
Umweltbilanz Strommixe Schweiz 2018

Autoren
Luana Krebs, Rolf Frischknecht

Im Auftrag des
Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Titel	Umweltbilanz Strommixe Schweiz 2018
Autoren	Luana Krebs, Rolf Frischknecht
Auftragnehmer	treeze Ltd., fair life cycle thinking Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster www.treeze.ch Phone +41 44 940 61 91, Fax +41 44 940 61 94 info@treeze.ch
Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt BAFU
Begleitgruppe	Regine Röhliberger, Abteilung Klima, Bundesamt für Umwelt BAFU Frank Hayer, Abteilung Ökonomie und Innovation, Bundesamt für Umwelt BAFU
Haftungsausschluss	Diese Studie wurde im Auftrag des BAFU verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich. Die in diesem Bericht enthaltenen Informationen stammen aus zuverlässigen Quellen. Die Autoren und treeze GmbH lehnen jedoch jegliche Haftung für Schäden oder Verluste ab, die durch die Verwendung dieser Angaben entstehen könnten. Die Verantwortung für die Nutzung der Informationen liegt ausschliesslich bei den sie Verwendenden.
Version	726-Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2018-v2.01.docx, 27.04.2021 09:00:00

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr (annum)
AIB	Association of Issuing Bodies
CH	Schweiz
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
CO ₂ -eq	Kohlendioxid-Äquivalente
EAM	European attribute mix (europäischer Residualmix)
ENTSO-E	Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (engl. European Network of Transmission System Operators for Electricity)
GWP	Treibhauspotenzial (engl. global warming potential)
HKN	Herkunftsnachweis
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KEV	kostendeckende Einspeisevergütung
KVA	Kehrrichtverbrennungsanlage
kWh	Kilowattstunde
N ₂ O	Lachgas / Distickstoffmonoxid
RER	Region Europa
SF ₆	Schwefelhexafluorid
UBP	Umweltbelastungspunkte
UCTE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity; heute: European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E)
VUE	Verein für umweltgerechte Energie

Zusammenfassung

Die Stromversorgung in der Schweiz ist im Umbruch. Neben dem Ausstieg aus der Kernenergie hat sich die Schweiz im Energiegesetz auch ambitionierte Ziele in Bezug auf den Ausbau der Produktion von Strom aus Wasserkraft und neuen erneuerbaren Energien gesetzt. Zudem verlangt die Schweiz von den Stromversorgungsunternehmen seit 2019 eine vollständige Deklarationspflicht für jede an Endkonsumenten gelieferte kWh Strom. Die Stromkennzeichnung basiert auf Herkunftsnachweisen (HKN), die für die Stromqualität ausgestellt und entkoppelt von der Stromproduktion gehandelt werden.

Dieser Bericht enthält die wesentlichen Informationen über die Umweltauswirkungen verschiedener Schweizer Strommixe des Jahres 2018. Es werden vier Strommixe und für zwei Strommixe zwei Bilanzierungsweisen unterschieden: Produktions-Strommix (in der Schweiz produzierter Strom), Lieferanten-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen (verbuchte Qualität des an die Schweizer Endkunden gelieferten Stroms), durchschnittliches Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien und Verbraucher-Strommix basierend auf Stundenwerten zu Inlandproduktion und kommerziellem Handel kombiniert mit den Stundenwerten des Stromverbrauchs in der Schweiz (effektiv an die Schweizer Endkunden gelieferter Strom). In einer zusätzlichen Analyse werden für den Produktions- und den Lieferanten-Strommix die Umweltbelastungen nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars analysiert. Die Umweltbelastungen werden dabei in die vier Bereiche direkte und territoriale Emissionen (Bereich 1), die Umweltbelastungen des Stromexports basierend auf HKN (Bereich 2), die Umweltbelastungen des Stromimports basierend auf HKN (Bereich 3) sowie die übrigen Umweltbelastungen (Bereich 4) unterteilt. Die Umweltbilanz der Schweizer Strommixe bezieht sich auf 1 kWh Strom, geliefert an eine Niederspannungs-Steckdose in der Schweiz im Jahr 2018.

Die Umweltbilanz der Schweizer Strombereitstellung umfasst alle Ressourcen- und Energieverbräuche sowie Schadstoffemissionen während Bau, Betrieb, Rückbau und Entsorgung der Kraftwerke inklusive der Materialherstellung. Auch die Umweltauswirkungen der Bereitstellung und Entsorgung der Brennstoffe inklusive Gewinnung und Abbau sowie des Transports und der Verteilung des Stroms über das Stromnetz werden mit einbezogen. In der Betrachtung nach den Systemgrenzen gemäss Treibhausgasinventar werden alle indirekten Emissionen in den Bereichen 2 bis 4 abgebildet. Diese drei Bereiche schlagen die Brücke zwischen der Bilanzung nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars zur Ökobilanzierung.

Die Schweizer Strommixe werden nach den drei Umweltkennwerten Treibhausgasemissionen, kumulierter Primärenergiebedarf (erneuerbar und nicht erneuerbar) und Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 bewertet. Dies erlaubt einen Vergleich der Umweltbelastungen der Strommixe sowie die Identifikation derjenigen Technologien, welche die Hauptanteile zu den genannten Kennwerten beisteuern.

In der Schweiz wurde 2018 Strom hauptsächlich mittels Wasserkraft produziert (55.3 %), gefolgt von Kernkraft (36.1 %), anderen erneuerbaren Energien (5.8 %) und Abfällen

(1.9 %) (Produktions-Strommix). Der Schweizer Lieferanten-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen unterscheidet sich deutlich vom Schweizer Produktions-Strommix. Der Anteil von Kernkraft (18.6 %) aus der Schweiz ist im HKN-Lieferanten-Strommix deutlich tiefer als im Produktions-Strommix, der Anteil Wasserkraft mit 66 % (davon 50 %-Punkte aus der Schweiz) hingegen deutlich höher. Dies ist auf den hohen Anteil der Stromimporte basierend auf HKN zurückzuführen (25.9 %). Die Importe teilen sich auf Strom aus erneuerbaren (17.7 %, vorwiegend Wasserkraft), nicht erneuerbaren (1.6 %) und nicht überprüfbar (6.7 %; modelliert mit dem Schweizer Residualmix) Energien auf.

Das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien besteht zu 94.4 % aus Wasserkraft. Sonnenenergie trägt einen Anteil von 2.7 % des durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien bei, während die Windenergie einen Anteil von 1.8 % ausmacht (Inlandproduktion und Importe). Die übrigen Technologien steuern weniger als 1 % bei. Der Verbraucher-Strommix basierend auf Stundenwerten zu Inlandproduktion und kommerziellem Handel kombiniert mit den Stundenwerten des Stromverbrauchs in der Schweiz weist verglichen mit dem HKN-Lieferanten-Strommix einen deutlich kleineren Anteil an Wasserkraft (34.9 %, davon 28.5 %-Punkte aus der Schweiz) und einen deutlich höheren Anteil an Kernenergiestrom (39.9 %, davon 19.6 %-Punkte aus der Schweiz) auf.

In Tab. Z. 1 ist eine Übersicht der Umweltkennwerte der Schweizer Strommixe für das Jahr 2018 gemäss Ökobilanz-Systemgrenzen präsentiert.

Tab. Z. 1 Umweltkennwerte der Schweizer Strommixe 2018.

Indikator	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel
Treibhausgas-Emissionen	g CO ₂ -eq/kWh	29.6	54.7	15.7	128
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar	kWh Öl-eq/kWh	1.65	1.08	0.04	2.08
Primärenergiebedarf, erneuerbar	kWh Öl-eq/kWh	0.70	0.91	1.17	0.59
Gesamtweltbelastung	UBP/kWh	208	165	47.8	324

Die Treibhausgasemissionen des Produktions-Strommixes betragen 29.6 g CO₂-eq/kWh. Die Treibhausgasemissionen des Schweizer HKN-Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes sind mit 54.7 g CO₂-eq/kWh und 128.0 g CO₂-eq/kWh deutlich höher. Die Treibhausgasemissionen des durchschnittlichen Schweizer Stromprodukts aus erneuerbaren Energien sind am tiefsten und betragen 15.7 g CO₂-eq/kWh. Der Unterschied stammt hauptsächlich aus Anteil Strom unbekannter Herkunft und dem Import von HKN fossil-thermischer Kraftwerke. Da der Anteil von Strom unbekannter Herkunft dank der mit der Energieverordnung per 1.1.2018 eingeführten Volldeklaration gegenüber 2014 deutlich abgenommen hat und zudem dieser Strom neu mit dem Schweizer statt dem durchschnittlich europäischen Residualmix modelliert wird, sind die spezifischen Treibhausgasemissionen des HKN-Lieferanten-Strommixes 2018 gegenüber denjenigen der HKN-Strommixe 2014 um über 60 % tiefer.

Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf des Produktions-, HKN-Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes liegt bei 1.7, 1.1 und 2.1 kWh Öl-eq/kWh. Das durchschnittliche Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien weist einen deutlich tieferen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von 0.04 kWh Öl-eq/kWh auf. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf des Produktions-, des HKN-Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes ist vor allem auf den Strom aus Kernkraftwerken zurückzuführen. Auch Strom aus nicht überprüfaren Energieträgern trägt zum erhöhten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf des HKN-Lieferanten-Strommixes bei. Der tiefe nicht erneuerbare Primärenergiebedarf des durchschnittlichen Schweizer Stromprodukts aus erneuerbaren Energien ist mehrheitlich im geringen spezifischen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von Strom aus Wasserkraft und anderen erneuerbaren Energien begründet.

Die Gesamtumweltbelastung des durchschnittlichen Schweizer Stromprodukts aus erneuerbaren Energien ist mit 48 UBP/kWh deutlich tiefer als bei den anderen Schweizer Strommixen. Der Produktions-Strommix hat eine spezifische Gesamtumweltbelastung von 208 UBP/kWh, während die Gesamtumweltbelastung des HKN-Lieferanten-Strommixes und des Verbraucher-Strommixes 165 und 324 UBP/kWh beträgt. Der HKN-Lieferantenstrommix hat aufgrund des kleineren Anteils Kernenergie eine tiefere Umweltbelastung als der Produktions- und der Verbraucher-Strommix. Die spezifische Gesamtumweltbelastung von Strom aus Wasserkraftwerken und anderen erneuerbaren Energien ist gering. Beim durchschnittlichen Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien verursacht deshalb die Stromverteilung ca. zwei Drittel der Gesamtumweltbelastung. Strom aus Kernkraftwerken, Strom aus nicht überprüfaren Quellen und die Stromimporte aus fossilen Energieträgern sind hauptverantwortlich für die Umweltbelastung des Produktions-, des HKN-Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes.

Bei Produkt-Ökobilanzen wird empfohlen, für unspezifischen Strom ab Schweizer Steckdose den Schweizer Verbraucher-Strommix basierend auf Produktion plus kommerziellem Handel zu verwenden. Er eignet sich für die Bestimmung der Umweltauswirkungen des gesamtschweizerischen Stromverbrauchs (volkswirtschaftliche Betrachtung) und für die Bilanzierung des Istzustands gemäss der Methodik der 2000-Watt-Gesellschaft. Der Schweizer Lieferanten-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen wird verwendet bei der Energieetikette für Personenwagen. Für die Bilanzierung von unspezifischen zertifizierten Stromprodukten („Ökostrom“) ist das durchschnittliche Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien die richtige Wahl.

Die Stromkennzeichnung zu einem spezifischen Stromprodukt eines Energieversorgers und die in diesem Bericht enthaltenen Umweltkennwerte von Strom erzeugt mit verschiedenen Kraftwerkstechnologien können verwendet werden, um die Treibhausgasemissionen, den kumulierten Primärenergiebedarf oder die Gesamtumweltbelastung dieses spezifischen Stromprodukts zu berechnen. Die spezifischen Umweltauswirkungen eines Stromprodukts können auch mit einem online verfügbaren Strommix-Rechner¹ ermittelt werden.

¹ <http://treeze.ch/de/rechner/strommixrechner-schweiz/>, Zugriff am 17. September 2020

Inhalt

1	EINFÜHRUNG	1
1.1	Ausgangslage und Zielsetzung	1
1.2	Struktur des Berichtes	2
2	SCHWEIZER STROMMIXE UND DEREN VERWENDUNG	3
2.1	Schweizer Strommixe	3
2.2	Welchen Strommix verwenden?	5
3	UNTERSUCHUNGSUMFANG	7
3.1	Bezugsgrösse	7
3.2	Systemumfang	7
3.3	Datengrundlage und Ökobilanzsoftware	9
3.4	Strommixe für beschreibende Ökobilanzen	9
4	PRODUKTIONS- UND HKN-STROMMIXE	10
4.1	Überblick	10
4.2	Produktions-Strommix	10
4.3	Lieferanten-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen	12
4.4	Durchschnittliches Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	13
4.5	Verbraucher-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen	14
4.6	Zusammenfassung Sachbilanz	14
5	UMWELTKENNWERTE DER STROMERZEUGUNG	17
5.1	Einführung	17
5.2	Treibhausgasemissionen	17
5.3	Primärenergiebedarf	20
5.4	Gesamtumweltbelastung	22
6	UMWELTKENNWERTE DER SCHWEIZER STROMMIXE	24
6.1	Treibhausgasemissionen	24
6.2	Primärenergiebedarf	25
6.3	Gesamtumweltbelastung	26
7	VERBRAUCHER-STROMMIX BASIEREND AUF PRODUKTION UND KOMMERZIELLEM HANDEL	27
7.1	Modellierung und Zusammensetzung des Strommix	27
7.2	Umweltkennwerte	28
7.3	Mögliche Auswirkungen	29

7.3.1	Gebäudebilanzierung Schweiz	29
7.3.2	Energiestrategie 2050 und Energieperspektiven 2050+	29
7.3.3	Doppelte Anrechnung erneuerbaren Stroms in Ökobilanzen	30
7.4	Fazit	31
8	ANALYSE DES LIEFERANTEN- UND PRODUKTIONS-STROMMIXES NACH DEN SYSTEMGRENZEN DES TREIBHAUSGASINVENTARS	33
8.1	Motivation	33
8.2	Vorgehen	33
8.2.1	Bereich 1: direkte Emissionen der Schweizer Stromproduktion – Strommix gemäss Systemgrenzen des Treibhausgasinventars	33
8.2.2	Bereich 2: Emissionen des Stromexports	34
8.2.3	Bereich 3: Emissionen des Stromimports	34
8.2.4	Bereich 4: übrige Emissionen im In- und Ausland	35
8.3	Umweltkennwerte der Stromerzeugung nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars	35
8.4	Umweltkennwerte der Strommische nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars	36
8.4.1	Treibhausgasemissionen	36
8.4.2	Kumulierter Primärenergiebedarf	37
8.4.3	Gesamtumweltbelastung	38
9	ZEITLICHE ENTWICKLUNG DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN	39
10	DATENQUALITÄT	41
	REFERENZEN	42
A	ANHANG: SCHWEIZER RESIDUALMIX	45
B	ANHANG: DATENSÄTZE DER TECHNOLOGIEN	47
C	ANHANG: VERWENDETE TREIBHAUSPOTENTIALE	48
D	ANHANG: TREIBHAUSGASEMISSIONEN	48
E	ANHANG: PRIMÄRENERGIEBEDARF	49
F	ANHANG: GESAMTUMWELTBELASTUNG	52
G	ANHANG: ANALYSE DER STROMMIXE NACH DEN SYSTEMGRENZEN DES TREIBHAUSGASINVENTARS	53

1 Einführung

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Die Stromversorgung in der Schweiz ist im Umbruch. Neben dem Ausstieg aus der Kernenergie hat sich die Schweiz im Energiegesetz auch ambitionierte Ziele in Bezug auf den Ausbau der Produktion von Strom aus Wasserkraft und neuen erneuerbaren Energien gesetzt. Zudem verlangt die Schweiz von den Stromversorgungsunternehmen seit 2019 eine vollständige Deklarationspflicht für jede an Endkonsumenten gelieferte kWh Strom. Die Stromkennzeichnung basiert auf Herkunftsnachweisen (HKN), die für die Stromqualität ausgestellt und entkoppelt von der Stromproduktion gehandelt werden.

Die Abteilung Klima des Bundesamts für Umwelt erhält regelmässig Anfragen zum Thema Treibhausgas-Emissionen des Schweizer Strommixes. Um hier fundiert und transparent Auskunft geben zu können, wird ein Dokument mit den wesentlichen Kennwerten und Hintergrundinformationen benötigt.

Es werden vier Strommixe und für zwei Strommixe zwei Bilanzierungsweisen unterschieden: Produktions-Strommix (in der Schweiz produzierter Strom), Lieferanten-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen (Qualität des an die Schweizer Endkunden gelieferten Stroms), durchschnittliches Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien und Verbraucher-Strommix basierend auf Stundenwerten zu Inlandproduktion und kommerziellem Handel kombiniert mit den Stundenwerten des Stromverbrauchs in der Schweiz (effektiv an die Schweizer Endkunden gelieferter Strom). In einer zusätzlichen Analyse werden für den Produktions- und den Lieferanten-Strommix die Umweltbelastungen nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars analysiert.

Der vorliegende Kurzbericht enthält die wesentlichen Informationen darüber, wie die Schweizer Strommixe modelliert und welche Elemente dabei berücksichtigt werden. Zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen werden auch die Kennwerte Gesamtumweltbelastung und kumulierter Primärenergiebedarf (erneuerbar und nicht erneuerbar) quantifiziert. Schliesslich wird analysiert, welche Technologien die Hauptanteile zu den Umweltbelastungs-Kennwerten beisteuern.

Neu werden die Treibhausgasemissionen des Produktions- und HKN-Lieferanten-Strommixes auch gemäss den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars analysiert. Die Treibhausgasemissionen werden gemäss dem Territorial- und Emittent-Prinzip gemäss UNFCCC denjenigen Aktivitäten zugerechnet, bei denen die Emissionen auftreten.

Die Hintergrundinformationen zu den hier beschriebenen Strommixen sind in verschiedenen Berichten in englischer Sprache dokumentiert. Die wesentlichen Informationsquellen sind in den nachstehenden Kapiteln erwähnt.

1.2 Struktur des Berichtes

Der Bericht ist wie folgt aufgebaut. In Kapitel 2 werden die in diesem Bericht bilanzierten Strommixe kurz beschrieben und es wird aufgezeigt, welcher Strommix wann zu verwenden ist. In Kapitel 3 wird der Untersuchungsumfang inklusive Bezugsgrösse, Systemumfang und Anwendungsbereich der Umweltbilanz beschrieben. In Kapitel 4 sind der Produktions-Strommix und die beiden HKN Strommixe (Lieferanten-Strommix und durchschnittliches Stromprodukt auf Basis erneuerbarer Energien) sowie deren Modellierungsannahmen dokumentiert. Die aus der Wirkungsabschätzung resultierenden Umweltkennwerte der Stromerzeugung einzelner Technologien sowie der Schweizer Strommixe werden in Kapitel 5 resp. 6 diskutiert. In Kapitel 7 wird der Strommix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel und dessen Umweltauswirkungen beschrieben. Die in diesen drei Kapiteln beschriebenen Ergebnisse basieren auf einer Modellierung mit der Systemgrenze gemäss Ökobilanzierung. In Kapitel 8 wird die Analyse des Schweizer HKN-Lieferanten- und Produktions-Strommixes nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars beschrieben und die Umweltkennwerte der verschiedenen Bereiche diskutiert. Kapitel 9 befasst sich mit der zeitlichen Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Strommixe. In Kapitel 10 wird die Datenqualität der vorliegenden Umweltbilanz besprochen.

2 Schweizer Strommixe und deren Verwendung

2.1 Schweizer Strommixe

In den Schweizer Ökobilanz-Datenbanken wird bislang unterschieden zwischen dem reinen Produktions- oder Erzeugungsmix einerseits und dem Lieferantenmix eines Landes andererseits (siehe hierzu Frischknecht et al. 1994). Einzig für die Schweiz wurden ab Referenzjahr 2011 vier verschiedene Strommixe unterschieden: Produktionsmix, Lieferantenmix basierend auf Herkunftsnachweisen, durchschnittliches Stromprodukt auf Basis erneuerbarer Energien und Verbrauchermix basierend auf Herkunftsnachweisen. Der Verbrauchermix wird neu nicht mehr basierend auf Herkunftsnachweisen berechnet, sondern stützt sich auf Inlandproduktion und kommerziellen Handel.

