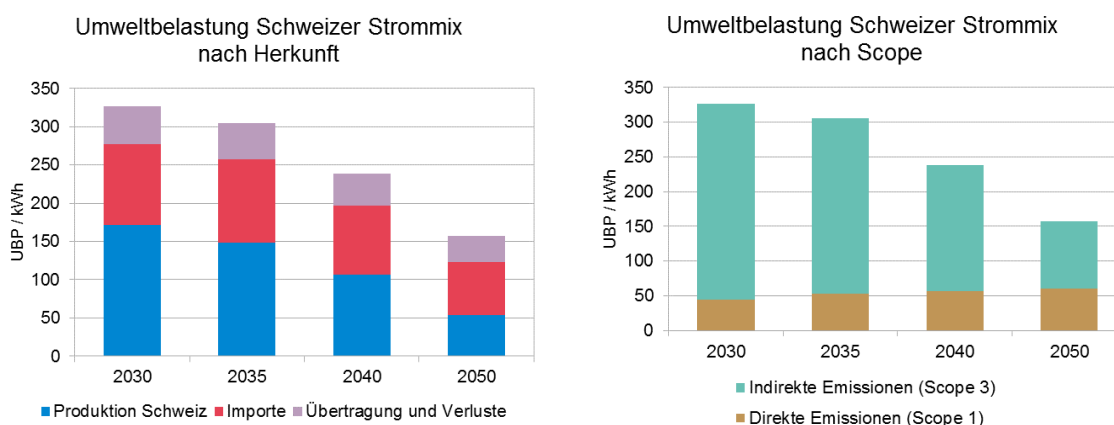


Abbildung 3: Umweltbelastung Schweizer Strommix (WWB), berechnet nach der Methode der ökologischen Knappheit 2021

3.2 Basisvariante (ZERO Basis)

Im Szenario ZERO Basis weist das Jahr 2030 mit einem Wert von 50.7 g CO₂e/kWh die höchste Klimabelastung auf. Danach sinkt die Klimabelastung bis auf 40.3 g CO₂e/kWh im Jahr 2050. Dies passiert vor allem dadurch, dass die Menge an importierten Strom sinkt. Besonders eindrücklich sinken die direkten Emissionen. Diese machen im Jahr 2050 gerade einmal noch 12.2 g CO₂e/kWh aus.

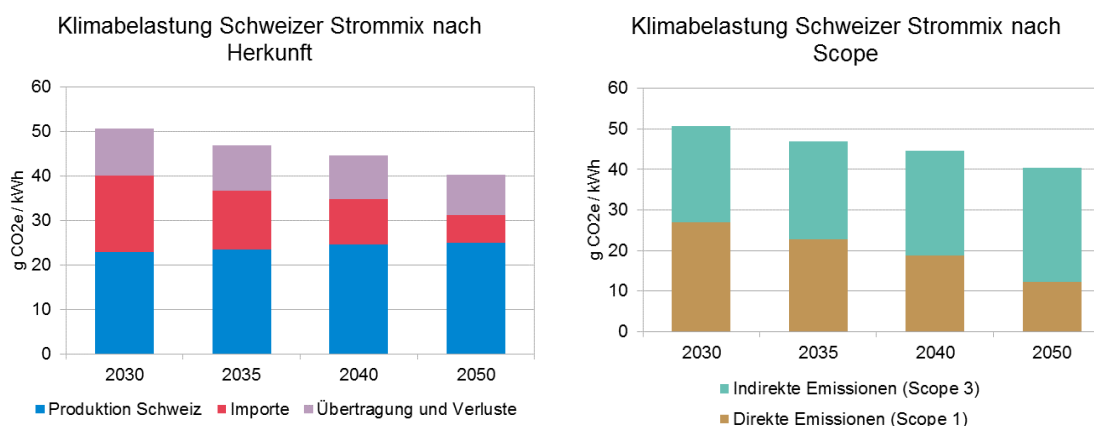


Abbildung 4: Klimabelastung Schweizer Strommix (ZERO Basis), berechnet nach IPCC 2021

Die Umweltbelastung des Schweizer Strommixes sinkt in diesem Szenario stark. Während die Umweltbelastung im Jahr 2030 noch bei 295.9 UBP/kWh liegt, beträgt diese im Jahr 2050 mit 98.6 UBP/kWh nur noch knapp ein Drittel. Dies liegt einerseits daran, dass die Menge an importierten Strom und dessen Umweltbelastung sinkt. Zum anderen reduziert sich durch den Atomausstieg die Umweltbelastung des in der Schweiz produzierten Stroms stark.