Im Rahmen der Aktualisierung 2020 wurden vier verschiedene Strommixe modelliert, zwei davon in zwei unterschiedlichen Betrachtungsweisen:

1. Produktions-Strommix (in der Schweiz produzierter Strom),
2. Lieferanten-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen (Qualität des an die Schweizer Endkunden gelieferten Stroms),
3. durchschnittliches Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien;
4. Verbraucher-Strommix basierend auf Stundenwerten zu Inlandproduktion und kommerziellem Handel kombiniert mit den Stundenwerten des Stromverbrauchs in der Schweiz (effektiv an die Schweizer Endkunden gelieferter Strom).

In einer zusätzlichen Analyse werden für den Produktions- und den Lieferanten-Strommix die Umweltbelastungen nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars analysiert (siehe Kapitel 8).

Der Produktions-Strommix repräsentiert die Zusammensetzung der in der Schweiz erzeugten Elektrizität unabhängig davon, ob der Strom in der Schweiz verbraucht oder exportiert wird. Die Daten der Schweizer Elektrizitätsstatistik, ergänzt mit der Statistik der erneuerbaren Energien sind die massgebenden Grundlagen für den Produktions-Strommix (siehe Unterkapitel 4.2).

Die Lieferwerke sind im Rahmen der Stromkennzeichnung verpflichtet, Auskunft über die Zusammensetzung der Qualität der gelieferten Elektrizität zu geben und diese auf www.stromkennzeichnung.ch bis Ende Juni des Folgejahres einzutragen. Seit Januar 2018 gilt in der Schweiz die vollständige Deklarationspflicht und seit Januar 2021 sind auch die Ausnahmeregelungen ausser Kraft. Pronovo publiziert als akkreditierte Zertifizierungsstelle unter anderem auch die Zusammensetzung der HKN, die für die an Kunden in der Schweiz gelieferte Strommenge entwertet wurden (Cockpit Stromkennzeichnung Schweiz, Pronovo 2019a). Diese Information ist die massgebende Grundlage für den HKN-Lieferanten-Strommix (siehe Unterkapitel 4.3).

Fortschrittliche Stromversorgungsunternehmen bieten seit über zwanzig Jahren Stromprodukte aus erneuerbaren Energien an. Das Absatzvolumen dieser (freiwilligen) zertifizierten Stromprodukte hat sich in den letzten zehn Jahren mehr als verdreifacht,

nahm seit 2015 um mehr als 55 % zu und lag 2018 bei knapp 17'300 GWh. Das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien wird auf Basis der Daten einer Umfrage im Auftrag des BFE (VUE 2020) modelliert.

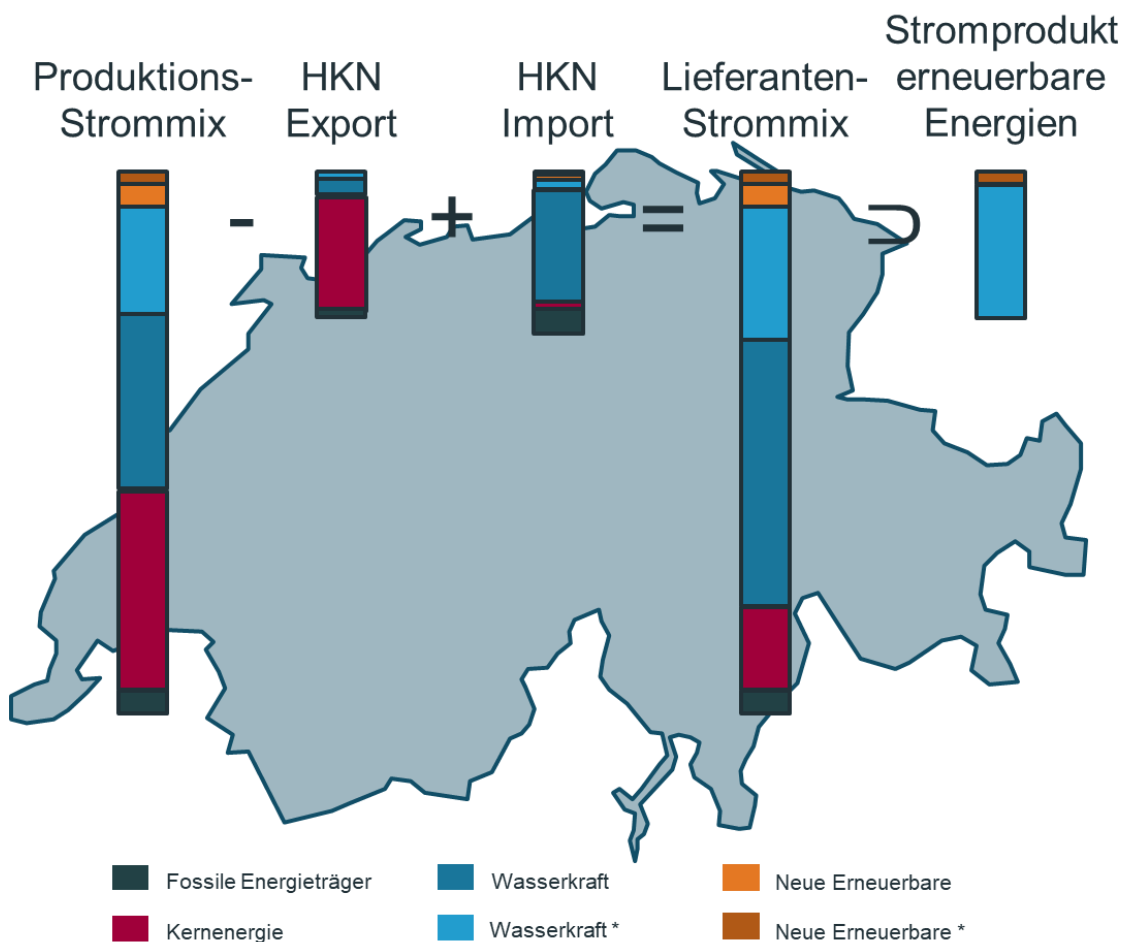


Fig. 2.1 Modellansatz für den Produktions-Strommix, den Lieferanten-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen und das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien (siehe Kapitel 4).

*: Produktion für Stromprodukte aus erneuerbaren Energien

In Kapitel 7 wird der Verbraucherstrommix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel beschrieben, der im Rahmen eines vom Bundesamt für Energie und dem Amt für Hochbauten der Stadt Zürich finanzierten Forschungsprojektes zum Thema Strommix in Gebäude-Ökobilanzen erarbeitet wurde (Frischknecht et al. 2020a).

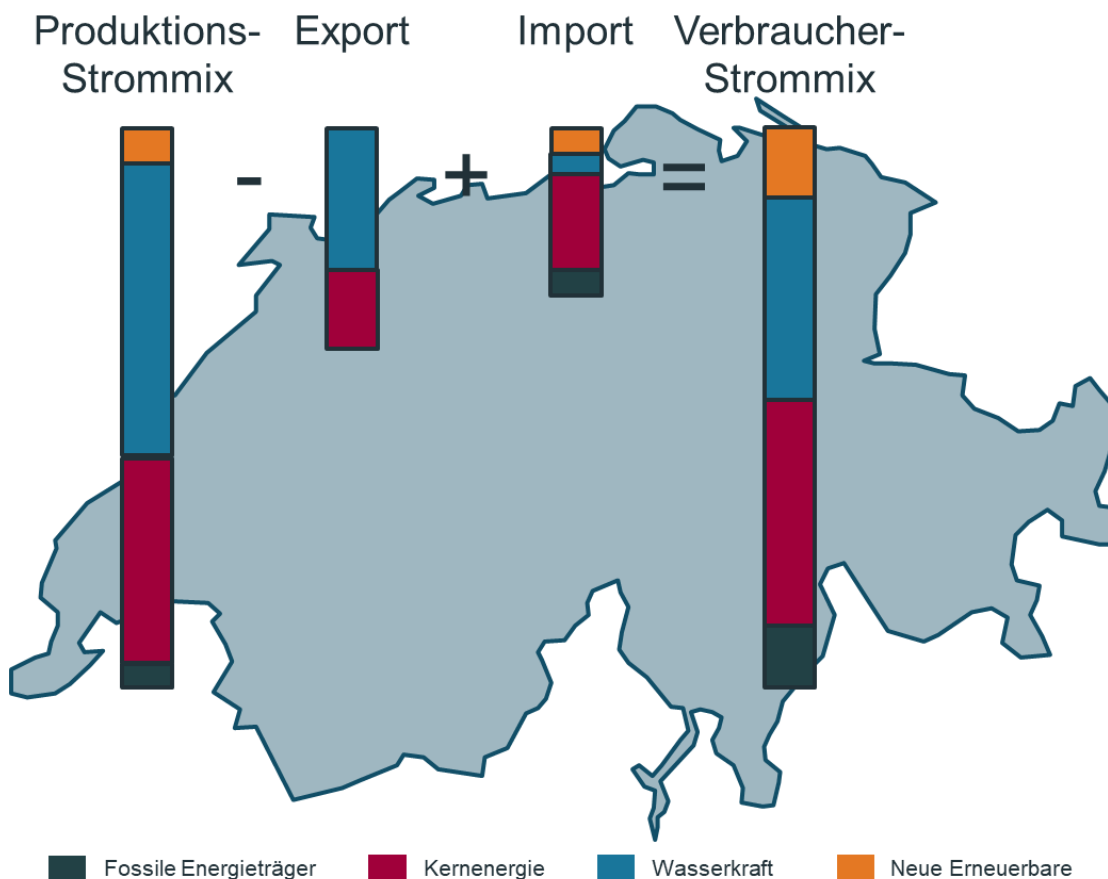


Fig. 2.2 Modellansatz für den Verbraucher-Strommix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel (siehe Kapitel 7).

Je nach Betrachtungsweise sollte ein anderer Strommix verwendet werden. Im nachfolgenden Unterkapitel 2.2 wird eine Empfehlung abgegeben, welcher Strommix wann verwendet werden sollte. Falls ein nutzerspezifischer Strommix verwendet wird und dessen Kennzeichnung bekannt ist, wird empfohlen die spezifischen Umweltauswirkungen mit dem Strommixrechner² zu berechnen.

2.2 Welchen Strommix verwenden?

Eine Übersicht über die Datenquellen, Charakteristika und Anwendungsbereiche der dokumentierten Strommixe sowie eines spezifischen Strommixes wird in Tab. 2.1 gegeben.

Die Stromkennzeichnung des Energieversorgers und die in Tab. 5.1, Tab. 5.2 und Tab. 5.3 enthaltenen Umweltkennwerte können verwendet werden, um die Treibhausgasemissionen, den kumulierten Primärenergiebedarf oder die Gesamtumweltbelastung des bezogenen Stromprodukts basierend auf Herkunftsnachweisen zu berechnen.

² <http://treeze.ch/de/rechner/strommixrechner-schweiz/>, Zugriff am 17. September 2020

Für den durchschnittlichen Strom ab Schweizer Steckdose wird empfohlen, den Schweizer Verbraucher-Strommix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel zu verwenden. Der Schweizer Lieferanten-Strommix basierend auf HKN wird für die Energieetikette Personenwagen verwendet. Für die Bilanzierung von unspezifischen Stromprodukten aus erneuerbaren Energien ist das durchschnittliche Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien die richtige Wahl. Damit kann beispielsweise die Umweltbelastung des Fahrens mit einem Elektroauto oder einem E-Bike, welches mit erneuerbarem Strom betrieben wird, quantifiziert werden.

Der Verbraucher-Strommix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel wird verwendet in der aktualisierten KBOB-Empfehlung 2009/1:2021, und wird empfohlen für die Anwendung in den SIA Merkblättern 2040 und 2032, in mobitool sowie im Monitoring Zielpfad «Schweiz» der 2000 Watt Gesellschaft.

Da seit der Einführung der Volldeklaration die Qualität des einem Kunden gelieferten Stromprodukts mit der Stromkennzeichnung bekannt ist, wird empfohlen die spezifischen Umweltkennwerte dieser HKN-basierten Stromprodukte mit dem Strommixrechner³ oder den im vorliegenden Bericht dokumentierten Umweltauswirkungen verschiedener Stromproduktionstechnologien zu berechnen. Es kann jedoch sein, dass ausländische Herkunftsnachweise erneuerbarer Energien (beispielsweise Wasserkraft aus Norwegen) verwendet werden, um der vom Energieversorgungsunternehmen in Kernkraftwerken eingekauften und gelieferten Strommenge die Qualität «Wasserkraft» zu verleihen. Unternehmen und Organisationen, die Strom auf dem liberalisierten Markt beziehen, sowie Energieversorger können dies vermeiden, indem sie gezielt Schweizer HKN kaufen oder den Einkauf ihrer HKN auf Produktionsanlagen mit Beteiligung beschränken (Kopplung, siehe auch KBOB et al. 2017)⁴.

³ <http://treeze.ch/de/rechner/strommixrechner-schweiz/>, Zugriff am 17. September 2020

⁴ Entscheidend ist eine Kopplung des Einkaufs von HKN und *Stromproduktion basierend auf Kraftwerksbeteiligung* und nicht von HKN und *Stromlieferung*. Letzteres ist weder möglich, sinnvoll noch entscheidend.

Tab. 2.1 Übersicht über Datenquellen, Charakteristika und Anwendungsbereiche der vier Schweizer Strommixe und einem spezifischen Stromprodukt.

	Produktions-Strommix	Lieferanten- Strommix HKN	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix, Produktion und kommerzieller Handel	Spezifisches HKN Stromprodukt
Datenquelle	Schweizerische Elektrizitätsstatistik BFE	Pronovo Cockpit der Stromkennzeichnung	Marktumfrage Stromprodukte erneuerbare Energien	ENTSO-E Transparenz-Plattform und Swissgrid „Energieübersicht 2018“	Stromkennzeichnung des Energieversorgers
Charakteristik	Strommix der Produktion in der Schweiz	Strommix der in der Schweiz entwerteten Herkunftsnachweise (Stromqualitäten)	Strommix der in der Schweiz von Kunden bewusst gewählten Stromprodukte aus erneuerbaren Energien	Mix der Produktion von Strom, der in der Schweiz verbraucht wird	Spezifischer Strommix
Anwendungsbereich	<ul style="list-style-type: none"> Ökobilanz: publiziert in Hintergrund-datenbank 	<ul style="list-style-type: none"> Energieetikette Personenwagen Ökobilanz: publiziert in Hintergrund-datenbank 	<ul style="list-style-type: none"> Ökobilanz: durchschnittliches (oder als Proxy für nicht näher bekanntes) Stromprodukt aus erneuerbaren Energien 	<ul style="list-style-type: none"> SIA 2040 SIA Effizienzpfad Energie SIA 2032 und KBOB-Empfehlung 2009/1 Ökobilanzdaten im Baubereich mobitool.ch Monitoring 2000-Watt-Gesellschaft «Schweiz» Ökobilanz: unspezifischer Strommix Schweiz 	<ul style="list-style-type: none"> Ökobilanz: Berechnung der spezifischen Umweltkennwerte im Strommixrechner: http://treeze.ch/de/rechner/strommixrechner-schweiz/

3 Untersuchungsumfang

3.1 Bezugsgrösse

Die Treibhausgas-Bilanz der Schweizer Strombereitstellung bezieht sich auf eine Kilowattstunde (kWh) Strom, geliefert an eine Niederspannungs-Steckdose in der Schweiz im Jahr 2018.

3.2 Systemumfang

Die Umweltbilanz der Schweizer Strombereitstellung umfasst

- Bau, Betrieb sowie Rückbau und Entsorgung der Kraftwerke, inklusive der Herstellung der zum Bau benötigten Materialien, der Bereitstellung der Betriebsmittel und der Umweltbelastungen im Betrieb sowie der Entsorgungsaufwendungen.
- die Bereitstellung und die Entsorgung der Brennstoffe, inklusive Abbau beziehungsweise Gewinnung der Primärenergieträger (Erdgas, Rohöl, Steinkohle, Uran, Holz), deren Veredelung sowie auch deren Konditionierung und Endlagerung.
- den Transport und die Feinverteilung zu den Niederspannungs-Kunden, inklusive Leitungsverluste, Bauaufwendungen sowie SF₆-Emissionen (Transformatoren) und Lachgas-Emissionen (Hochspannungsleitungen).
- jegliche Transportaufwendungen für Brennstoffe, Bau- und Betriebsstoffe sowie Abfälle.

Das Modell ist wie folgt aufgebaut (siehe Fig. 3.1):

Im Zentrum stehen die Strommix-Datensätze, in welchen die jeweiligen Anteile der verschiedenen Technologien (Strom ab Laufwasserkraftwerk, ab Kernkraftwerk, ab Photovoltaikanlage etc.) nachgefragt werden. Diese Technologie-Datensätze beinhalten die Aufwendungen und Schadstoffemissionen der Produktion von einer ins Netz gespiesenen kWh. Übertragung und Verteilung des Stroms sind den Strommix-Datensätzen nachgelagert.

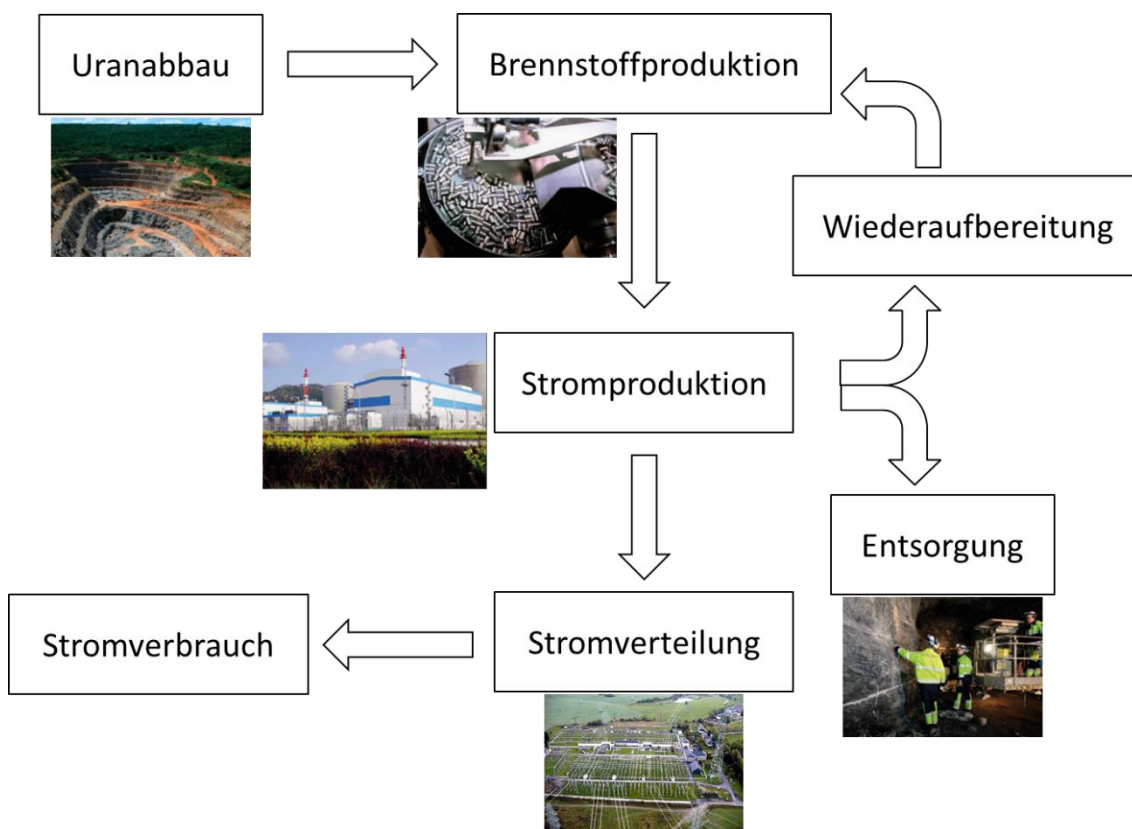


Fig. 3.1 Schematische Darstellung der Strombereitstellung am Beispiel der Kernenergie. Die Umweltauswirkungen des Stromverbrauchs liegen ausserhalb des Untersuchungsrahmens. Die vier oberen Bilder wurden aus IAEA (2011) entnommen und das Bild zur Stromverteilung stammt von Siemens Energy (2014).

Für drei Spannungsebenen, nämlich Hoch-, Mittel- und Niederspannung, werden die Verluste sowie die auf dem entsprechenden Spannungsniveau transportierten Strommengen verwendet, um die spezifischen Verluste jeder Spannungsebene zu quantifizieren (Tab. 3.1).

Tab. 3.1 Verluste im Schweizer Stromnetz aufgeteilt auf die unterschiedlichen Spannungsebenen (BFE 2015).

	Verfügbare Strommenge	Stromabsatz	Verluste Total	Verluste	Kumulierte Verluste	Anteil Stromabsatz ¹	Anteil Verluste ¹
Einheit	GWh	GWh	GWh	%	%	%	%
Schweizer Landesverbrauch	61'787	57'466	4'321	6.99		100%	100%
Verbrauch Hochspannung	60'102	2'299	1'685	2.80	2.80	4%	39%
Verbrauch Mittelspannung	57'241	18'389	562	0.98	3.81	32%	13%
Verbrauch Niederspannung	36'778	36'778	2'074	5.64	9.67	64%	48%

¹ Persönliche Mitteilung: Gerhard Emch, ewz (22.06.2011).

3.3 Datengrundlage und Ökobilanzsoftware

Die Umweltbilanzen der Strommixe Schweiz 2018 und der einzelnen Technologien wurden auf Basis des UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2018 modelliert (KBOB et al. 2018). Die Ökobilanzen wurden mit SimaPro v9.1 modelliert und berechnet.

3.4 Strommixe für beschreibende Ökobilanzen

Die hier dokumentierten Umweltbilanzen der Schweizer Strombereitstellung beschreiben den Zustand im Jahr 2018. Die Werte sind somit geeignet für beschreibende Umweltbilanzen. Dazu zählen Umweltberichte von Unternehmen sowie Umweltinformationen und Labels von Produkten und dergleichen. Nicht geeignet sind die hier vorliegenden Kennwerte zur Unterstützung von weitreichenden Entscheiden wie beispielsweise eine mögliche Förderung von Elektroautos auf Bundesebene oder eine weitreichende Förderung von Stromsparmassnahmen. Für derartige Fragestellungen sind Strommix-Modelle besser geeignet, welche auf Grenztechnologien basieren, das heisst auf denjenigen Kraftwerkstechnologien, die neu zugebaut beziehungsweise künftig abgeschaltet werden sollen (siehe hierzu auch Frischknecht & Stucki 2010, Frischknecht 2016).

Hinweise zu den Anwendungsbereichen der einzelnen hier beschriebenen Strommixe werden in Unterkapitel 2.2 gegeben.

4 Produktions- und HKN-Strommixe

4.1 Überblick

In diesem Kapitel werden der Produktions-Strommix (Unterkapitel 4.2), der HKN-Lieferanten-Strommix (Unterkapitel 4.3) und das durchschnittliche Stromprodukt auf Basis erneuerbarer Energien (Unterkapitel 0) beschrieben. Der HKN-Verbraucher-Strommix (Unterkapitel 4.5) wird nicht mehr weitergeführt.

4.2 Produktions-Strommix

Tab. 4.1 zeigt die Stromproduktion in der Schweiz gemäss der Elektrizitätsstatistik des Bundesamtes für Energie (BFE 2019a). In der Schweiz wird Elektrizität hauptsächlich mit Wasserkraft (55.3 %) und Kernkraft (36.1 %) produziert.

Die Stromproduktion aus Wasserkraft wird unterteilt in Laufwasserkraft, Speicherwasserkraft, Kleinwasserkraft und Pumpspeicherkraft. Die Anteile der verschiedenen Wasserkrafttechnologien werden in Tab. 4.2 gezeigt. Die Anteile für Laufwasserkraft, Speicherwasserkraft und Pumpspeicherkraft stammen aus der Schweizerischen Elektrizitätsstatistik 2018 (BFE 2019a). Der Anteil für Kleinwasserkraft ist aus dem Programm Kleinwasserkraftwerke (2010) und Flury & Frischknecht (2012) abgeleitet. Es wird angenommen, dass die Stromproduktion der Kleinwasserkraftwerke als Teil der Laufwasserkraft in der Schweizer Elektrizitätsstatistik 2019 erfasst wurde.

Tab. 4.1 Anteile der einzelnen Technologien an der gesamten Schweizer Stromproduktion (BFE 2019a).

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Wasserkraft	37'428.0	55.34%
Laufwasserkraft	16'908.0	25.00%
Speicherwasserkraft (inkl. Speicherpumpen)	20'520.0	30.34%
Kernenergie	24'414.0	36.10%
Druckwasserreaktor	13'652.0	20.19%
Siedewasserreaktor	10'762.0	15.91%
Übrige¹	5'791.0	8.56%
Total Brutto (inkl. Speicherpumpen)	67'633.0	100.00%

¹: Entspricht der Strommenge aus konventionell-thermischer und anderer Produktion, welche in der Schweizer Elektrizitätsstatistik 2019 in Tabelle 3 im Anhang für das Jahr 2018 detailliert publiziert ist. Es gilt zu beachten, dass in der Schweizer Elektrizitätsstatistik 2018, Tabelle 6 eine Strommenge von 5'716 GWh als konventionell-thermische und andere Produktion aufgeführt wird. Dabei handelt es sich um einen Schätzwert. Die in der Schweizer Elektrizitätsstatistik 2018 publizierten definitiven statistischen Daten zur Produktion aus neuen erneuerbaren Energien beziehen sich auf das Jahr 2017.

Der Verbrauch der Speicherpumpen beträgt im Jahr 2018 3'987 GWh. Davon werden 775 GWh für Zulieferpumpen eingesetzt (BFE 2019b). Der Strombedarf der Zulieferpumpen wird bei der Stromproduktion mit Speicherkraftwerken als Aufwand verbucht.

Der restliche Stromverbrauch von Speicherpumpen (3'212 GWh) wird für den Umwälzbetrieb von Pumpspeicherkraftwerken aufgewendet. Mit einem durchschnittlichen Wirkungsgrad der Pumpspeicherpumpen von 80 % (Flury & Frischknecht 2012) liegt der Erwartungswert der Stromproduktion aus Pumpspeicherkraftwerken bei 2'570 GWh.

Der Strom aus Kernenergie wird entsprechend der Produktion der einzelnen Schweizer Kernkraftwerke gemäss Elektrizitätsstatistik auf die unterschiedlichen Reaktortypen aufgeteilt (BFE 2019a).

Die Kategorie Übrige enthält die Technologien fossile Kraftwerke, Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA), Fotovoltaik, Wind und Biomasse. Die Anteile der verschiedenen Technologien stammen aus der Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien Ausgabe 2018 (BFE 2019c) und der Statistik der thermischen Stromproduktion inklusive Wärmekraftkopplung (WKK) in der Schweiz 2018 (BFE 2019d). In Tab. 4.3 wird die Aufteilung im Detail gezeigt.

Tab. 4.2 Anteile der Wasserkrafttechnologien in der Schweiz (BFE 2019a, Flury & Frischknecht 2012, Programm Kleinwasserkraftwerke 2010).

Technologie	Produktions-Strommix	Anteil	Lieferanten-Strommix	Anteil
Einheit	GWh	%	GWh	%
Laufwasserkraft	13'508.0	36.09%	13'508.0	40.39%
Speicherwasserkraft	17'950.1	47.96%	16'533.0	49.44%
Kleinwasserkraft	3'400.0	9.08%	3'400.0	10.17%
Pumpspeicherkraft	2'569.9	6.87%	0.0	0.00%
Total	37'428.0	100.00%	33'441.0	100.00%

Tab. 4.3 Anteile der verschiedenen Technologien an der Kategorie Übrige (BFE 2019c, BFE 2019d)

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Andere Erneuerbare	3'891.3	67.2%
Sonne	1'942.2	33.5%
Wind	121.8	2.1%
Holz	302.5	5.2%
Biogas Landwirtschaft	138.5	2.4%
Biogas Industrie	213.2	3.7%
Biomasse KVA ¹	1'173.1	20.3%
Geothermie	0.0	0.0%
Fossile Energieträger	644.9	11.1%
Erdöl	19.9	0.3%
Erdgas	625.0	10.8%
Steinkohle	0.0	0.0%
Abfälle	1'254.9	21.7%
Total	5'791.0	100.00%

¹: Annahme 50 % der Abfälle sind erneuerbar gemäss BFE (BFE 2019d).

4.3 Lieferanten-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen

Der Schweizer Lieferanten-Strommix (Tab. 4.4) basiert auf der Stromkennzeichnung Schweiz von Pronovo (Pronovo 2020). Die Tabelle zeigt die Zusammensetzung des in der Schweiz verkauften Stroms basierend auf Herkunftsnachweisen. Die Herkunftsnachweise der Ökostromprodukte (Stromprodukte aus erneuerbaren Energien gemäss VUE) sind darin enthalten, Bahnstrom jedoch nicht.

Die Kategorie geförderter Strom entspricht dem Strom aus Anlagen, die eine kosten-deckende Einspeisevergütung (KEV) erhalten, und wird entsprechend dem Jahresbericht der Pronovo AG (Pronovo 2019b) auf die verschiedenen erneuerbaren Technologien aufgeteilt (Tab. 4.5). Darin sind das Produktionsvolumen und die Anteile der verschiedenen Technologien aufgelistet. Der geförderte Strom wurde im 2018 hauptsächlich mit Wasserkraft (46.3 %) und Biomasse (32.7 %) produziert. Die Anteile von Fotovoltaik und Wind an der geförderten Stromproduktion in der Schweiz betragen 18.4 % bzw. 2.7 %.

Tab. 4.4 Anteile der einzelnen Technologien im Schweizer HKN-Lieferanten-Strommix (Pronovo 2020).

Technologie	Total	Aus der Schweiz	Import
Erneuerbare Energien	73.80%	57.18%	16.62%
Wasserkraft	65.95%	50.02%	15.93%
Andere Erneuerbare	2.25%	1.56%	0.69%
<i>Sonne</i>	1.21%	1.20%	0.01%
<i>Wind</i>	0.44%	0.06%	0.38%
<i>Biomasse</i>	0.30%	0.30%	0.00%
<i>Geothermie</i>	0.30%	0.00%	0.30%
Geförderter Strom	5.60%	5.60%	0.00%
Nicht erneuerbare Energien	19.00%	17.50%	1.50%
Kernenergie	17.29%	17.26%	0.03%
Fossile Energieträger	1.71%	0.24%	1.47%
<i>Erdöl</i>	0.02%	0.02%	0.00%
<i>Erdgas</i>	0.65%	0.22%	0.43%
<i>Steinkohle</i>	1.04%	0.00%	1.04%
Abfälle	0.95%	0.95%	0.00%
Nicht überprüfbare Energieträger	6.25%	0.00%	6.25%
Total	100.00%	75.63%	24.37%

Tab. 4.5 Anteile der einzelnen Technologien an der geförderten Stromproduktion in der Schweiz im Jahr 2018 (Pronovo 2019b).

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Wind	84.2	2.66%
Wasserkraft	1462.9	46.30%
Biomasse	1032.5	32.68%
Fotovoltaik	580.2	18.36%
Total	3159.8	100.00%

Der aus Biomasse produzierte Strom wird weiter unterteilt in Strom aus Holz, landwirtschaftlichem Biogas, industriellem Biogas und Strom aus in der KVA verbrannter Biomasse. Die Angaben zu diesen Anteilen stammen aus der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien Ausgabe 2018 (BFE 2019c). Die Anteile der verschiedenen Technologien sind in Tab. 4.6 gezeigt. Die Kategorie «Biogas Industrie» umfasst die Stromproduktion mit Klärgas, Biogas aus Industrieabwasser sowie Grüngutvergärungsanlagen.

Tab. 4.6 Anteile der einzelnen Technologien für Strom aus Biomasse im Jahr 2018 (BFE 2019c).

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Holz	289.8	18.56%
Biogas Landwirtschaft	138.5	8.87%
Biogas Industrie	212.9	13.64%
Biomasse KVA	919.9	58.93%
Total	1561.1	100.00%

Der Anteil von nicht überprüfbareren Energieträgern am HKN-Lieferanten-Strommix hat mit der Einführung der Volldeklaration ab Lieferjahr 2018 gegenüber dem Strommix 2014 um ca. zwei Drittel abgenommen und liegt für das Jahr 2018 bei 6.3 %. Der Anteil von nicht überprüfbareren Energieträgern 2018 ist daher sogar tiefer als im Jahr 2011 mit 11.8 %. Dieser Anteil wird neu mit dem länderspezifischen Residualmix für die Schweiz (AIB 2019) modelliert. Eine detaillierte Dokumentation der Sachbilanz des Schweizer Residualmixes (EAM) befindet sich in Anhang A.

Im HKN-Lieferanten-Strommix wird der Strombedarf für die Pumpspeicherung mit einem anderen Ansatz modelliert als im Produktionsmix. Strom aus Pumpspeicherkraftwerken wird in der Stromdeklaration nicht ausgewiesen, da der Pumpenstrombedarf im Umwandlungssektor anfällt und nur die Nettoproduktion an Endkunden geliefert wird. Anstelle eines Technologieanteils für die Pumpspeicherung im Strommix wird der Pumpenstrombedarf durch einen erhöhten Bedarf an Strom für die Bereitstellung einer kWh Elektrizität modelliert.⁵ Der Pumpenstrombedarf beträgt 6.4 % der gesamten gelieferten Elektrizität. Die Anteile der einzelnen Technologien am HKN-Lieferanten-Strommix sind in Tab. 4.8 dargestellt. Darin ist der Pumpenstrombedarf in Form eines negativen Anteils (Verbrauch) am HKN-Lieferanten-Mix berücksichtigt.

4.4 Durchschnittliches Stromprodukt aus erneuerbaren Energien

Das durchschnittliche Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien ist entsprechend der Umfrage des Vereins für umweltgerechte Energie (VUE) modelliert (VUE 2020). Die Umfragen des VUE geben Aufschluss über die einzelnen Energiequellen des durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien. Entsprechend der in Tab.

⁵ Seit 2018 müssen für die Pumpstromverluste (855 GWh oder 17 % des Strombedarfs von Speicherpumpen) HKN entwertet werden. Die spezifischen HKN Qualitäten dieser Pumpstromverluste wurden im Rahmen dieses Projektes nicht berücksichtigt.

4.7 gezeigten Werte wird der grösste Teil (94.4 %) des durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien mit Wasserkraft erzeugt.

Die Technologieanteile für Wasserkraft und Biomasse werden gemäss dem HKN-Lieferanten-Strommix auf die verschiedenen Unterkategorien aufgeteilt. Für das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien wird kein Pumpenstrombedarf bilanziert. Die Technologieanteile für das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien der Schweiz sind in Tab. 4.8 dargestellt.

Tab. 4.7 Technologieanteile des in der Schweiz verkauften durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien (VUE 2020).

Technologie	Produktion	Anteil an zertifiziertem Strommix	Anteil Lieferanten-Strommix
Einheit	GWh	%	%
Fotovoltaik	391.0	2.66%	0.74%
Wind	303.0	1.81%	0.50%
Wasserkraft	16'131.0	94.40%	26.30%
Biomasse	72.0	1.13%	0.31%
Total	17'272.0	100.00%	27.87%

4.5 Verbraucher-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen

Der in früheren Arbeiten modellierte HKN-Verbraucher-Strommix, bei welchem das Volumen der separat verkauften Schweizer Stromprodukte aus erneuerbaren Energien vom gesamten Volumen des Schweizer Lieferanten-Strommixes basierend auf HKN abgezogen wird, wird nicht aktualisiert. Als Verbraucher-Strommix wird neu der Strommix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel modelliert und analysiert (siehe Kapitel 7).

4.6 Zusammenfassung Sachbilanz

Tab. 4.8 zeigt die Zusammensetzung der drei Schweizer Strommixe nach den in den vorangehenden Unterkapiteln beschriebenen Zuordnungen und Anpassungen bezüglich der Technologiezusammensetzung. Alle verwendeten Daten beziehen sich auf das Jahr 2018.

In der Schweiz wird Strom hauptsächlich mittels Wasserkraft produziert (55.3 %), gefolgt von Kernkraft (36.1 %), anderen erneuerbaren Energien (5.8 %) und Abfällen (1.9 %). Der Schweizer Lieferanten-Strommix basierend auf HKN unterscheidet sich deutlich vom Schweizer Produktions-Strommix. Die Anteil von Kernkraft (18.6 %) aus der Schweiz ist im HKN-Lieferanten-Strommix deutlich tiefer als im Produktions-Strommix. Dies ist auf den hohen Anteil der Stromimporte zurückzuführen (25.9 %). Ein Anteil von 1.6 % des Schweizer HKN-Lieferanten-Strommixes stammt aus ausländischer Strom-

produktion aus fossilen Energieträgern, während 17.0 % in ausländischen Wasserkraftwerken produziert werden. Bei ca. einem Viertel der importierten Strommenge (6.7 % des Schweizer HKN-Lieferanten-Strommix) ist die Herkunft unbekannt.

Das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien besteht zu 94.4 % aus Wasserkraft. Sonnenenergie trägt einen Anteil von 2.7 % des durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien bei, während die Windenergie einen Anteil von 1.8 % ausmacht. Die übrigen Technologien steuern weniger als 1 % bei.

Der Strom unbekannter Herkunft wird mit dem Schweizer Residualmix modelliert (siehe Anhang A), die französische Kernenergie mit dem entsprechenden Datensatz für französische Kernkraftwerke und der Strom aus fossil-thermischen Kraftwerken wird mit den entsprechenden europäischen Datensätzen für Strom aus Schweröl, Erdgas und Steinkohle angenähert.

Tab. 4.8 Stromproduktion in der Schweiz und Anteile der verschiedenen Technologien für die vier Schweizer Strommixe für das Jahr 2018.

Technologie	Produktions-Strommix (absolut)	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien
Einheit	GWh	%	%	%
Inlandproduktion	67'633.0	100.00%	74.06%	98.94%
Erneuerbare Energien	41'319.3	61.09%	60.86%	98.94%
Wasserkraft	37'428.0	55.34%	56.00%	94.40%
<i>Laufwasserkraft</i>	13'508.0	19.97%	22.62%	34.07%
<i>Speicherwasserkraft</i>	17'950.1	26.54%	0.00%	0.00%
<i>Speicherwasserkraft (zertifiziert)</i>	0.0	0.00%	27.68%	51.75%
<i>Kleinwasserkraft</i>	3'400.0	5.03%	5.69%	8.58%
<i>Pumpspeicherkraft</i>	2'569.9	3.80%	0.00%	0.00%
Andere erneuerbare Energien	3'891.3	5.75%	4.86%	4.54%
<i>Sonne</i>	1'942.2	2.87%	2.37%	2.66%
<i>Wind</i>	121.8	0.18%	0.22%	0.75%
<i>Holz</i>	302.5	0.45%	0.42%	0.51%
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	138.5	0.20%	0.20%	0.24%
<i>Biogas Industrie</i>	213.2	0.32%	0.31%	0.37%
<i>Biomasse KVA</i>	1'173.1	1.73%	1.34%	0.00%
<i>Geothermie</i>	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
Nicht erneuerbare Energien	25'058.9	37.05%	18.63%	0.00%
Kernenergie	24'414.0	36.10%	18.37%	0.00%
<i>Druckwasserreaktor</i>	13'652.0	20.19%	10.27%	0.00%
<i>Siedewasserreaktor</i>	10'762.0	15.91%	8.10%	0.00%
Fossile Energieträger	644.9	0.95%	0.26%	0.00%
<i>Erdöl</i>	19.9	0.03%	0.02%	0.00%
<i>Erdgas</i>	625.0	0.92%	0.23%	0.00%
<i>Steinkohle</i>	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
<i>Braunkohle</i>	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
Abfälle	1'254.9	1.86%	1.01%	0.00%
Nicht überprüfbare Energieträger	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
Strombedarf Pumpenstrom	0.0	0.00%	-6.43%	0.00%
Import	0.0	0.00%	25.94%	1.06%
Erneuerbare Energien	0.0	0.00%	17.69%	1.06%
Wasserkraft	0.0	0.00%	16.95%	0.00%
<i>Laufwasserkraft</i>	0.0	0.00%	14.24%	0.00%
<i>Speicherwasserkraft</i>	0.0	0.00%	2.71%	0.00%
<i>Kleinwasserkraft</i>	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
Andere erneuerbare Energien	0.0	0.00%	0.73%	1.06%
<i>Sonne</i>	0.0	0.00%	0.01%	0.00%
<i>Wind</i>	0.0	0.00%	0.40%	1.06%
<i>Holz</i>	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
<i>Biogas Industrie</i>	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
<i>Biomasse KVA</i>	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
<i>Geothermie</i>	0.0	0.00%	0.32%	0.00%
Nicht erneuerbare Energien	0.0	0.00%	1.60%	0.00%
Kernenergie	0.0	0.00%	0.03%	0.00%
<i>Druckwasserreaktor</i>	0.0	0.00%	0.03%	0.00%
<i>Siedewasserreaktor</i>	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
Fossile Energieträger	0.0	0.00%	1.56%	0.00%
<i>Erdöl</i>	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
<i>Erdgas</i>	0.0	0.00%	0.46%	0.00%
<i>Steinkohle</i>	0.0	0.00%	1.11%	0.00%
<i>Braunkohle</i>	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
Abfälle	0.0	0.00%	0.00%	0.00%
Nicht überprüfbare Energieträger	0.0	0.00%	6.65%	0.00%
Total	67'633.0	100.00%	100.00%	100.00%

5 Umweltkennwerte der Stromerzeugung

5.1 Einführung

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Umweltkennwerte von Strom erzeugt mit verschiedenen Kraftwerkstechnologien beschrieben. Eine Liste mit den für die verschiedenen Technologien verwendeten Datensätzen des UVEK Ökobilanzdatenbestandes DQRv2:2018 (KBOB et al. 2018) ist im Anhang B präsentiert. Die Umweltkennwerte beziehen sich auf 1 kWh Strom ab Kraftwerksklemme. Die Umweltauswirkungen von Stromtransport und -verteilung sind einzeln aufgeführt. Die dabei auftretenden Verluste sind in den Umweltkennwerten nicht enthalten.