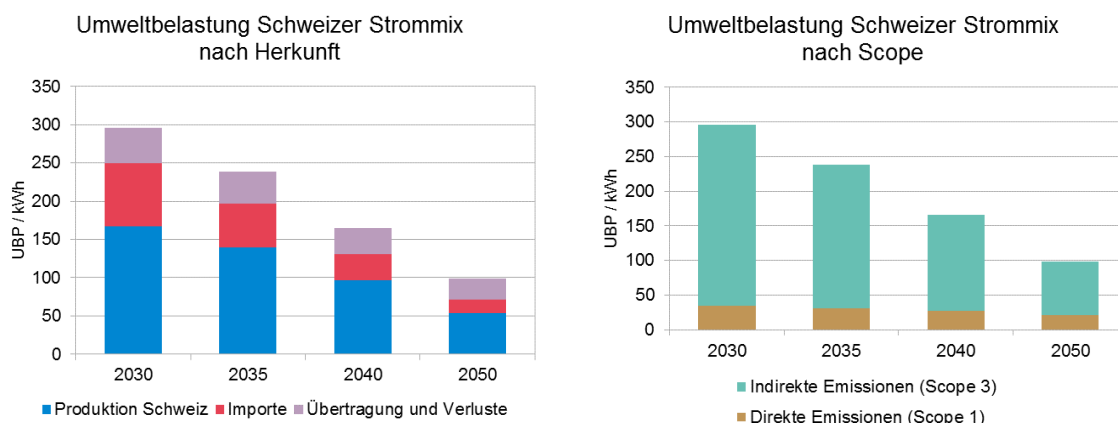


Abbildung 5: Umweltbelastung Schweizer Strommix (ZERO Basis), berechnet nach der Methode der ökologischen Knappheit 2021

3.3 Variante A (ZERO A)

Die Ergebnisse der Variante A sind sehr ähnlich wie diejenigen im Szenario ZERO Basis. Die Klimabelastung ist im Jahre 2030 mit 50.6 g CO₂e/kWh minimal höher. Die Klimabelastung im Jahr 2050 dagegen mit 39.4 g CO₂e/kWh etwas tiefer als im Szenario ZERO Basis. Dabei ein vergleichsweise grösserer Teil dieser Reduktion auf die Verbesserung der Klimabilanz in der inländischen Stromproduktion als auf die Reduktion der Klimabilanz des Importstroms.

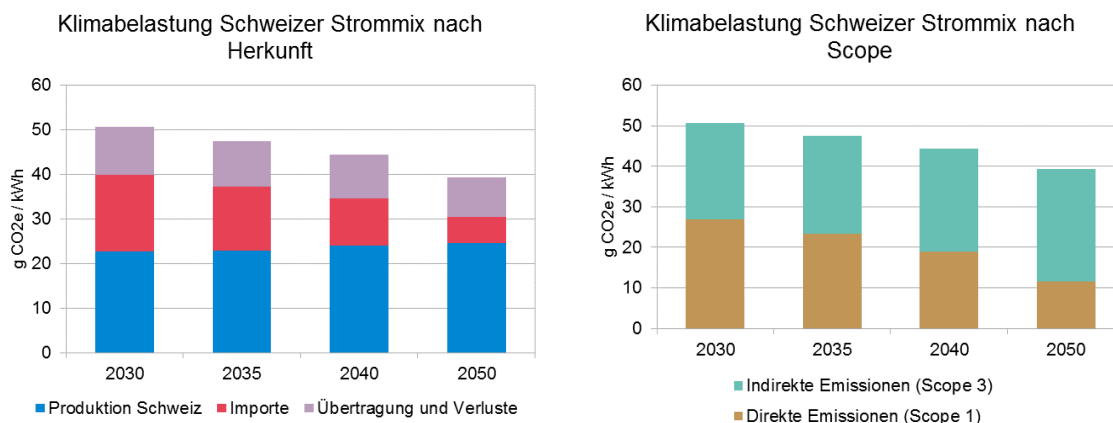


Abbildung 6: Klimabelastung Schweizer Strommix (ZERO A), berechnet nach IPCC 2021

Auch die Auswertung der Umweltbelastung zeigt ein fast identisches Bild zum Szenario ZERO Basis. Die Umweltbelastung ist im Jahr 2030 mit 295.6 UBP/kWh leicht tiefer. Auch die Umweltbelastung im Jahr 2050 schneidet mit 97.6 UBP/kWh leicht besser ab.