5.2 Treibhausgasemissionen

Zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen der Stromproduktion werden die aktuellsten Treibhauspotenziale gemäss IPCC (2013) verwendet (siehe Tab. C 1). Die Emissionen der unter dem Kyoto-Protokoll regulierten Treibhausgase werden mit dem Treibhauspotenzial (global warming potential, GWP) über einen Zeitraum von 100 Jahren gewichtet und summiert. Die verwendeten Treibhauspotenziale sind in Anhang C dokumentiert. Die spezifischen Treibhausgasemissionen der verschiedenen Technologien werden in Tab. 5.1 aufgeführt. Es wird zwischen den Emissionen über die gesamte Produktionskette und den Emissionen direkt aus dem Kraftwerk unterschieden. Es gilt zu beachten, dass die Gesamtemissionen die direkten Emissionen aus der Stromproduktion einschliessen.

Bezogen auf eine kWh produzierten Strom ist die Herstellung aus Braunkohle (1'220 g CO₂-eq/kWh) die Technologie mit den höchsten Treibhausgasemissionen. Strom aus schweizerischen Laufwasserkraftwerken verursacht mit 3.8 g CO₂-eq/kWh die tiefsten Treibhausgasemissionen, wenn die gesamte Produktionskette betrachtet wird.

Viele der aufgeführten Technologien verursachen keine direkten Treibhausgasemissionen, das heisst keine Emissionen aus dem Kraftwerk. Dies betrifft vor allem die erneuerbaren Energien sowie die Kernenergie. Deren Treibhausgasemissionen stammen hauptsächlich aus den Vorketten. Ausnahmen bilden die Lauf- und Speicherwasserkraftwerke, aus deren Speicherseen Methan emittiert wird. Die Methanemissionen aus den Speicherseen der Speicherwasserkraftwerke sind sehr gering und daher in Tab. 5.1 nicht ersichtlich. Anlagen, die mit landwirtschaftlichem Biogas betrieben werden, weisen fossile Kohlendioxidemissionen auf, da in den Motoren auch (fossiler) Diesel verbrannt wird.

Der Unterschied zwischen der nicht-zertifizierten (8.3 g CO₂-eq/kWh) und der zertifizierten (5.5 g CO₂-eq/kWh) Speicherwasserkraft besteht darin, dass bei letzterer nur die Nettostromproduktion angegeben werden darf, weshalb der Bedarf an Pumpenstrom (und dessen Emissionen) aus der Bilanz fällt.

Der Elektrizität aus Abfällen werden keine Treibhausgasemissionen zugeordnet, da die gesamten Umweltauswirkungen der Abfallentsorgung angerechnet werden. Bei der Analyse nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars (siehe Kapitel 8) werden die direkten Emissionen vollständig der Energieerzeugung zugewiesen.

Die Treibhausgasemissionen des Schweizer Residualmixes 2018 (Beschreibung und Sachbilanz siehe Anhang A) sind rund 60 % tiefer als diejenigen des europäischen Residualmixes EAM, welcher 2014 ermittelt und seither verwendet wurde. Der europäische Residualmix 2014 bestand fast ausschliesslich aus nicht erneuerbaren Energieträgern (über 99 %), wovon über 57 % fossile Energieträger waren, welche hohe Treibhausgasemissionen verursachen. Im Gegensatz dazu besteht der Schweizer Residualmix 2018 aus 57 % Kernenergie, 29 % Strom von fossilen Energieträgern und 14 % erneuerbarer Energie (siehe Anhang A).

Die Treibhausgasemissionen von Strom ab Pumpspeicherkraftwerken haben im Vergleich zu 2014 um 60 % abgenommen. Dabei werden über 93 % der Treibhausgasemissionen durch den Strombedarf (Verbraucher-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen) verursacht. Durch die tieferen Treibhausgasemissionen des HKN-Verbraucher-Strommixes im Jahr 2018 gegenüber 2014 (siehe Vergleich in Kapitel 9) sanken auch die Treibhausgasemissionen der Pumpspeicherkraftwerke.

Die Treibhausgasemissionen von Strom ab einer Photovoltaikanlage im In- und Ausland (Deutschland), haben im Vergleich zu 2014 um 48 % bzw. 56 % abgenommen. Die Gründe für diese Veränderungen sind auf die Aktualisierung und Überarbeitung der Photovoltaik-Sachbilanzen zurückzuführen (Frischknecht et al. 2020b). Dabei tragen insbesondere die Überarbeitung der Sachbilanzdaten der Lieferketten, des Materialbedarfs von kristallinen Silizium Solarzellen und die Aktualisierung der Moduleffizienz der verschiedenen Photovoltaiktechnologien zur Reduktion bei.

Die Treibhausgasemissionen von ausländischen Speicherwasserkraften haben gegenüber 2014 um 177% zugenommen. Dies wird dadurch verursacht, dass CO₂-Emissionen verursacht durch Landnutzungswandel neu berücksichtigt werden.

Bei den übrigen Technologien zur Stromproduktion sind nur geringfügige Veränderungen der Treibhausgasemissionen festzustellen.

Bei den fossilen Kraftwerken fallen die Unterschiede zwischen inländischen und ausländischen Kraftwerken auf. Im Inland werden hauptsächlich Wärmekraftkopplungsanlagen (Diesel beziehungsweise Erdgas) eingesetzt. Im Ausland sind es Grosskraftwerke, die hauptsächlich mit Kohle und Erdgas betrieben werden.

Tab. 5.1 Treibhausgasemissionen der verschiedenen Technologien in g CO₂-eq unterschieden nach der gesamten Produktionskette und den direkten Emissionen aus dem Kraftwerk (für Inlandproduktion). Die Angaben beziehen sich auf 1 kWh produzierten Strom (ab Klemme Kraftwerk). Eine Tabelle der verwendeten Datensätze des UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2018 (KBOB et al. 2018) befindet sich in Anhang B.

Technologie	Gesamte Produktionskette	Direkte Emissionen
Einheit	g CO ₂ -eq/kWh	g CO ₂ -eq/kWh
Inlandproduktion		
Erneuerbare Energien		
Wasserkraft		
<i>Laufwasserkraft</i>	3.8	0.0
<i>Speicherwasserkraft</i>	8.3	0.0
<i>Speicherwasserkraft (zertifiziert)</i>	5.5	0.0
<i>Kleinwasserkraft</i>	4.9	0.0
<i>Pumpspeicherkraft</i>	85.3	0.0
Andere erneuerbare Energien		
<i>Sonne</i>	41.7	0.0
<i>Wind</i>	17.3	0.0
<i>Holz</i>	46.9	11.5
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	153.5	12.7
<i>Biogas Industrie</i>	356.9	30.1
<i>Biomasse KVA</i>	0.0	54.8
<i>Geothermie</i>	11.3	0.0
Nicht erneuerbare Energien		
Kernenergie		
<i>Druckwasserreaktor</i>	14.2	0.0
<i>Siedewasserreaktor</i>	15.9	0.0
Fossile Energieträger		
<i>Erdöl</i>	771.3	595.2
<i>Erdgas</i>	613.7	491.8
<i>Steinkohle</i>	771.3	595.2
Abfälle	0.0	700.5
Importe		
Erneuerbare Energien		
Wasserkraft		
<i>Laufwasserkraft</i>	4.0	
<i>Speicherwasserkraft</i>	16.9	
<i>Kleinwasserkraft</i>	4.9	
Andere erneuerbare Energien		
<i>Sonne</i>	44.1	
<i>Wind</i>	11.3	
<i>Holz</i>	40.5	
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	153.5	
<i>Biogas Industrie</i>	356.9	
<i>Biomasse KVA</i>	0.0	
<i>Geothermie</i>	11.3	
Nicht erneuerbare Energien		
Kernenergie		
<i>Druckwasserreaktor</i>	6.2	
Fossile Energieträger		
<i>Erdöl</i>	962.9	
<i>Erdgas</i>	664.2	
<i>Steinkohle</i>	1'107.9	
<i>Braunkohle</i>	1'220.7	
Abfälle	0.0	
Nicht überprüfbare Energieträger (Residualmix)	261.5	0.0
Stromverteilung (ohne Verluste)	7.0	

5.3 Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf wird nach der Methode von Frischknecht et al. (2007b, Frischknecht et al. 2015) für die einzelnen Technologien der Stromproduktion bestimmt. Es wird unterschieden zwischen nicht erneuerbarem und erneuerbarem Primärenergiebedarf (Tab. 5.2).

Strom aus Kernkraftwerken weist mit 3.7–3.8 kWh Öl-eq/kWh den höchsten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf auf. Fossile Kraftwerke (2.7–3.5 kWh Öl-eq/kWh) haben einen leicht tieferen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf von Wasserkraftwerken (ohne Pumpspeicherkraftwerke) liegt zwischen 0.0 und 0.1 kWh Öl-eq/kWh, während jener von Pumpspeicherkraftwerken bei 1.8 kWh Öl-eq/kWh liegt. Strom aus Fotovoltaikanlagen und Windkraftwerken hat einen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von 0.1–0.2 bzw. 0.1 kWh Öl-eq/kWh. Die Stromproduktion aus industriellem Biogas verursacht einen relativ hohen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von 0.6 kWh Öl-eq/kWh. Grund dafür ist die aufwändige Reinigung eines Teils des Biogases, welches vor der Verstromung in das Erdgasnetz eingespeist wird.

Der erneuerbare Primärenergiebedarf von Strom aus fossilen und nuklearen Kraftwerken ist vernachlässigbar. Strom auf Basis erneuerbarer Energien verursacht einen erneuerbaren Primärenergiebedarf von zwischen 1.0 und 1.1 kWh Öl-eq/kWh (Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik), von 3.3 kWh Öl-eq/kWh (Holzkraftwerke) beziehungsweise unter 0.0–0.1 kWh Öl-eq/kWh (Biogaskraftwerke). Bei den Holzkraftwerken führt der thermische Wirkungsgrad zum verhältnismässig hohen Primärenergiebedarf. Bei den Biogaskraftwerken wird der Energieinhalt des Biogases nicht dem erneuerbaren Primärenergiebedarf angerechnet, da es sich um ein Abfallprodukt handelt.

Der Primärenergiebedarf von Elektrizität aus Kehrichtverbrennungsanlagen ist 0.0 kWh Öl-eq/kWh, da der Energieinhalt des Abfalls nicht angerechnet wird. Der Primärenergiebedarf wird den zu Abfall gewordenen Produkten zugeordnet.

Tab. 5.2 Nicht erneuerbarer, erneuerbarer und gesamter kumulierter Primärenergiebedarf der verschiedenen Technologien der Stromproduktion in kWh Öl-eq. Die Angaben beziehen sich auf 1 kWh produzierten Strom (ab Klemme Kraftwerk). Eine Tabelle der verwendeten Datensätze des UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2018 (KBOB et al. 2018) befindet sich in Anhang B.

Technologie	Primärenergiebedarf gesamt	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Primärenergiebedarf erneuerbar
Einheit	kWh Öl-eq/kWh	kWh Öl-eq/kWh	kWh Öl-eq/kWh
Inlandproduktion			
Erneuerbare Energien			
Wasserkraft			
<i>Laufwasserkraft</i>	1.1	0.0	1.1
<i>Speicherwasserkraft</i>	1.2	0.1	1.1
<i>Speicherwasserkraft (zertifiziert)</i>	1.1	0.0	1.1
<i>Kleinwasserkraft</i>	1.1	0.0	1.1
<i>Pumpspeicherkraft</i>	2.8	1.8	1.0
Andere erneuerbare Energien			
<i>Sonne</i>	1.2	0.1	1.1
<i>Wind</i>	1.2	0.1	1.1
<i>Holz</i>	3.5	0.2	3.3
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	0.1	0.1	0.0
<i>Biogas Industrie</i>	0.7	0.6	0.1
<i>Biomasse KVA</i>	0.0	0.0	0.0
<i>Geothermie</i>	1.1	0.0	1.1
Nicht erneuerbare Energien			
Kernenergie			
<i>Druckwasserreaktor</i>	3.9	3.8	0.0
<i>Siedwasserreaktor</i>	3.7	3.7	0.0
Fossile Energieträger			
<i>Erdöl</i>	2.9	2.9	0.0
<i>Erdgas</i>	2.7	2.7	0.0
<i>Steinkohle</i>	2.9	2.9	0.0
Abfälle	0.0	0.0	0.0
Importe			
Erneuerbare Energien			
Wasserkraft			
<i>Laufwasserkraft</i>	1.1	0.0	1.1
<i>Speicherwasserkraft</i>	1.1	0.0	1.1
<i>Kleinwasserkraft</i>	1.1	0.0	1.1
Andere erneuerbare Energien			
<i>Sonne</i>	1.2	0.2	1.1
<i>Wind</i>	1.1	0.0	1.1
<i>Holz</i>	3.4	0.2	3.3
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	0.1	0.1	0.0
<i>Biogas Industrie</i>	0.7	0.6	0.1
<i>Biomasse KVA</i>	0.0	0.0	0.0
<i>Geothermie</i>	1.1	0.0	1.1
Nicht erneuerbare Energien			
Kernenergie			
<i>Druckwasserreaktor</i>	3.7	3.7	0.0
Fossile Energieträger			
<i>Erdöl</i>	3.4	3.4	0.0
<i>Erdgas</i>	3.0	3.0	0.0
<i>Steinkohle</i>	3.5	3.5	0.0
<i>Braunkohle</i>	3.6	3.5	0.0
Abfälle	0.0	0.0	0.0
Nicht überprüfbare Energieträger (Residualmix)	3.1	3.0	0.2
Stromverteilung (ohne Verluste)	0.0	0.0	0.0

5.4 Gesamtumweltbelastung

Der Indikator Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) berücksichtigt alle politisch regulierten Schadstoffemissionen und Ressourcenverbräuche und wird in Umweltbelastungspunkten (UBP) ausgedrückt. Die Gesamtumweltbelastung der verschiedenen Technologien der Stromproduktion pro kWh Strom ist in Tab. 5.3 aufgelistet.

Ausländische Elektrizität aus Ölkraftwerken weist die mit Abstand höchste Gesamtumweltbelastung (907 UB/kWh) auf. Auch die Stromproduktion in europäischen Stein- und Braunkohlekraftwerken verursacht mit 658 bzw. 687 UB/kWh eine hohe Gesamtumweltbelastung. Strom aus europäischen Gaskraftwerken weist mit 407 UB/kWh eine deutlich tiefere Umweltbelastung auf als die anderen fossilen Technologien. Die Stromproduktion in Schweizer Kernkraftwerken verursacht eine Gesamtumweltbelastung von 367–392 UB/kWh.

Die erneuerbaren Technologien der Stromerzeugung sind deutlich umweltfreundlicher als nicht erneuerbare Alternativen. Strom aus Pumpspeicherkraftwerken, Biogas und Holz weist mit Werten zwischen 175 und 293 UB/kWh eine vergleichsweise hohe Umweltbelastung auf. Wasserkraftwerke verursachen mit weniger als 20 UB/kWh die tiefste Umweltbelastung unter den betrachteten Technologien der Stromerzeugung.

Strom auf Basis nicht überprüfbarer Energieträger verursacht mit 454 UB/kWh eine deutlich tiefere Umweltbelastung als bisher. Bisher wurde diese Kategorie mit dem europäischen Residualmix EAM modelliert. Neu liegt der Schweizer Residualmix (siehe auch Anhang A) zugrunde.

Die Umweltbelastung von Elektrizität aus Kehrichtverbrennungsanlagen ist 0 UB/kWh, da die gesamten Umweltauswirkungen von Abfall und dessen Verbrennung der Abfallentsorgung angerechnet werden. Im Gegensatz dazu werden in der Bilanzierung gemäss Treibhausgasinventar (siehe Kapitel 8) die Treibhausgas-Emissionen zu 100 % der Energieproduktion angerechnet.

Tab. 5.3 Gesamtumweltbelastung der verschiedenen Technologien der Stromproduktion nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 in UBP (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013). Die Angaben beziehen sich auf 1 kWh produzierten Strom (ab Klemme Kraftwerk). Eine Tabelle der verwendeten Datensätze des UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2018 (KBOB et al. 2018) befindet sich in Anhang B.

Technologie	Gesamtumweltbelastung Methode der ökologischen Knappheit 2013
Einheit	UBP/kWh
Inlandproduktion	
Erneuerbare Energien	
Wasserkraft	
<i>Laufwasserkraft</i>	9.6
<i>Speicherwasserkraft</i>	18.6
<i>Speicherwasserkraft (zertifiziert)</i>	10.8
<i>Kleinwasserkraft</i>	11.6
<i>Pumpspeicherkraft</i>	230.5
Andere erneuerbare Energien	
<i>Sonne</i>	67.6
<i>Wind</i>	37.5
<i>Holz</i>	201.6
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	174.9
<i>Biogas Industrie</i>	292.6
<i>Biomasse KVA</i>	0.0
<i>Geothermie</i>	24.9
Nicht erneuerbare Energien	
Kernenergie	
<i>Druckwasserreaktor</i>	368.8
<i>Siedewasserreaktor</i>	391.6
Fossile Energieträger	
<i>Erdöl</i>	562.7
<i>Erdgas</i>	378.6
<i>Steinkohle</i>	562.7
Abfälle	0.0
Importe	
Erneuerbare Energien	
Wasserkraft	
<i>Laufwasserkraft</i>	9.9
<i>Speicherwasserkraft</i>	24.1
<i>Kleinwasserkraft</i>	11.5
Andere erneuerbare Energien	
<i>Sonne</i>	71.5
<i>Wind</i>	24.9
<i>Holz</i>	262.2
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	174.9
<i>Biogas Industrie</i>	292.6
<i>Biomasse KVA</i>	0.0
<i>Geothermie</i>	24.9
Nicht erneuerbare Energien	
Kernenergie	
<i>Druckwasserreaktor</i>	565.1
Fossile Energieträger	
<i>Erdöl</i>	907.2
<i>Erdgas</i>	406.6
<i>Steinkohle</i>	657.9
<i>Braunkohle</i>	686.8
Abfälle	0.0
Nicht überprüfbare Energieträger (Residualmix)	453.7
Stromverteilung (ohne Verluste)	31.7

6 Umweltkennwerte der Schweizer Strommixe

6.1 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen pro kWh an eine Niederspannungs-Steckdose gelieferten Strom sind in Fig. 6.1 für den Schweizer Produktions- und die beiden HKN-Strommixe aufgeteilt nach den einzelnen Technologien zur Stromerzeugung dargestellt.

Es zeigen sich deutliche Unterschiede in der Treibhausgasintensität der Schweizer Strommixe. Die Treibhausgasemissionen für das Stromprodukt aus erneuerbaren Energien betragen 15.7 g CO₂-eq/kWh und für den Schweizer Produktionsmix 29.6 g CO₂-eq/kWh. Die Treibhausgasemissionen des Schweizer Lieferanten-Strommixes basierend auf HKN sind mit 54.7 g CO₂-eq/kWh deutlich höher.

Die erhöhten Treibhausgasemissionen des HKN-Lieferanten-Strommixes stammen hauptsächlich aus dem Import von Strom unbekannter Herkunft, aber auch aus den bekannten Importen aus fossil-thermischen Kraftwerken. Der Strom aus nicht überprüf- baren Energieträgern (Schweizer Residualmix) verursacht 31.8 % und der Strom aus fossil-thermischen Kraftwerken 28.0 % der Treibhausgasemissionen des HKN-Lieferanten-Strommixes.