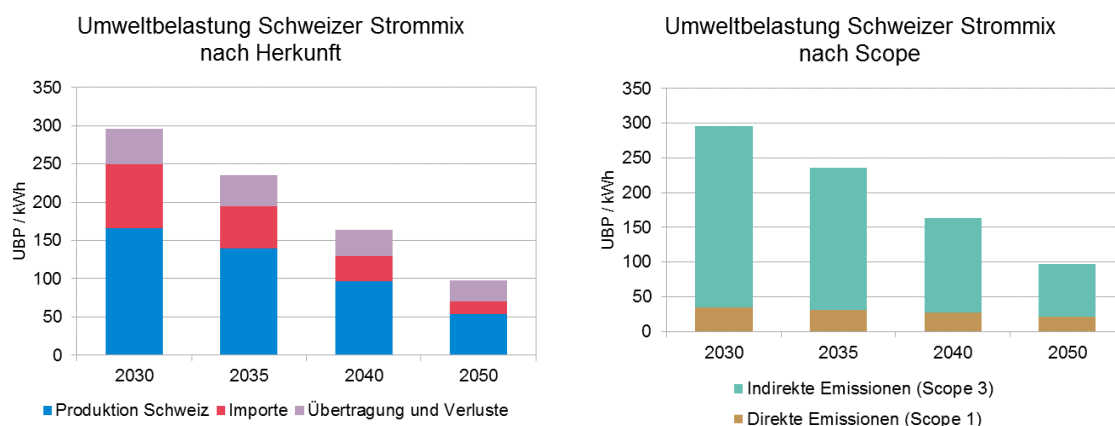


Abbildung 7: Umweltbelastung Schweizer Strommix (ZERO A), berechnet nach der Methode der ökologischen Knappheit 2021

3.4 Variante C (ZERO C)

Auch die Variante C führt zu ähnlichen Ergebnissen wie das Szenario ZERO Basis. So liegt der Wert der Klimabelastung für das Jahr 2030 mit 51.4 g CO₂e/kWh leicht höher. Auch die Klimabelastung im Jahr 2050 schneidet mit 40.6 g CO₂e/kWh geringfügig höher ab als im Szenario ZERO Basis.

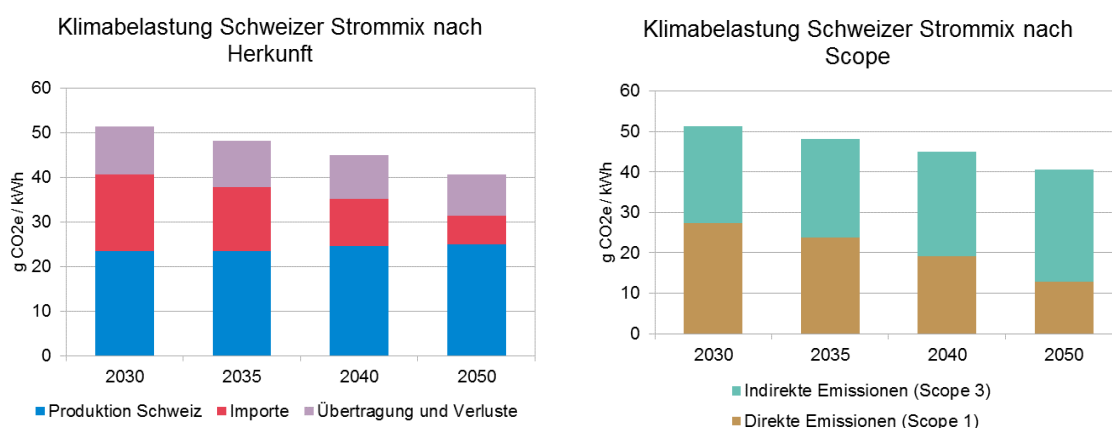


Abbildung 8: Klimabelastung Schweizer Strommix (ZERO C), berechnet nach IPCC 2021

Auch die Auswertung der Umweltbelastung zeigt ein ähnliches Bild wie im Szenario BASIS Zero. Die Werte liegen aber mit 295.3 UBP/kWh im Jahr 2030 und 98.3 UBP/kWh im Jahr 2050 leicht tiefer. Der Grund dafür ist, dass im Szenario ZERO C von einem geringfügig kleineren Anteil an Elektrizität aus Kernenergie ausgegangen wird.