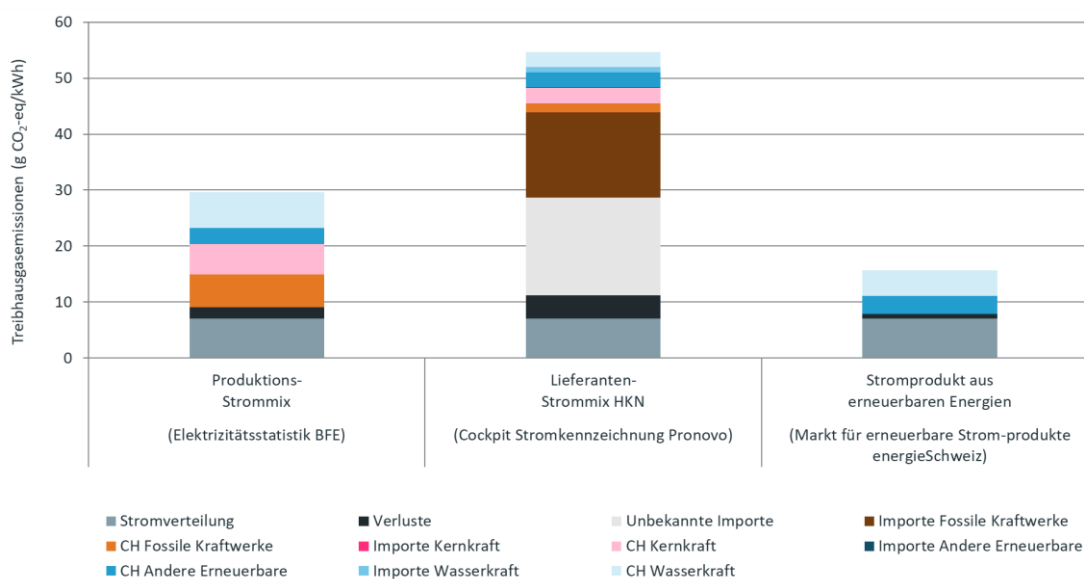


Fig. 6.1 Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommixe in g CO₂-eq pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung (jeweils weiter unterteilt in Inlandproduktion und Importe) und der Stromverteilung. Die unbekanntenen Importe werden mit dem Schweizer Residualmix modelliert. Die Zahlen und Anteile zu den Treibhausgasemissionen sind in Tab. D 1 und Tab. D 2 im Anhang aufgeführt.

Die Stromverteilung verursacht 7.0 g CO₂-eq/kWh, was einem Anteil von zwischen 12.9 % (HKN-Lieferanten-Strommix) und 44.9 % (durchschnittliches Stromprodukt aus erneuerbaren Energien) der gesamten Treibhausgasemissionen entspricht. Bei der Strom-

verteilung stammen ungefähr 40 % der Treibhausgasemissionen aus den direkten Emissionen von Substanzen mit hohem Treibhauspotenzial (Schwefelhexafluorid und Lachgas) während des Betriebs. Die restlichen 60 % der Treibhausgasemissionen stammen aus der Bereitstellung der Stromnetzinfrastruktur.

6.2 Primärenergiebedarf

Der nicht erneuerbare und erneuerbare kumulierte Primärenergiebedarf pro kWh Strom der Schweizer Strommixe ist in Fig. 6.2 dargestellt. Der Produktions- und der HKN-Lieferanten-Strommix verursachen einen nicht erneuerbaren kumulierten Primärenergiebedarf von 1.7 und 1.1 kWh Öl-eq/kWh. Das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien weist einen deutlich tieferen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von 0.04 kWh Öl-eq/kWh auf.

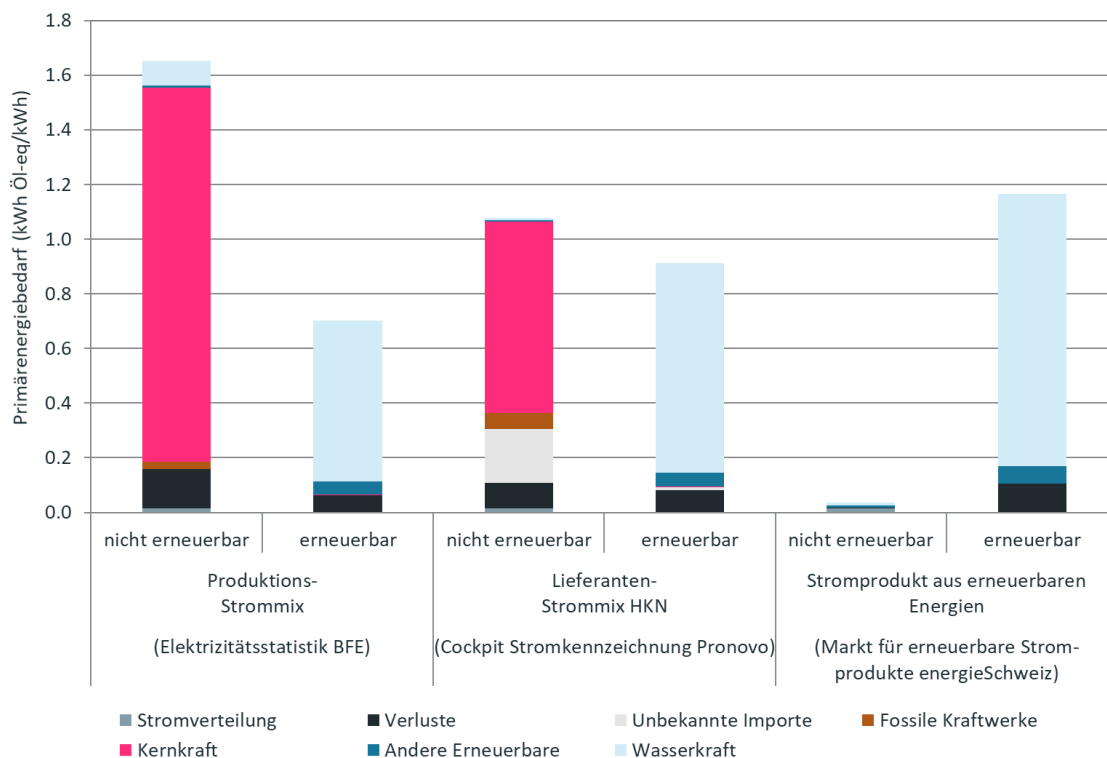


Fig. 6.2 Erneuerbare und nicht erneuerbare kumulierter Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in kWh Öl-eq pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekannt Importe werden mit dem Schweizer Residualmix modelliert. Die Zahlen zu dem erneuerbaren und nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf sind in Tab. E 1 bis Tab. E 4 im Anhang aufgeführt.

Im Produktions- und im HKN-Lieferanten-Strommix trägt die Kernkraft über 60 % zum nicht erneuerbaren kumulierten Primärenergieaufwand bei. Verantwortlich für diesen hohen Anteil sind der hohe spezifische Primärenergiebedarf von Strom aus Kernenergie (3.7 bis 3.8 kWh Öl-eq/kWh; Unterkapitel 5.3) und die Bedeutung der Kernkraft in den beiden Strommixen, die zwischen 10 und 18 % zum Strommix beiträgt (Tab. 4.8). Der

nicht erneuerbare Primärenergiebedarf von Strom aus Wasserkraftwerken und anderen erneuerbaren Energien ist sehr tief. Aus diesem Grund weist das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien einen sehr geringen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf auf, der vor allem durch die Stromverteilung verursacht wird.

Für den HKN-Lieferanten-Strommix sind die Stromimporte aus nicht überprüfaren Energieträgern (Schweizer Residualmix) von Bedeutung. Diese tragen 18.3 % zum nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf des HKN-Lieferanten-Strommixes bei.

Die Beiträge der übrigen Technologien und der Stromverteilung zum nicht erneuerbaren kumulierten Primärenergiebedarf sind für die Schweizer Strommixe gering. Auch fossile Energien haben einen relativ unbedeutenden Anteil am nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf des Produktions- und des HKN-Lieferanten-Strommixes.

Der erneuerbare Primärenergiebedarf beträgt 0.7, 0.9, und 1.2 kWh Öl-eq/kWh Strom für den Produktions-Strommix, den HKN-Lieferanten-Strommix und das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien (Fig. 6.2).

Der erneuerbare Primärenergiebedarf wird bei allen Strommixen überwiegend durch die Stromproduktion aus Wasserkraft verursacht. Das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien weist mit einem Anteil von über 85.4 % an Wasserkraft den höchsten erneuerbaren Primärenergiebedarf (1.2 kWh Öl-eq/kWh) auf.

6.3 Gesamtumweltbelastung

Die Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) der drei Schweizer Strommixe ist in Fig. 6.3 aufgeteilt nach den Technologien der Stromproduktion und der Stromverteilung dargestellt. Das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien verursacht mit 48 UBP/kWh klar die geringste Gesamtumweltbelastung unter den Schweizer Strommixen. Der Produktions-Strommix hat eine spezifische Gesamtumweltbelastung von 208 UBP/kWh, während der HKN-Lieferanten-Strommix 165 UBP/kWh aufweist.

Aus Fig. 6.3 wird deutlich, dass die Gesamtumweltbelastung von Strom aus Wasserkraftwerken und anderen erneuerbaren Energien gering ist. Hingegen sind Kernkraftwerke mit 65.7 % und 42.1 % hauptverantwortlich für die Umweltbelastung des Produktions- und des HKN-Lieferanten-Strommixes.

Für den HKN-Lieferanten-Strommix ist Strom aus nicht überprüfaren Energieträgern (Schweizer Residualmix) mit einem Anteil von 18.2 % an der spezifischen Gesamtumweltbelastung von Bedeutung. Der Strom aus fossil-thermischen Kraftwerken verursacht 5.5 % der Umweltbelastung des HKN-Lieferanten-Verbraucher-Strommixes.

Die Stromverteilung verursacht eine spezifische Gesamtumweltbelastung von 32 UBP/kWh und trägt somit zwischen 15.2 % (Produktions-Strommix) und 66.3 % (durchschnittliches Stromprodukt aus erneuerbaren Energien) zum Gesamtergebnis bei.

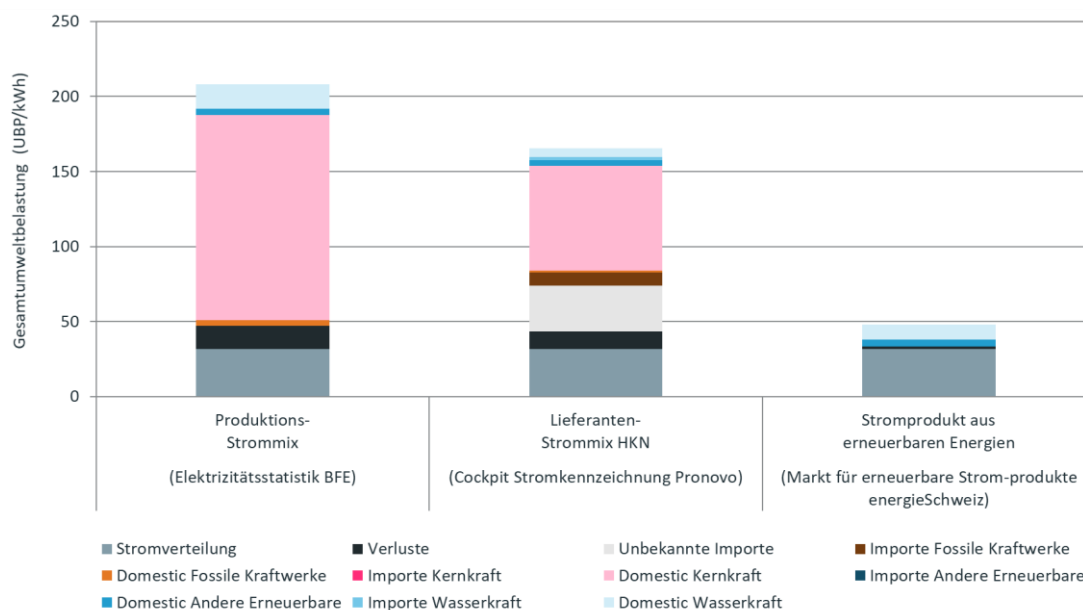


Fig. 6.3 Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 der Schweizer Strommixe in UBP pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekanntenen Importe werden mit dem Schweizer Residualmix modelliert. Die Zahlen und Anteile zur Gesamtumweltbelastung sind in Tab. F 1 und Tab. F 2 im Anhang aufgeführt.

7 Verbraucher-Strommix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel

7.1 Modellierung und Zusammensetzung des Strommix

In einem Forschungsprojekt des Bundesamts für Energie (Frischknecht et al. 2020a) wurde der Versorgungsmix der Schweiz basierend auf der Inlandproduktion und dem kommerziellen Handel ermittelt. Zunächst wurde für jede Stunde im Jahr die im Inland produzierte und den inländischen Verbrauchern zur Verfügung stehende Strommenge ermittelt, indem das kommerzielle (nicht das physische) Exportvolumen vom Produktionsvolumen abgezogen wurde. Dieser Strommenge wurde der stündliche inländische Produktionsmix zugeordnet. Die kommerziellen Importe aus den Nachbarländern Deutschland, Frankreich, Italien und Österreich wurden mit den jeweiligen nationalen stündlichen Produktionsmischen dieser Länder modelliert.

Dieser Versorgungsmix repräsentiert den Technologiemitmix der Produktion der Strommengen, die von Schweizer Stromversorgungsunternehmen und von Unternehmen mit Zugang zum liberalisierten Strommarkt im Jahr 2018 eingekauft wurde.

Die Technologieanteile unterscheiden sich deutlich von denjenigen des Schweizer Lieferantenmix basierend auf Herkunftsnachweisen (siehe Tab. 7.1): Die Anteile Kernenergie

und fossile Kraftwerke sind mit knapp 40 % beziehungsweise rund 10 % deutlich höher, der Wasserkraftanteil mit 35 % deutlich tiefer.

Tab. 7.1 Verbaucherstrommix Schweiz 2018 basierend auf der Integration der Stundenwerte von Produktion und kommerziellem Handel (zusammenfassende Darstellung), gemäss Frischknecht et al. 2020 (2020a)

Technologie	Anteile	davon Inland
Braunkohle	2.6%	0.0%
Steinkohle	2.3%	0.0%
Erdgas	4.1%	0.0%
übrige Fossile	1.1%	0.5%
Kernenergie	39.9%	19.6%
Pumpspeicherkraftwerke	3.2%	2.1%
Biomasse	2.8%	1.5%
Wasserkraft	34.9%	28.5%
Windkraft	4.9%	0.1%
Photovoltaik	3.0%	1.7%
Abfall	1.3%	0.9%
Total	100.0%	55.0%

7.2 Umweltkennwerte

Die spezifischen Treibhausgasemissionen liegen bei 128 g CO₂-eq/kWh und damit rund 130 % höher als diejenigen des Schweizer Lieferantenmixes basierend auf Herkunftsnachweisen 2018 (siehe Fig. 7.1).

Der Schweizer Versorgungsmix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel verbraucht knapp 2.1 kWh Öl-eq nicht erneuerbare und knapp 0.6 kWh Öl-eq erneuerbare Primärenergie pro kWh.

Der Versorgungsmix basierend auf Produktion und kommerziellem Handel verursacht eine Gesamtweltbelastung in der Höhe von 324 UBP pro kWh, also knapp doppelt soviel wie der Schweizer Lieferantenmix basierend auf Herkunftsnachweisen 2018.

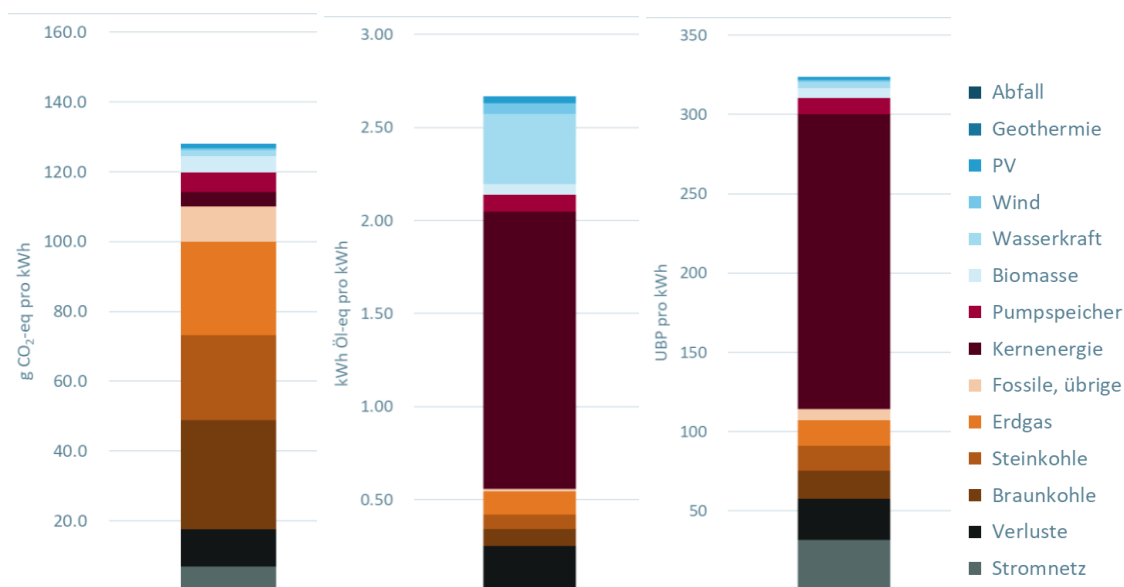


Fig. 7.1 Umweltkennwerte (links: Treibhausgasemissionen, mitte: Primärenergiebedarf nicht erneuerbar, rechts: Gesamtumweltbelastung) des Schweizer Verbrauchermixes basierend auf Produktion und kommerziellem Handel 2018 (Frischknecht et al. 2020a).

7.3 Mögliche Auswirkungen

7.3.1 Gebäudebilanzierung Schweiz

In Gebäude-Ökobilanzen gemäss SIA 2040 wurde bisher der Schweizer Verbrauchermix basierend auf Herkunftsnachweisen eingesetzt. Der HKN-Verbrauchermix hätte aber zur Folge, dass bei fortschreitender Zunahme des Anteils Wasserkraft-HKN die spezifische Umweltbelastung und die spezifischen Treibhausgasemissionen des HKN-Verbrauchermix weiter sinken, so dass die Eigenerzeugung von Strom mit gebäudeintegrierter Photovoltaik an Attraktivität und die Energiestrategie 2050 einen Treiber verlöre. Deshalb wird der Verbrauchermix für Gebäude-Ökobilanzen neu basierend auf Produktion und kommerziellem Handel berechnet.

7.3.2 Energiestrategie 2050 und Energieperspektiven 2050+

In der Stromkennzeichnung⁶ der Schweizer Energieversorgungsunternehmen (EVU) sind ausländische erneuerbare HKN anrechenbar. Das EVU muss nicht in die Anlagen investiert sein, von denen es die HKN bezieht. Die tiefen Preise für europäische HKN schaffen keine Anreize, in die (lokale) Produktion von erneuerbarer Energie zu investieren.

Das aktuelle HKN-System dient der Information über die Qualität der Stromlieferung und nicht primär der Förderung von erneuerbaren Energien, was beispielsweise durch

⁶ www.stromkennzeichnung.ch, Zugriff am 3.3.2021

Investitionsbeiträge erfolgt. Mit der Revision des Stromversorgungsgesetzes ist ein sogenannter Green Default vorgesehen (BFE 2020). Dies bedeutet, dass das Standardprodukt für Haushalte und kleinere Betriebe (Jahresverbrauch unter 100'000 kWh), die in der Grundversorgung verbleiben wollen, ausschliesslich aus inländischen erneuerbaren Energien stammen muss. Damit könnte ein zusätzlicher Anreiz für den Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion in der Schweiz, wie er im aktuellen Energiegesetz und in den Szenarien der Energieperspektiven 2050+ vorgesehen ist, entstehen.

Gemäss aktuellem Energiegesetz sollen bis 2020 4'400 GWh und bis 2035 11'400 GWh Strom aus neuen erneuerbaren Energien erzeugt werden. Im Jahr 2019 wurden 4'186 GWh aus erneuerbaren Energien produziert (ohne Wasserkraft, Zunahme gegenüber 2018 von knapp 310 GWh). Davon stammten 1'170 GWh aus Kehrichtverbrennungsanlagen. Das Ziel 2020 könnte also erreicht werden. In den kommenden 15 Jahren sind die erneuerbaren Energien weiter auszubauen, um eine zusätzliche Jahresproduktion von 7'000 GWh zu erzielen.

Gemäss dem neuen Szenario «ZERO» der Energieperspektiven 2050+ (BFE (Hrsg) 2020)) ist eine Versorgung der Schweiz mit Strom aus 100 % erneuerbaren Energien möglich (Jahresbilanz). Der Stromverbrauch (abzüglich Pumpenstrombedarf) in der Schweiz liegt gemäss Basisszenario «ZERO» im 2050 bei 75.9 TWh (im Vergleich zu 61.5 TWh im Jahr 2019). Wasserkraftwerke sollen 44.7 TWh produzieren, wovon 7.6 TWh aus neuen Wasserkraftwerken (davon 7.1 TWh aus Pumpspeicherkraftwerken) stammen sollen. Gleichzeitig steigt der Pumpenstromverbrauch von 4.1 TWh auf 8.5 TWh. Die neuen erneuerbaren Energien produzieren 39.1 TWh, wovon 33.4 TWh aus Photovoltaikanlagen stammen, 4.3 TWh aus Windkraftanlagen und weitere 4.5 TWh mit anderen Technologien und Energieträgern erzeugt werden. 3 TWh gehen durch Abregelung verloren. Es verbleibt ein kleiner Anteil fossil erzeugten Stroms (1 TWh) und es resultiert ein geringer Exportüberschuss von 0.4 TWh.

7.3.3 Doppelte Anrechnung erneuerbaren Stroms in Ökobilanzen

Das HKN-System gemäss europäischer Richtlinie dient einzig dazu, einem Endkunden gegenüber aufzuzeigen, dass eine bestimmte Menge an Energie aus erneuerbaren Quellen produziert wurde. Der Handel der HKN ist nicht an den Handel der Energie geknüpft. Ein HKN beschränkt sich auf den «ökologischen Mehrwert» erneuerbarer Energie.

Norwegen zum Beispiel exportierte 2019 82 % der Wasserkraft-HKN. Entsprechend erhielt der Endkunde in Norwegen Strom gemäss Residualmix, abgeschätzt auf Basis von AIB (2019). Dieser setzt sich vor allem aus fossilen und Kernkraftwerken zusammen (Fig. 7.2). Die spezifischen Treibhausgasemissionen des norwegischen Strommix (HKN) lagen deshalb für das Jahr 2019 bei rund 400 g CO₂-eq/kWh, im Vergleich zu Treibhausgasemissionen des norwegischen Produktionsmix von rund 20 g CO₂-eq/kWh.

In Gebäudeökobilanzen setzen die Norweger gemäss der norwegischen Norm NS3720:2018 („Method for greenhouse gas calculations for buildings“) den norwegischen Produktionsmix 2015 bis 2075 (18 g CO₂-eq/kWh) ein. Bis anhin wurde für Gebäude-Ökobilanzen in der Schweiz der Verbrauchermix HKN verwendet (siehe Abschnitt 7.3.1). Die norwegische Wasserkraft wird somit zweimal verrechnet: einmal in den

norwegischen und ein zweites Mal in den Schweizer Gebäude-Ökobilanzen. Durch die Revision der Berechnung des Verbrauchermix in der Schweiz kann dieses Problem entschärft werden.

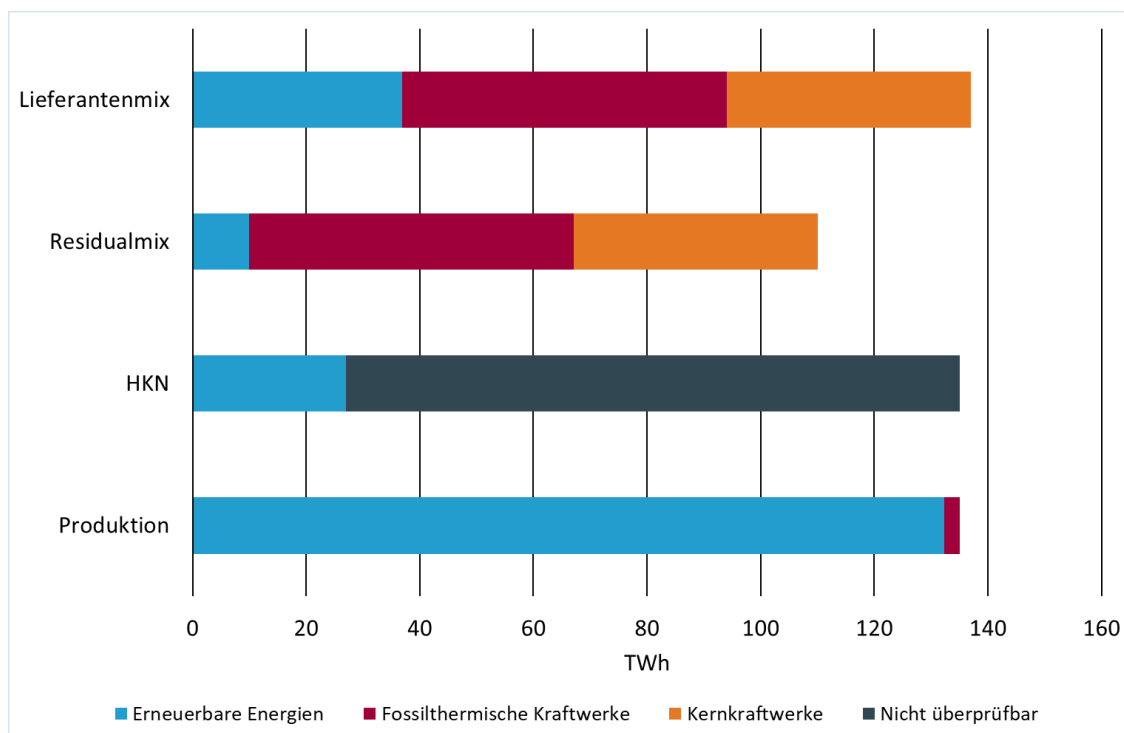


Fig. 7.2 Produktions-Strommix, HKN Qualitäten (nur für erneuerbare Energie sind HKN vorhanden, grauer Balken entspricht dem Residualmix, welcher nicht durch HKN abgedeckt ist), norwegischer Residualmix und Lieferanten-Strommix basierend auf HKN von Norwegen im Jahr 2019

7.4 Fazit

In der Schweiz herrscht eine grosse Nachfrage nach erneuerbarem Strom. Die europäischen Wasserkraft-HKN dienen zu einem beachtlichen Anteil dazu, Stromproduziert in Schweizer Kernkraftwerken und verbraucht in der Schweiz in der Stromkennzeichnung als erneuerbaren Strom auszuweisen. Der Lieferanten-Strommix gemäss Cockpit Stromkennzeichnung weist deshalb einen deutlich höheren erneuerbaren Anteil aus als der Verbrauchermix.

Da aktuell in der EU keine flächendeckende Volldeklarationspflicht vorliegt, gibt es auf dem europäischen Markt sehr günstige HKN. Dadurch ist der Kauf von ausländischen HKN wirtschaftlich vorteilhafter als der Ausbau der erneuerbaren Produktionskapazitäten in der Schweiz.

Die Einführung einer Volldeklarationspflicht in Europa, oder die Einschränkung, nur noch HKN aus Ländern mit Volldeklarationspflicht anzurechnen, könnte diese Fehlreize vermindern. Ebenso könnten Energieversorger und Kunden auf dem liberalisierten

Markt den Einkauf ihrer HKN auf Produktionsanlagen beschränken, für welche Kraftwerksbeteiligungen bestehen, oder gezielt Schweizer HKN für erneuerbaren Strom kaufen und somit die Nachfrage nach inländischer erneuerbarer Stromproduktion steigern.

8 Analyse des Lieferanten- und Produktions-Strommixes nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars

8.1 Motivation

Zusätzlich zur Gesamtbetrachtung in den Kapiteln 5 und 6 sollen die Umweltbelastungen des Produktions- und HKN-Lieferanten-Strommixes nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars analysiert werden. Gemäss den Vorgaben des UNFCCC werden im nationalen Treibhausgasinventar nur die territorialen und direkten Emissionen rapportiert (Bereich 1). Dies schliesst die Emissionen der gesamten Stromproduktion inklusive der Stromproduktion für den Export ein. Ausgeschlossen jedoch sind Emissionen, welche beispielsweise bei der Erstellung der Kraftwerke oder im Ausland verursacht werden. In der folgenden Analyse werden die Emissionen der Strommixe für die folgenden 4 Bereiche separat ausgewiesen: direkte und territoriale Emissionen (Bereich 1), die Emissionen des Stromexports (diese Emissionen sind in den Bereichen 1 und 4 enthalten und werden für den Lieferanten-Strommix basierend auf HKN separat ausgewiesen, Bereich 2), die Emissionen des Stromimports (diese Emissionen sind nur für den HKN-Lieferanten-Strommix relevant, Bereich 3) sowie die übrigen Emissionen (Bereich 4). Diese Unterteilung erfolgt sowohl für den Indikator Treibhausgasemissionen als auch für die Gesamtumweltbelastung (UBP) und den Primärenergiebedarf (KEA, kumulierter Energieaufwand). Die Summe der Bereiche 1 und 4 ergibt die in Kapitel 6 ermittelten Umweltkennwerte des Produktions-Strommixes und die Summe der Bereiche 1, 3 und 4 abzüglich den Emissionen der Stromproduktion für den Export (Bereich 2) ergibt die in Kapitel 6 ermittelten Umweltkennwerte des HKN-Lieferanten-Strommixes.

8.2 Vorgehen

In den folgenden Abschnitten wird die Unterteilung in die vier Bereiche beschrieben:

8.2.1 Bereich 1: direkte Emissionen der Schweizer Stromproduktion – Strommix gemäss Systemgrenzen des Treibhausgasinventars

Bereich 1 umfasst alle direkten Emissionen der Kraftwerke in der Schweiz ohne die vor- und nachgelagerten Prozesse wie beispielsweise die Erstellung der Kraftwerke zu berücksichtigen. Dieser Bereich entspricht der Systemgrenze des Treibhausgasinventars. Die Verluste der Stromübertragung und Verteilung werden dem Bereich 1 angerechnet d.h. für die Produktion 1 kWh Strom ab Netz müssen rund 1.1 kWh Strom im Kraftwerk produziert werden. Die Aufwendungen für den Bau des Stromnetzes und die Emissionen (SF₆, N₂O, Ozon) während des Betriebs des Stromnetzes sind im Bereich 4 verbucht. Für die einzelnen Kraftwerkstechnologien der beiden Strommixe werden die folgenden direkten Emissionen im Bereich 1 berücksichtigt:

- Wasserkraft: keine, die Methanemissionen werden im Treibhausgasinventar der Kategorie „Landnutzung, Landnutzungsänderungen und Forstwirtschaft“

angerechnet. Deshalb werden diese Emissionen dem Bereich 4 (übrige Emissionen) angerechnet.

- Kernenergie: keine (die sehr geringen direkten Emissionen der Notstrom-Dieselaggregate werden in dieser Analyse vernachlässigt)
- Diesel-/Erdgas-Blockheizkraftwerke: direkte Emissionen am Kamin
- Solaranlagen: keine
- Windkraft: keine
- Kehrlichtverbrennungsanlagen: im Unterschied zur Ökobilanz gemäss den Qualitätsanforderungen von ecoinvent (Frischknecht et al. 2007a) werden in der Analyse nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars die direkten Emissionen am Kamin der Kehrlichtverbrennungsanlagen der Stromproduktion angerechnet, wobei die Zuordnung zwischen der Dampf- und Stromproduktion entsprechend der Exergie der beiden Energieträger erfolgt. Die Exergie der Wärme beträgt bei einer Temperatur von 120°C im Fernwärmenetze (Doka 2005) und der Durchschnittsaussentemperatur von 8.4°C 0.4. Die Exergie von Strom ist 1.
- Holzkraftwerke: direkte Emissionen am Kamin
- Biogaskraftwerk: Methanschluß sowie die direkten Emissionen am Kamin
- Stromimport (Kraftwerke im Ausland): keine; die Emissionen welche durch den Stromimport im Ausland entstehen werden dem Bereich 3 angerechnet.
- Nicht überprüfbarer Anteil: keine; die Emissionen, welche durch den nicht überprüfbaren Anteil entstehen, werden dem Bereich 3 angerechnet.

8.2.2 Bereich 2: Emissionen des Stromexports

Bereich 2 umfasst die Emissionen, welche durch die Produktion von Exportstrom in der Schweiz entstehen. Sowohl die direkten Emissionen als auch die Emissionen der vor- und nachgelagerten Prozesse der Stromproduktion für den Export sind Teil der Bereiche 1 und 4. Die separate Aufführung dieser Emissionen wird für die Berechnung der Netto-Emissionen des HKN-Lieferanten-Strommixes benötigt. Die Emissionen des Bereichs 2 werden in der Schlussrechnung von den Emissionen der Bereiche 1 und 4 abgezogen.

8.2.3 Bereich 3: Emissionen des Stromimports

Bereich 3 umfasst die Emissionen, welche durch Erzeugung des Importstroms im Ausland entstehen. Bereich 3 umfasst nicht nur die direkten Emissionen sondern auch die vor- und nachgelagerten Prozesse der Stromproduktion im Ausland. Dies beinhaltet beispielsweise auch die Erstellung der Ausland-Kraftwerke. In der Berechnung der Netto-Emissionen des HKN-Lieferanten-Strommixes werden die Emissionen des Bereichs 3 zu den Emissionen der Bereiche 1 und 4 addiert.

8.2.4 Bereich 4: übrige Emissionen im In- und Ausland

Bereich 4 umfasst alle vor- und nachgelagerten Prozesse der Stromproduktion in der Schweiz. Enthalten ist in diesem Bereich:

- die Kraftwerkerstellung;
- die Verwendung von Hilfsmitteln im Kraftwerksbetrieb;
- die Stromübertragung, Verteilung (inklusive Stromnetz, die Verwendung von SF₆ in den Schaltanlagen, die SF₆-, N₂O- und Ozon-Emissionen);
- der Kraftwerksrückbau.

Zudem sind auch Methodik bedingte Korrekturen in diesem Bereich enthalten. Im Unterschied zur Ökobilanzbetrachtung werden dem Strom ab der Kehrlichtverbrennungsanlage mit den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars direkte Emissionen angerechnet (siehe Bereich 1, Abschnitt 8.2.1). Damit die Resultate der Ökobilanz und der Analyse nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars in der Summe dasselbe Total ergeben, werden die Emissionen der Kehrlichtverbrennungsanlage im Bereich 4 abgezogen.

Im Weiteren werden die Methan-Emissionen aus Schweizer Stauseen im Bereich 4 verbucht (siehe Abschnitt 8.2.1).

8.3 Umweltkennwerte der Stromerzeugung nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars

In der folgenden Tabelle (Tab. 8.1) werden die Umweltkennwerte der Stromerzeugung mit verschiedenen Kraftwerkstechnologien unterteilt in die Bereiche 1 und 4 präsentiert. Die Umweltkennwerte beziehen sich auf 1 kWh Strom ab Kraftwerksklemme. Die Umweltauswirkungen des Stromtransports und der Stromverteilung sind separat aufgeführt und im Bereich 4 verbucht. Die bei Stromtransport und -verteilung auftretenden Verluste sind in den Umweltkennwerten nicht enthalten.

Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf im Bereich 1 ist bei allen Technologien (mit Ausnahme von Biomasse KVA) Null, da die fossilen Energieträger und Uran im Ausland gewonnen werden. Wasserkraftwerke, Photovoltaikkraftwerke und Windkraftwerke ernten die erneuerbare Energie am Standort des Kraftwerks. Deshalb weisen diese drei Kraftwerkstechnologien einen erneuerbaren Primärenergiebedarf im Bereich 1 auf. Das Holzkraftwerk hingegen bezieht das Holz über eine Lieferkette. Die Holzernte findet also nicht am Standort des Kraftwerks statt. Deshalb wird bei Strom aus Holz im Bereich 1 kein erneuerbarer Primärenergiebedarf ausgewiesen.

Mit den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars werden dem Strom ab der Kehrlichtverbrennungsanlage direkte Emissionen im Bereich 1 angerechnet (siehe Bereich 1, Abschnitt 6.2.1). Diese Methodik bedingte Abweichung von der Ökobilanzbetrachtung wird im Bereich 4 korrigiert, indem dort die Emissionen in derselben Höhe aber mit negativem Vorzeichen verbucht werden. Die Umweltkennwerte der in einer KVA verbrannten

Biomasseabfälle basieren auf einer vereinfachenden Zusammensetzung der Biomasseabfälle mit zwei Dritteln biogenen Abfällen und einem Drittel Papier.

Tab. 8.1 Die Umweltkennwerte der inländischen Stromerzeugung mit den verschiedenen Technologien unterteilt in die Bereiche 1 und 4.

Technologie	Bereich 1				Bereich 4			
	THG-Emissionen g CO ₂ -eq/kWh	Primärenergie nicht erneuerbar kWh Öl-eq/kWh	Primärenergie erneuerbar kWh Öl-eq/kWh	Gesamtumwelt- belastung UBP/kWh	THG-Emissionen g CO ₂ -eq/kWh	Primärenergie nicht erneuerbar kWh Öl-eq/kWh	Primärenergie erneuerbar kWh Öl-eq/kWh	Gesamtumwelt- belastung UBP/kWh
Inlandproduktion								
Erneuerbare Energien								
Wasserkraft								
Laufwasserkraft	0.0	0.0	1.1	3.8	3.8	0.0	0.0	5.8
Speicherwasserkraft	0.0	0.0	1.1	3.8	8.3	0.1	0.0	14.8
Speicherwasserkraft (zertifiziert)	0.0	0.0	1.1	3.8	5.5	0.0	0.0	7.0
Kleinwasserkraft	0.0	0.0	1.1	3.8	4.9	0.0	0.0	7.8
Pumpspeicherkraft	0.0	0.0	0.0	0.0	85.3	1.8	1.0	230.5
Andere erneuerbare Energien								
Sonne	0.0	0.0	1.1	3.9	41.7	0.1	0.0	63.8
Wind	0.0	0.0	1.1	3.9	17.3	0.1	0.0	33.6
Holz	11.5	0.0	0.0	108.0	35.4	0.2	3.3	93.7
Biogas Landwirtschaft	12.7	0.0	0.0	16.3	140.8	0.1	0.0	158.6
Biogas Industrie	30.1	0.0	0.0	38.5	326.8	0.6	0.1	254.1
Biomasse KVA	54.8	0.1	0.0	132.6	-54.8	-0.1	0.0	-132.6
Geothermie	0.0	0.0	1.1	3.9	11.3	0.0	0.0	21.0
Nicht erneuerbare Energien								
Kernenergie								
Druckwasserreaktor	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1	3.8	0.0	368.8
Siedewasserreaktor	0.0	0.0	0.0	0.0	15.8	3.7	0.0	391.5
Fossile Energieträger								
Erdöl	595.2	0.0	0.0	311.2	176.1	2.9	0.0	251.5
Erdgas	491.8	0.0	0.0	249.6	121.9	2.7	0.0	129.0
Steinkohle	595.2	0.0	0.0	311.2	176.1	2.9	0.0	251.5
Abfälle	700.5	0.0	0.0	0.0	-700.5	0.0	0.0	0.0
Stromverteilung (ohne Verluste)					7.0	0.0	0.0	31.7

8.4 Umweltkennwerte der Strommixe nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars

8.4.1 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen pro kWh an eine Niederspannungs-Steckdose gelieferten Strom ist in Fig. 8.1 dargestellt. Die Treibhausgasemissionen sind aufgeteilt in die vier Bereiche: direkte Emissionen der Schweizer Stromproduktion, Emissionen in den Export (enthalten in den direkten Emissionen der Schweizer Stromproduktion und den übrigen Emissionen), Emissionen von Stromimporten sowie übrige Emissionen. Auch in dieser Analyse werden die Treibhauspotentiale gemäss IPCC (2013) verwendet. Die Treibhauspotentiale der relevanten Substanzen sind in Tab. C 1 im Anhang C aufgeführt.

Die Treibhausgasemissionen des Schweizer Produktions-Strommixes sind zu rund 70 % (20.7 g CO₂-eq/kWh) direkte Emissionen. Die restlichen 30 % (9.0 g CO₂-eq/kWh) sind übrige Emissionen aus der Kraftwerkherstellung, der Stromübertragung, etc. Beim HKN-Lieferanten-Strommix wird mit knapp 68 % (37.1 g CO₂-eq/kWh) der grösste Anteil der Treibhausgasemissionen importiert. Ein Teil der direkten Treibhausgasemissionen der Schweizer Stromproduktion und den übrigen Emissionen werden ins Ausland exportiert. Die Treibhausgasemissionen des Imports stammen zu 47 % vom Strom unbekannter Herkunft (Schweizer Residualmix) und zu 41 % vom Strom aus fossilen Energieträgern. Von den direkten Emissionen der Schweizer Kraftwerke und den übrigen Emissionen (Bereiche 1 und 4) werden knapp 41 % (12.0 g CO₂-eq/kWh) exportiert.