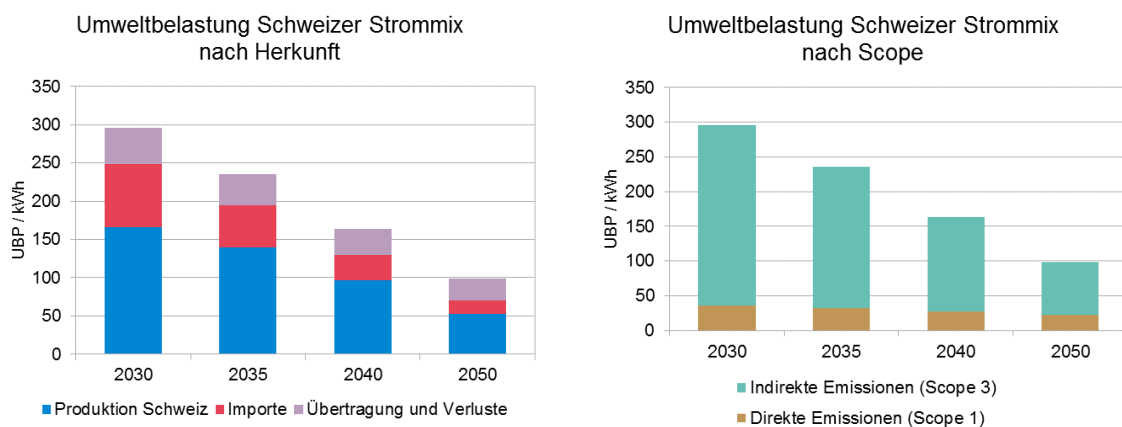


Abbildung 9: Umweltbelastung Schweizer Strommix (ZERO C), berechnet nach der Methode der ökologischen Knappheit 2021

4 Fazit und Diskussion

Die Berechnungen im Rahmen der Entwicklung des Excel-Rechners haben gezeigt, dass die Umweltbelastung des Schweizer Strommixes in sämtlichen Szenarien sinkt. Bezüglich Klimabelastung ist dies in allen Szenarien, mit Ausnahme des Szenarios *Weiter wie bisher*, der Fall. Es zeigt sich jedoch auch, dass in keinem Szenario die Auswirkungen auf Null sinken. Dies ist die Konsequenz dessen, dass gemäss des Ökobilanzansatzes sämtliche Auswirkungen betrachtet werden. Also beispielsweise auch diejenigen der Herstellung des Übertragungsnetzes. Zudem werden die Beiträge der Infrastruktur in dieser Studie tendenziell überschätzt, da für die Herstellung und Entsorgung der Infrastruktur von gegenwärtigen Inventaren ausgegangen wurde. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Umweltbelastung der Herstellung der meisten Güter in Zukunft sinken dürfte. Die Ergebnisse weisen in diesem Sinne eher konservative Werte auf.

Während die Unterschiede zwischen dem Szenario *Weiter wie bisher* und den restlichen Szenarien (ZERO Basis, ZERO A und ZERO C) gross sind, weisen diese drei Szenarien untereinander geringe Unterschiede auf. Dies liegt daran, dass diese Szenarien sich weniger in der relativen Zusammensetzung der Stromproduktion unterscheiden als vielmehr im Umfang der Elektrifizierung und damit der Menge an produziertem Strom. Da in dieser Studie die Vergleichsgrösse 1 kWh ist, spielt die absolute Menge an produziertem Strom kaum eine Rolle für die Ergebnisse.