Die Stromverteilung verursacht 78 % der Treibhausgasemissionen des Bereichs 4 (übrige Emissionen).

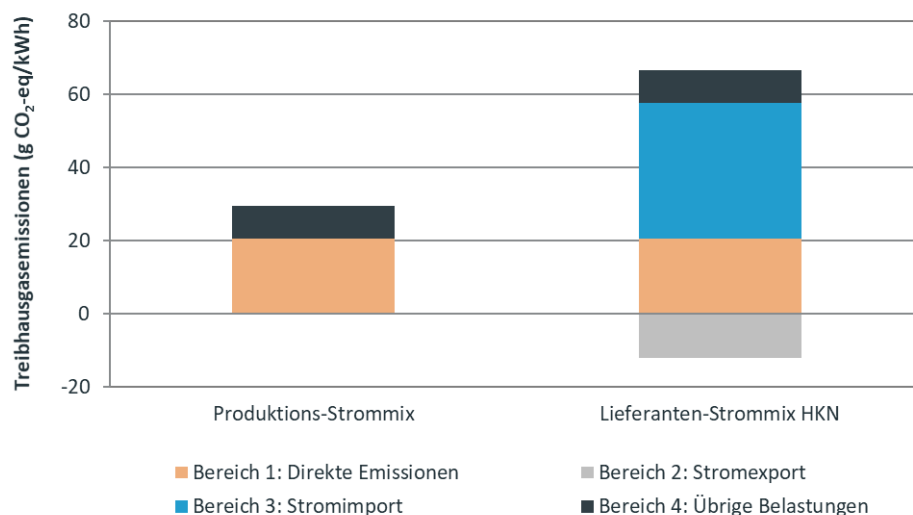


Fig. 8.1 Treibhausgasemissionen des Schweizer Produktions- und HKN-Lieferanten-Strommixes in g CO₂-eq pro kWh Strom aufgeteilt in die vier Bereiche entsprechend dem Treibhausgasinventar. Die Zahlen und Anteile zu den Treibhausgasemissionen sind in Tab. D 1 und Tab. D 2 im Anhang aufgeführt.

8.4.2 Kumulierter Primärenergiebedarf

Der Produktions-Strommix weist nur im Bereich 4 (1.7 kWh Öl-eq/kWh) einen nicht erneuerbaren kumulierten Primärenergiebedarf auf (siehe Fig. 8.2). Die Gewinnung der fossilen Energieträger erfolgt im Ausland und liegt daher ausserhalb der Systemgrenze des Treibhausgasinventars (Bereich 1). Der nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf wird zu über 83 % durch die Herstellung und den Betrieb der Kernkraftwerke verursacht.

Der erneuerbare Primärenergiebedarf fällt zu 90 % (0.6 kWh Öl-eq/kWh) im Bereich 1 an. Der erneuerbare Primärenergiebedarf des Bereichs 1 enthält die Gewinnung der erneuerbaren Energieträger (Wasser, Sonne und Wind) in der Schweiz und wird zu 86 % durch die Wasserkraft verursacht.

Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf des Lieferanten-Strommixes basierend auf Herkunftsnachweisen aus den vorgelagerten Prozessen der Schweizer Stromproduktion (Bereich 4) beträgt 1.7 kWh Öl-eq/kWh. Der Stromimport steuert weitere 0.3 kWh Öl-eq/kWh bei. Durch den Stromexport wird der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf des HKN-Lieferanten-Strommixes um 0.9 kWh Öl-eq/kWh reduziert.

Der grösste Anteil des erneuerbaren Primärenergiebedarfs des Lieferanten-Strommixes basierend auf Herkunftsnachweisen wird durch die Schweizer Stromproduktion (Bereich 1; 0.6 kWh Öl-eq/kWh) verursacht. Die Stromimporte tragen weitere 0.2 kWh Öl-eq/kWh zum erneuerbaren Primärenergiebedarf bei.

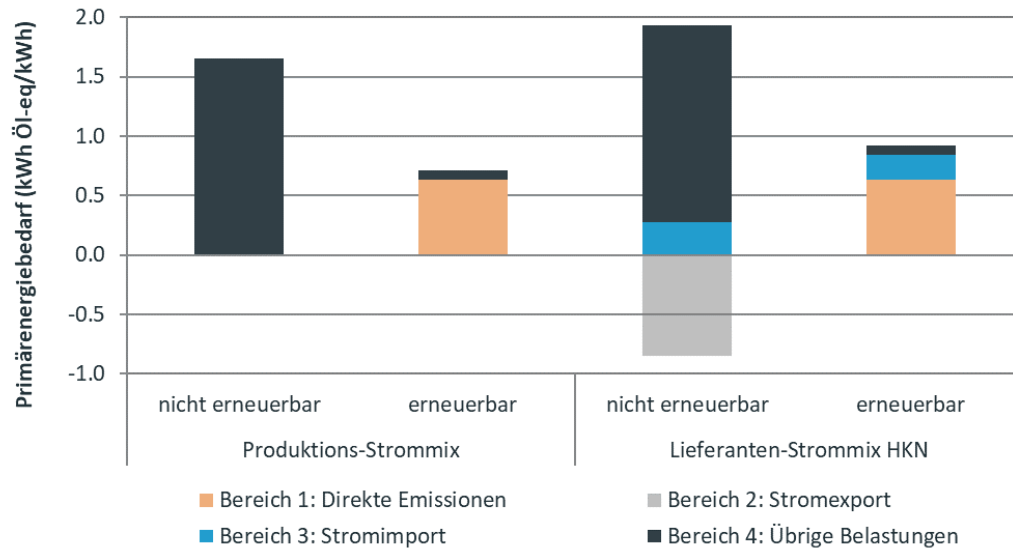


Fig. 8.2 Erneuerbarer und nicht erneuerbarer kumulierter Primärenergiebedarf des Schweizer Produktions- und HKN-Lieferanten-Strommixes in kWh Öl-eq pro kWh Strom aufgeteilt in die vier Bereiche. Die Zahlen und Anteile zum erneuerbaren und nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf sind in Tab. E 1 bis Tab. E 4 im Anhang aufgeführt.

8.4.3 Gesamtumweltbelastung

Die Gesamtumweltbelastungen nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) des Schweizer Produktions-Strommix und Lieferanten-Strommix basierend auf Herkunftsnachweisen sind in Fig. 8.3 aufgeteilt in die vier Bereiche dargestellt. Die Umweltbelastung des Bereichs 4 macht über 90 % der Gesamtumweltbelastung des Produktionsmixes aus, überwiegend verursacht durch den Betrieb der Kernkraftwerke in der Schweiz. Beim HKN-Lieferanten-Strommix wird etwa ein Viertel der Umweltbelastung importiert. Über 40 % der durch die Schweizer Kraftwerke verursachten Umweltbelastung (Bereiche 1 und 4) wird exportiert.

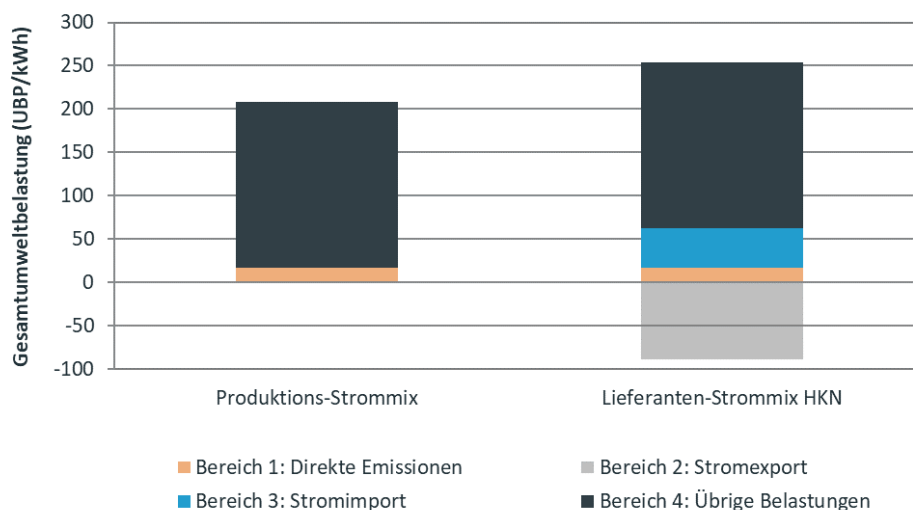


Fig. 8.3 Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 des Schweizer Produktions- und HKN-Lieferanten-Strommixes in UBP pro kWh Strom aufgeteilt in die vier verschiedenen Bereiche. Die Zahlen und Anteile zur Gesamtumweltbelastung sind in Tab. F 1 und Tab. F 2 im Anhang aufgeführt.

9 Zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen

Die Umweltbilanz und die Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommixe werden regelmässig aktualisiert. Die erste Umweltbilanz der Schweizer Strommixe auf Basis der Stromkennzeichnung wurde für das Jahr 2009 erstellt und für die Jahre 2011, 2014 und 2018 aktualisiert. Die zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen ist für die verschiedenen Schweizer Strommixe in Fig. 9.1 dargestellt.

Die Treibhausgasemissionen des Produktions-Strommix sind gegenüber 2014 leicht gesunken. Insgesamt waren die Veränderungen über die Jahre 2009 bis 2018 gering.

Die Treibhausgasemissionen des Lieferanten-Strommixes basierend auf Herkunftsnachweisen schwanken stark. Zwischen 2009 und 2011 sind die spezifischen Treibhausgasemissionen deutlich gesunken. Zwischen 2011 und 2014 hingegen haben die Treibhausgasemissionen stark zugenommen, weil der Anteil «nicht überprüfbar» wieder deutlich zugenommen und dieser erstmals mit dem europäischen Residualmix modelliert wurde. Nun im Jahr 2018 liegen sie wieder deutlich tiefer (auch deutlich unter dem Niveau von 2011). Die Treibhausgasemissionen dieses Mixes werden stark vom Anteil Strom aus nicht überprüfbaren Energieträgern geprägt, welcher mit der Einführung der Volldeklaration bis 2021 verschwinden wird. Gegenüber 2014 hat der Anteil Strom aus nicht überprüfbaren Energieträgern stark abgenommen (von 18.9 % auf 6.7 % im HKN-Lieferanten-Strommix). Dies trägt stark zur deutlichen Abnahme der Treibhausgasemissionen dieses Strommixes zwischen 2014 und 2018 bei. Zusätzlich trägt der Wechsel vom europäischen Residualmix (EAM, mit spezifischen Treibhausgasemissionen von 635 g CO₂-eq/kWh) zum Schweizer Residualmix (262 g CO₂-eq/kWh) für die Modellierung des Stroms unbekannter Herkunft einen Grossteil zur Reduktion bei.

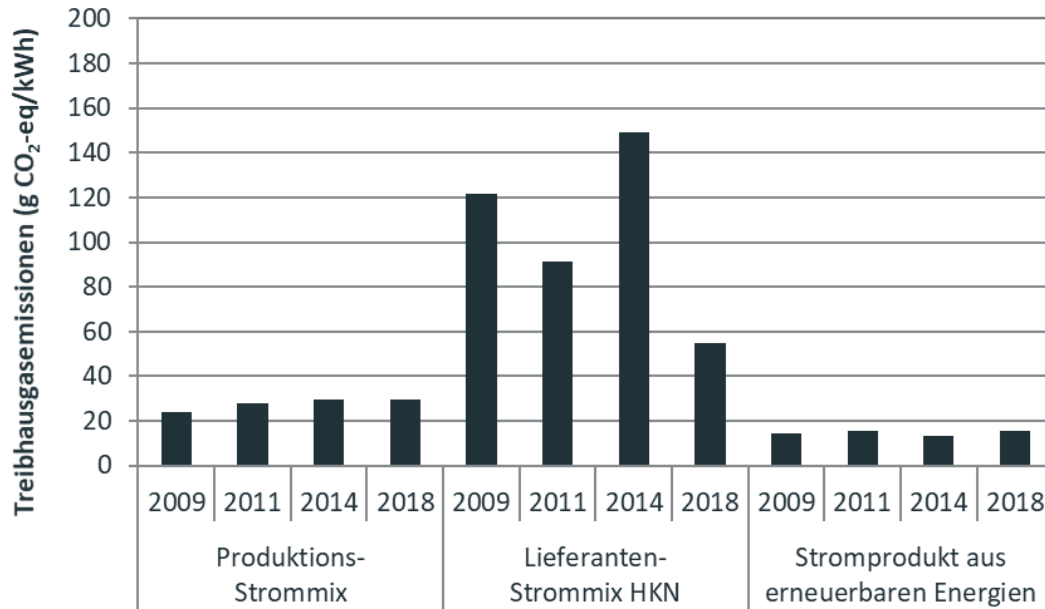


Fig. 9.1 Die zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommixe in g CO₂-eq pro kWh Strom.

Die spezifischen Treibhausgasemissionen des durchschnittlichen Stromproduktes aus erneuerbaren Energien sind im Jahr 2018 leicht gestiegen. Verantwortlich für diese Veränderung ist der deutlich gestiegene Anteil an Strom aus Biomasse (industrielle Biogasanlagen, landwirtschaftliche Biogasanlagen, Holzkraftwerke).

10 Datenqualität

Die Werte aus den verwendeten Statistiken erlauben eine genaue Modellierung der vier Schweizer Strommixe. Zwei dieser Strommixe (HKN-Lieferanten- und HKN-Verbrauchermix) werden auf Basis der Statistik der Herkunftsnachweise modelliert und repräsentieren die von den Schweizer Stromversorgungsunternehmen und Unternehmen eingekaufte *Stromqualität*, nicht jedoch die von ihnen eingekaufte *Stromproduktion*. Die Sachbilanzen der inländischen Kraftwerkstechnologien sind, mit Ausnahme der Windkraftwerke, der Biogaskraftwerke und der Holzkraftwerke auf einem aktuellen Stand. Bei Windkraftwerken sind aufgrund der noch relativ bescheidenen Anteile im Mix keine grossen Veränderungen in den spezifischen Emissionen der Strommixe zu erwarten. Bei den Biogaskraftwerken dürfte eine Reduktion der Methanemissionen bei der Biogaserzeugung und eine Reduktion des Aufwands bei der Biogasaufbereitung (für das Einspeisen ins Erdgasnetz) zu erwarten sein. Durch den derzeit noch geringen Anteil von Biogasstrom in den Strommischen ist der Einfluss auf die spezifischen Treibhausgasemissionen der Strommixe ebenfalls gering. Bei den Holzkraftwerken wurden die hohen spezifischen Lachgasemissionen auf Basis neuer Erkenntnisse deutlich nach unten korrigiert.

Durch die Verwendung des Schweizer Residualmixes zur Modellierung des Imports von Strom aus nicht überprüfbareren Energieträgern konnte die Unsicherheit dieser Annäherung gegenüber 2014 (Verwendung des europäischen Residualmixes) deutlich verringert werden. Dieser basiert auf einer europäischen Statistik des Handels mit Herkunftsnachweisen und repräsentiert den Schweizer Mix an Kraftwerkstechnologien, die ohne Herkunftsnachweis gehandelt werden.

Die Länder, aus welchen der Strom aus fossil-thermischen und Wasserkraftwerken importiert wird, werden in der Stromdeklaration nicht angegeben und sind deshalb nicht bekannt. Der Strom aus fossil-thermischen Kraftwerken und Wasserkraftwerken wird mit europäischen Datensätzen modelliert. Geothermie-Strom wird mit Strom aus europäischen Windkraftwerken angenähert. Daraus können sich Abweichungen in der Umweltintensität der entsprechenden Anteile im Strommix ergeben. Diese Abweichungen sind jedoch von untergeordneter Bedeutung, da die Importanteile gering sind.

Referenzen

- AIB (2019) European Residual Mixes; Results of the calculation of Residual Mixes for the calendar year 2018; Version 1.2, 2019-07-11. Association of Issuing Bodies, Brussels, Belgium, retrieved from: <https://www.aib-net.org/>.
- BFE (2015) Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2014. Bundesamt für Energie BFE, Bern, CH, retrieved from: www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_771015525.pdf.
- BFE (2019a) Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2018. Bundesamt für Energie BFE, Bern, CH, retrieved from: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik.html>.
- BFE (2019b) Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz (ed. Bundesamt für Energie BFE), Bern, CH, retrieved from: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/geoinformation/geodaten/wasser/statistik-der-wasserkraftanlagen.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWWRtaW4uY2gvZGUvcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvOTY5MA==.html>.
- BFE (2019c) Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien Ausgabe 2018. Bundesamt für Energie, Bern, retrieved from: <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/teilstatistiken.html>.
- BFE (2019d) Thermische Stromproduktion inklusive Wärmekraftkopplung (WKK) in der Schweiz 2018. Bundesamt für Energie.
- BFE (2020) Faktenblatt 1: Änderung Stromversorgungsgesetz (StromVG). Bundesamt für Energie (BFE), Bern.
- BFE (Hrsg) (2020) Energieperspektiven 2050+- Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- Doka G. (2005) Ökobilanz für Energie aus Kehrrechtverbrennungsanlagen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL), Bern/ Zürich.
- ENTSO-E (2019) Statistical Factsheet 2018. European Network of Transmission System Operators for Electricity.
- Flury K. and Frischknecht R. (2012) Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation. ESU-services Ltd., Uster, retrieved from: www.lc-inventories.ch.
- Frischknecht R., Hofstetter P., Knoepfel I., Dones R. and Zollinger E. (1994) Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. 1. Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule Zürich und Sektion Ganzheitliche Systemanalysen, Paul Scherrer Institut Villigen, Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern.
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischier R., Nemecek T., Rebitzer G. and Spielmann M. (2007a) Overview and Methodology. ecoinvent report No. 1, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.

- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hischier R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007b) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Frischknecht R. and Stucki M. (2010) Scope-dependent modelling of electricity supply in life cycle assessments. In: *Int J LCA*, 15(8), pp. 806-816, retrieved from: DOI: 10.1007/s11367-010-0200-7.
- Frischknecht R. and Büsser Knöpfel S. (2013) Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Umwelt-Wissen Nr. 1330. Bundesamt für Umwelt, Bern, retrieved from: <http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01750/index.html?lang=de>.
- Frischknecht R., Wyss F., Büsser Knöpfel S., Lützkendorf T. and Balouktsi M. (2015) Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(7), pp. 957-969, 10.1007/s11367-015-0897-4, retrieved from: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-015-0897-4>.
- Frischknecht R. (2016) How to derive a consequential national electricity mix: The case of a Swiss municipality. Presentation at the 62nd LCA forum, 9 September 2016. Swiss Federal Institute of Technology, Zürich.
- Frischknecht R., Alig M. and Stolz P. (2020a) Electricity Mixes in Life Cycle Assessments of Buildings. treeze Ltd., Uster.
- Frischknecht R., Stolz P., Krebs L., de Wild-Scholten M., Sinha P. and Raugei M. (2020b) Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of Photovoltaic Systems, Report T12-19:2020. International Energy Agency (IEA) PVPS Task 12.
- IAEA (2011) The Nuclear Fuel Cycle. International Atomic Energy Agency, Wien, AT, retrieved from: <http://www.iaea.org/sites/default/files/nfc0811.pdf>.
- IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- KBOB, eco-bau and IPB (2016) KBOB Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2016; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2016: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand 2016. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- KBOB, eco-bau and IPB (2017) Regeln für die Ökobilanzierung von Baustoffen und Bauprodukten in der Schweiz, Version 4.0. Plattform "Ökobilanzdaten im Baubereich", KBOB, eco-bau, IPB, Bern, retrieved from: http://www.eco-bau.ch/resources/uploads/Oekobilanzdaten/Plattform_OeDB_Memo_Produktspezifische%20Regeln_v3%200.pdf.
- KBOB, eco-bau and IPB (2018) UVEK Ökobilanzdatenbestand DQRv2:2018. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: www.ecoinvent.org.
- Programm Kleinwasserkraftwerke (2010) Pressemappe Kleinwasserkraftwerk.
- Pronovo (2019a) Cockpit Stromkennzeichnung Schweiz, Stand März 2019. Pronovo AG, Frick, retrieved from: <https://pronovo.ch/de/services/berichte/>.
- Pronovo (2019b) Einspeisevergütungssystem (EVS), Mehrkostenfinanzierung,(MKF), Jahresbericht 2018. Pronovo AG, Frick, CH, retrieved from: <https://pronovo.ch/de/services/berichte/>.

- Pronovo (2020) Cockpit Stromkennzeichnung Schweiz, Stand Februar 2020. Pronovo AG, Frick, retrieved from: <https://pronovo.ch/de/services/berichte/>.
- Siemens Energy (2014) Luftisolierte Schaltanlagen. Retrieved 28.11.2014 retrieved from: <http://www.energy.siemens.com/hq/de/stromuebertragung/hochspannungsschaltanlagen/luftisolierte-schaltanlagen.htm#content=Ert%C3%BCchtigung%20des%20%C3%9Cbertragungsnetzes>.
- VUE (2020) Der Markt für Stromprodukte aus erneuerbaren Energien im Jahr 2018. energie schweiz, Bundesamt für Energie BFE, Zürich, CH, retrieved from: http://www.naturemade.ch/Dokumente/Kommunikation/%C3%96kostromumfrage/Marktumfrage11_d.pdf.

A Anhang: Schweizer Residualmix

Im Rahmen dieses Projekts wurde für das Jahr 2018 der Schweizer Residualmix basierend auf den Daten aus AIB (2019) ermittelt. Der so ermittelte Schweizer Residualmix (Tab. A. 1) kann für die Deckung des Stromverbrauchs unbekannter Herkunft verwendet werden.

Tab. A. 1 Schweizer Residualmix 2018 (AIB 2019).

Technologie	Schweizer Residualmix
Erneuerbare Energien	8.84%
Wasserkraft	5.35%
Laufwasserkraft	2.63%
Speicherwasserkraft (alpin)	1.36%
Speicherwasserkraft (nicht alpin)	1.36%
Andere erneuerbare Energien	8.84%
Sonne	8.21%
Wind	0.52%
Biomasse	0.00%
Geothermie	0.11%
Nicht erneuerbare Energien	85.81%
Kernenergie	56.69%
Fossile Energieträger	29.12%
Braunkohle	6.69%
Steinkohle	4.61%
Erdgas	17.12%
Erdöl	0.70%

Für die Modellierung wurden soweit als möglich für die verschiedenen Technologien die europäischen oder UCTE-Datensätze verwendet. Dabei wurden die Hintergrunddaten des UVEK Ökobilanzdatenbestandes DQRv2:2018 (KBOB et al. 2018) verwendet.

Die Anteile «renewables unspecified» und «fossil unspecified» wurden jeweils auf die jeweiligen Technologien gemäss deren Anteilen am Mix aufgeteilt. Zudem wurde für «hydro & marine» die Aufteilung in Anteile Laufwasser- und Speicherwasserkraftwerke gemäss den Anteilen dieser Technologien an der EU Netto-Stromerzeugung 2018 vorgenommen (ENTSO-E 2019). Die Unterteilung der Speicherwasserkraft in alpine und nicht alpine wurde grob mit je 50 % abgeschätzt.

Gemäss der ENTSO-E Statistik wurde im Jahr 2018 der grösste Anteil an Solarstrom in Deutschland produziert, daher wurde als Annäherung für die Stromproduktion ab einer Photovoltaikanlage der Deutsche Datensatz verwendet. Für die Stromproduktion mit Biomasse wurde als Annäherung der Schweizer Datensatz zur Biogasverstromung verwendet. In Tab. A. 2 ist die Sachbilanz des Schweizer Residualmixes präsentiert.

Der Schweizer Residualmix wird geprägt von nuklearen und fossilen Kraftwerken mit Anteilen von 57 % und 29 %. Innerhalb der fossilen Kraftwerke spielt Erdgas mit über

B Anhang: Datensätze der Technologien

Tab. B 1 Die in den Sachbilanzen verwendeten Datensätze der einzelnen Technologien.

Technologie	Verwendete Datensatz des KBOB-Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016 basierend auf ecoinvent v2.2 Daten	Kommentare/Anpassungen
Inlandproduktion		
Erneuerbare Energien		
Wasserkraft		
Laufwasserkraft	electricity, hydropower, at run-of-river power plant/kWh/CH U	
Speicherwasserkraft	electricity, hydropower, at reservoir power plant/kWh/CH U	CO ₂ -Emissionen werden als biogen modelliert, gemäss der Modellierung des Treibhausgasinventars.
Speicherwasserkraft (zertifiziert)	electricity, hydropower, net, at reservoir power plant/kWh/CH U	CO ₂ -Emissionen werden als biogen modelliert, gemäss der Modellierung des Treibhausgasinventars.
Kleinwasserkraft	electricity, hydropower, at small hydropower plant/kWh/CH U	
Pumpspeicherkraft	electricity, hydropower, at pumped storage power plant/kWh/CH U	CO ₂ -Emissionen werden als biogen modelliert, gemäss der Modellierung des Treibhausgasinventars.
Andere erneuerbare Energien		
Sonne	electricity, production mix photovoltaic, at plant/kWh/CH U	
Wind	Electricity, at wind power plant/CH U	
Holz	Electricity, at cogen 6400kWh, wood, emission control, allocation exergy/CH U	Gemäss den neu erstellten Datensätzen zu Holzkraftwerken des ecoinvent Datenbestandes v3.3 werden bei Holzkraftwerken mit Abgasbehandlung keine erhöhten N ₂ O-Emissionen gemessen. Die bisherigen, deutlich zu hohen N ₂ O-Emissionen des Schweizer Holzkraftwerks wurden korrigiert.
Biogas Landwirtschaft	Electricity, at cogen with biogas engine, agricultural covered, alloc. exergy/CH U	
Biogas Industrie	electricity, at cogen with biogas engine, methane 96%-vol allocation exergy/CH U	
Biomasse KVA	electricity from waste, at municipal waste incineration plant/CH U	In der Analyse nach der Systemgrenze des Treibhausgasinventars wurde die Verbrennung der Biomasse in der KVA zu 2/3 mit dem Datensatz "disposal, biowaste, 60% H ₂ O, to municipal incineration, allocation price/kg/CH U" und zu 1/3 mit dem Datensatz "disposal, paper, 11.2% water, to municipal incineration/kg/CH U" modelliert.
Geothermie	Electricity, at wind power plant/RER U	
Nicht erneuerbare Energien		
Kernenergie		
Druckwasserreaktor	electricity, nuclear, at power plant pressure water reactor/kWh/CH U	
Siedewasserreaktor	electricity, nuclear, at power plant boiling water reactor/kWh/CH U	
Fossile Energieträger		
Erdöl	electricity, at cogen 200kWe diesel SCR, allocation exergy/CH U	
Erdgas	electricity, at cogen 500kWe lean burn, allocation exergy/CH U	
Steinkohle	Electricity, hard coal, at power plant/DE U	
Abfälle	electricity from waste, at municipal waste incineration plant/CH U	In der Analyse nach der Systemgrenze des Treibhausgasinventars wurde die Verbrennung der Abfälle in der KVA mit dem Datensatz "disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration/kg/CH U" modelliert.
Importe		
Erneuerbare Energien		
Wasserkraft		
Laufwasserkraft	electricity, hydropower, at run-of-river power plant/kWh/RER U	
Speicherwasserkraft	electricity, hydropower, at reservoir power plant, non alpine regions/kWh/RER U	CO ₂ -Emissionen werden als biogen modelliert, gemäss der Modellierung des Treibhausgasinventars.
Kleinwasserkraft	electricity, hydropower, at small hydropower plant/kWh/RER U	
Andere erneuerbare Energien		
Sonne	electricity, production mix photovoltaic, at plant/kWh/DE U	
Wind	Electricity, at wind power plant/RER U	
Holz	Electricity, at cogen 6400kWh, wood, allocation exergy/CH U	
Biogas Landwirtschaft	Electricity, at cogen with biogas engine, agricultural covered, alloc. exergy/CH U	
Biogas Industrie	electricity, at cogen with biogas engine, methane 96%-vol allocation exergy/CH U	
Biomasse KVA	electricity from waste, at municipal waste incineration plant/CH U	In der Analyse nach der Systemgrenze des Treibhausgasinventars wurde die Verbrennung der Biomasse in der KVA zu 2/3 mit dem Datensatz "disposal, biowaste, 60% H ₂ O, to municipal incineration, allocation price/kg/CH U" und zu 1/3 mit dem Datensatz "disposal, paper, 11.2% water, to municipal incineration/kg/CH U" modelliert.
Geothermie	Electricity, at wind power plant/RER U	
Nicht erneuerbare Energien		
Kernenergie		
Druckwasserreaktor	Electricity, nuclear, at power plant pressure water reactor/FR U	
Fossile Energieträger		
Erdöl	Electricity, oil, at power plant/IT U	
Erdgas	Electricity, natural gas, at power plant/UCTE U	
Steinkohle	Electricity, hard coal, at power plant/DE U	
Braunkohle	Electricity, lignite, at power plant/DE U	
Abfälle	electricity from waste, at municipal waste incineration plant/CH U	In der Analyse nach der Systemgrenze des Treibhausgasinventars wurde die Verbrennung der Abfälle in der KVA mit dem Datensatz "disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration/kg/CH U" modelliert.
Nicht überprüfbarer Energieträger (Residualmix Schweiz 2018)	electricity, residual mix/CH U	Datensatz wurde neu erstellt gemäss Daten aus AIB (2018).
Stromverteilung (ohne Verluste)	distribution network, electricity, low voltage/km/CH U	Zusätzlich zur Herstellung des Verteilnetzes werden für die Stromverteilung die Verwendung von SF ₆ sowie die Emissionen SF ₆ , N ₂ O und O ₃ berücksichtigt.

C Anhang: Verwendete Treibhauspotentiale

In der Analyse wurden die Treibhauspotentiale gemäss IPCC (2013) verwendet. In Tab. C 1 sind die Treibhauspotentiale der wichtigsten Substanzen aufgelistet.

Tab. C 1 Treibhauspotentiale gemäss IPCC (2013) der für die Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommixe wichtigsten Substanzen.

Substanzen	Treibhauspotentiale
	kg CO ₂ -eq./kg
CO ₂	1
CH ₄	30
N ₂ O	265
SF ₆	23507

D Anhang: Treibhausgasemissionen

Tab. D 1 Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommixe in g CO₂-eq pro kWh Strom (Niederspannung) unterteilt in Inlandproduktion und Importe (aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung), Stromverteilung und Verluste. Die unbekannt Importe werden mit dem Schweizer Residualmix modelliert.

Treibhausgas-Emissionen		Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien
CH	Wasserkraft	g CO ₂ -eq/kWh	6.5	2.7	4.6
	Andere Erneuerbare	g CO ₂ -eq/kWh	2.9	2.6	3.2
	Kernkraft	g CO ₂ -eq/kWh	5.4	2.7	0.0
	Fossile Kraftwerke	g CO ₂ -eq/kWh	5.9	1.6	0.0
	Abfälle	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	0.0	0.0
Importe	Wasserkraft	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	1.0	0.0
	Andere Erneuerbare	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	0.1	0.1
	Kernkraft	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Fossile Kraftwerke	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	15.3	0.0
	Abfälle	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Unbekannte Importe	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	17.4	0.0
Stromverteilung		g CO ₂ -eq/kWh	7.0	7.0	7.0
Verluste		g CO ₂ -eq/kWh	2.0	4.2	0.8
Total		g CO₂-eq/kWh	29.6	54.7	15.7

Tab. D 2 Anteile der verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung an den Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommixe in Prozent. Die unbekannt Importe werden mit dem Schweizer Residualmix modelliert.

Treibhausgas-Emissionen		Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien
CH	Wasserkraft	%	21.8%	4.9%	29.1%
	Andere Erneuerbare	%	9.7%	4.8%	20.4%
	Kernkraft	%	18.2%	5.0%	0.0%
	Fossile Kraftwerke	%	19.9%	2.9%	0.0%
	Abfälle	%	0.0%	0.0%	0.0%
Importe	Wasserkraft	%	0.0%	1.9%	0.0%
	Andere Erneuerbare	%	0.0%	0.2%	0.8%
	Kernkraft	%	0.0%	0.0%	0.0%
	Fossile Kraftwerke	%	0.0%	28.0%	0.0%
	Abfälle	%	0.0%	0.0%	0.0%
	Unbekannte Importe	%	0.0%	31.8%	0.0%
Stromverteilung		%	23.7%	12.9%	44.9%
Verluste		%	6.7%	7.7%	4.9%
Total		%	100.0%	100.0%	100.0%

E Anhang: Primärenergiebedarf

Tab. E 1 Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in kWh-Öl-eq pro kWh Strom (Niederspannung) unterteilt in Inlandproduktion und Importe (aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung), Stromverteilung und Verluste. Die unbekannt Importe werden mit dem Schweizer Residualmix modelliert.

Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar		Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien
CH	Wasserkraft	kWh Öl-eq/kWh	0.1	0.0	0.0
	Andere Erneuerbare	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Kernkraft	kWh Öl-eq/kWh	1.4	0.7	0.0
	Fossile Kraftwerke	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Abfälle	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
Importe	Wasserkraft	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Andere Erneuerbare	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Kernkraft	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Fossile Kraftwerke	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.1	0.0
	Abfälle	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Unbekannte Importe	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.2	0.0
Stromverteilung		kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
Verluste		kWh Öl-eq/kWh	0.1	0.1	0.0
Total		kWh Öl-eq/kWh	1.7	1.1	0.0

Tab. E 2 Anteile der verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung am nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in Prozent. Die unbekannt Importe werden mit dem Schweizer Residualmix modelliert.

Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar		Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien
CH	Wasserkraft	%	5.5%	0.6%	29.3%
	Andere Erneuerbare	%	0.4%	0.6%	22.2%
	Kernkraft	%	82.8%	64.7%	0.0%
	Fossile Kraftwerke	%	1.5%	0.6%	0.0%
	Abfälle	%	0.0%	0.0%	0.0%
Importe	Wasserkraft	%	0.0%	0.2%	0.0%
	Andere Erneuerbare	%	0.0%	0.0%	1.4%
	Kernkraft	%	0.0%	0.1%	0.0%
	Fossile Kraftwerke	%	0.0%	4.9%	0.0%
	Abfälle	%	0.0%	0.0%	0.0%
	Unbekannte Importe	%	0.0%	18.3%	0.0%
Stromverteilung		%	0.9%	1.4%	42.1%
Verluste		%	8.7%	8.7%	5.1%
Total		%	100.0%	100.0%	100.0%

Tab. E 3 Erneuerbarer Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in kWh-Öl-eq pro kWh Strom (Niederspannung) unterteilt in Inlandproduktion und Importe (aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung), Stromverteilung und Verluste. Die unbekannt Importe werden mit dem Schweizer Residualmix modelliert.

Primärenergiebedarf, erneuerbar		Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien
CH	Wasserkraft	kWh Öl-eq/kWh	0.6	0.6	1.0
	Andere Erneuerbare	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.1
	Kernkraft	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Fossile Kraftwerke	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Abfälle	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
Importe	Wasserkraft	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.2	0.0
	Andere Erneuerbare	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Kernkraft	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Fossile Kraftwerke	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Abfälle	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
	Unbekannte Importe	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
Stromverteilung		kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.0
Verluste		kWh Öl-eq/kWh	0.1	0.1	0.1
Total		kWh Öl-eq/kWh	0.7	0.9	1.2

Tab. E 4 Anteile der verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung am erneuerbaren Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in Prozent. Die unbekanntten Importe werden mit dem Schweizer Residualmix modelliert. In der Rubrik „Übrige“ sind die erneuerbaren Energien Photovoltaik, Biogas, Holz, Wind und Abfall zusammengefasst.

Primärenergiebedarf, erneuerbar		Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien
CH	Wasserkraft	%	83.8%	64.6%	85.4%
	Andere Erneuerbare	%	6.9%	4.6%	4.7%
	Kernkraft	%	0.2%	0.1%	0.0%
	Fossile Kraftwerke	%	0.0%	0.0%	0.0%
	Abfälle	%	0.0%	0.0%	0.0%
Importe	Wasserkraft	%	0.0%	19.6%	0.0%
	Andere Erneuerbare	%	0.0%	0.9%	1.0%
	Kernkraft	%	0.0%	0.0%	0.0%
	Fossile Kraftwerke	%	0.0%	0.0%	0.0%
	Abfälle	%	0.0%	0.0%	0.0%
	Unbekannte Importe	%	0.0%	1.1%	0.0%
Stromverteilung		%	0.3%	0.3%	0.2%
Verluste		%	8.8%	8.8%	8.8%
Total		%	100.0%	100.0%	100.0%

F Anhang: Gesamtumweltbelastung

Tab. F 1 Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 der Schweizer Strommixe in UBP pro kWh Strom (Niederspannung) unterteilt in Inlandproduktion und Importe (aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung), Stromverteilung und Verluste. Die unbekannt Importe werden mit dem Schweizer Residualmix modelliert.

Gesamtumweltbelastung		Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien
Domestic	Wasserkraft	UBP/kWh	16.2	5.8	9.8
	Andere Erneuerbare	UBP/kWh	4.2	3.8	4.6
	Kernkraft	UBP/kWh	136.8	69.6	0.0
	Fossile Kraftwerke	UBP/kWh	3.7	1.0	0.0
	Abfälle	UBP/kWh	0.0	0.0	0.0
Importe	Wasserkraft	UBP/kWh	0.0	2.1	0.0
	Andere Erneuerbare	UBP/kWh	0.0	0.2	0.3
	Kernkraft	UBP/kWh	0.0	0.2	0.0
	Fossile Kraftwerke	UBP/kWh	0.0	9.1	0.0
	Abfälle	UBP/kWh	0.0	0.0	0.0
	Unbekannte Importe	UBP/kWh	0.0	30.2	0.0
Stromverteilung		UBP/kWh	31.7	31.7	31.7
Verluste		UBP/kWh	15.5	11.8	1.4
Total		UBP/kWh	208.1	165.4	47.8

Tab. F 2 Anteile der verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung an der Gesamtumweltbelastung der Schweizer Strommixe in Prozent. Die unbekannt Importe werden mit dem Schweizer Residualmix modelliert.

Gesamtumweltbelastung		Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien
CH	Wasserkraft	%	7.8%	3.5%	20.5%
	Andere Erneuerbare	%	2.0%	2.3%	9.7%
	Kernkraft	%	65.7%	42.1%	0.0%
	Fossile Kraftwerke	%	1.8%	0.6%	0.0%
	Abfälle	%	0.0%	0.0%	0.0%
Importe	Wasserkraft	%	0.0%	1.2%	0.0%
	Andere Erneuerbare	%	0.0%	0.1%	0.6%
	Kernkraft	%	0.0%	0.1%	0.0%
	Fossile Kraftwerke	%	0.0%	5.5%	0.0%
	Abfälle	%	0.0%	0.0%	0.0%
	Unbekannte Importe	%	0.0%	18.2%	0.0%
Stromverteilung		%	15.2%	19.2%	66.3%
Verluste		%	7.5%	7.1%	3.0%
Total		%	100.0%	100.0%	100.0%

G Anhang: Analyse der Strommixe nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars

Tab. G 1 Treibhausgasemissionen des Schweizer Produktions- und HKN-Lieferanten-Strommixes in g CO₂-eq pro kWh Strom (Niederspannung) aufgeteilt in die vier verschiedenen Bereiche.

Treibhausgas-Emissionen	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN
Bereich 1: Direkte Emissionen	g CO ₂ -eq/kWh	20.7	20.7
Bereich 2: Stromexport	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	-12.0
Bereich 3: Stromimport	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	37.1
Bereich 4: Übrige Belastungen	g CO ₂ -eq/kWh	9.0	9.0
Total	g CO₂-eq/kWh	29.6	54.7

Tab. G 2 Nicht erneuerbarer und erneuerbarer Primärenergiebedarf des Schweizer Produktions- und HKN-Lieferanten-Strommixes in kWh-Öl-eq pro kWh Strom (Niederspannung) aufgeteilt in die vier verschiedenen Bereiche.

Primärenergiebedarf	Einheit	Produktions-Strommix		Lieferanten-Strommix HKN	
		nicht erneuerbar	erneuerbar	nicht erneuerbar	erneuerbar
Bereich 1: Direkte Emissionen	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.6	0.0	0.6
Bereich 2: Stromexport	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	-0.9	0.0
Bereich 3: Stromimport	kWh Öl-eq/kWh	0.0	0.0	0.3	0.2
Bereich 4: Übrige Belastungen	kWh Öl-eq/kWh	1.7	0.1	1.7	0.1
Total	kWh Öl-eq/kWh	1.7	0.7	1.1	0.9

Tab. G 3 Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 des Schweizer Produktions- und HKN-Lieferanten-Strommixes in UBP pro kWh Strom (Niederspannung) aufgeteilt in die vier verschiedenen Bereiche.

Gesamtumweltbelastung	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix HKN
Bereich 1: Direkte Emissionen	UBP/kWh	16.6	16.6
Bereich 2: Stromexport	UBP/kWh	0.0	-88.4
Bereich 3: Stromimport	UBP/kWh	0.0	45.8
Bereich 4: Übrige Belastungen	UBP/kWh	191.5	191.5
Total	UBP/kWh	208.1	165.4