Abschliessend bleibt zu betonen, dass diese Szenarien – und entsprechend auch die Berechnungen in diesem Bericht – mit grossen Unsicherheiten behaftet sind. Dies wird beispielsweise dadurch deutlich, wie unterschiedlich die Szenarien *Weiter wie bisher* und die Variante ZERO Basis abschneiden. Je nach künftiger wirtschaftlicher, politischer und sozialer Entwicklung ist es aber durchaus denkbar, dass keines dieser Szenarien die tatsächliche Situation im Jahre 2050 darstellt. Dies hat sich auch bei den Recherchen zu dieser Studie gezeigt, als verschiedene europäische Modelle in Erwägung gezogen wurden (European Commission, 2021; TYNDP, 2024). Alle Szenarien zeigen deutliche Unterschiede im Tempo der Umstellung des Energiesystems und führen entsprechend zu unterschiedlichen Ergebnissen. Allen Modellen ist jedoch gemein, dass diese von einer grundsätzlichen Umstellung auf umweltfreundlichere Kraftwerke ausgehen. Es bestehen entsprechend wenig Zweifel, dass sich die Klima- und Umweltbelastung des künftigen Schweizer Strommixes gegenüber dem Stand heute reduzieren wird. Die Frage ist lediglich wie stark und wie schnell. Die vorliegende Studie stellt den Versuch dar, nach bestem aktuellen Wissen eine plausible Antwort auf diese Frage zu liefern.

5 Literatur

- AWEL. (2013). Auswaschung von Kupfer, Chrom und Bor aus imprägnierten Hölzern. *Umweltpraxis*, (Nr 72).
- Bundesamt für Energie (BFE). (2022a, April 12). Energieperspektiven 2050+. Kurzbericht.
- Bundesamt für Energie (BFE). (2022b, April 12). Energieperspektiven 2050+. Technischer Bericht. Gesamtdokumentation der Arbeiten.
- Bundesamt für Energie (BFE), & Bundesamt für Umwelt (BAFU). (2026, März). Appendix Corporate Footprint calculator. Datasets energy split. Abgerufen von <https://pubdb.bfe.admin.ch/en/publication/download/12527>
- Bundesamt für Umwelt. (2021). *Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz*. (S. 260). Bern. Abgerufen von <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/wirtschaft-konsum/publikationen-studien/publikationen/oekofaktoren-schweiz.html>
- ElCom. (2021). Tätigkeitsbericht der ElCom 2020.
- European Commission. (2021). Policy scenarios for delivering the European Green Deal - European Commission. Abgerufen 30. Januar 2026, von https://energy.ec.europa.eu/data-and-analysis/energy-modelling/policy-scenarios-delivering-european-green-deal_en
- Federal Office for the Environment (FOEN). (2025). Database of the Swiss Federal Administration, BAFU:2025. Abgerufen von <https://nexus.openlca.org/database/BAFU>
- Frischknecht, R. (2025). Energieetikette für Personenwagen: Umweltkennwerte 2025 der Strom- und Treibstoffbereitstellung.
- Frischknecht, R., & Büsser Knöpfel, S. (2013). *Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der Ökologischen Knappheit - Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz* (No. 1330) (S. 256). Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Itten, R., Frischknecht, R., & Stucki, M. (2014). *Life Cycle Inventories of Electricity Mixes and Grid - Version 1.3*. Uster: treeze Ltd., Kanzleistrasse 4, 8610 Uster, Switzerland.
- Kägi, T., Dinkel, F., Frischknecht, R., Humbert, S., Lindberg, J., De Mester, S., u. a. (2016). Session “Midpoint, endpoint or single score for decision-making?”—SETAC Europe 25th Annual Meeting, May 5th, 2015. Conference Session Report. *Int J Life Cycle Assess*, 21(1), 129–132. <http://doi.org/10.1007/s11367-015-0998-0>
- Prognos, TEP Energy, Infrac, & Ecoplan. (2021). Energieperspektiven 2050+. Szenarienergebnisse 2020–2050. Stündliche Werte Stromerzeugung und Stromverbrauch. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.ex-turl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvcHVib-GljYX/Rpb24vZG93bmxxvYWQvMTExNDI=.html>
- TYNDP. (2024). TYNDP 2024 Scenarios. ENTSO-E & ENTSG TYNDP 2024 Scenarios – Outputs. Abgerufen von <https://2024.entsos-tyndp-scenarios.eu/download/>