
Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014

Autoren

Annika Messmer, Rolf Frischknecht

Im Auftrag des

Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Titel	Umweltbilanz Strommix Schweiz 2014
Autoren	Annika Messmer;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 Röthlisberger, Sektion Klima, Bundesamt für Umwelt BAFU Beat Goldstein, Abteilung Energiewirtschaft, Bundesamt für Energie BFE Frank Hayer, Sektion Konsum und Produkte, 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	589-Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2014-v3.0, 07.12.2016 09:19:00

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr (annum)
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)
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KEV	kostendeckende Einspeisevergütung
KVA	Kehrrichtverbrennungsanlage
kWh	Kilowattstunde
MJ	Megajoule
N ₂ O	Lachgas / Distickstoffmonoxid
RER	Europa
SF ₆	Schwefelhexafluorid
UBP	Umweltbelastungspunkte
VUE	Verein für umweltgerechte Energie

Zusammenfassung

Dieser Kurzbericht enthält die wesentlichen Informationen über die Umweltauswirkungen des Schweizer Strommixes im Jahr 2014. Es wird unterschieden zwischen dem Produktions-Strommix (in der Schweiz produzierter Strom), dem Lieferanten-Strommix (an die Schweizer Endkunden gelieferter Strom), dem durchschnittlichen Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien und dem Verbraucher-Strommix (Lieferanten-Strommix minus Stromprodukte aus erneuerbaren Energien). 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 Strommixe sowie die Identifikation derjenigen Technologien, welche die Hauptanteile zu den genannten Kennwerten beisteuern. In einer zusätzlichen Analyse werden die Umweltbelastungen nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars analysiert. Die Umweltbelastungen werden dabei in die vier Bereiche direkte und territoriale Emissionen (Bereich 1), die Emissionen des Stromexports (Bereich 2), die Umweltbelastungen des Stromimports (Bereich 3) sowie die übrigen Umweltbelastungen (Bereich 4) unterteilt. Diese Unterteilung erfolgt für die Bewertung mit allen drei Umweltkennwerten: Treibhausgasemissionen, kumulierter Primärenergiebedarf (erneuerbar und nicht erneuerbar) und Gesamtumweltbelastung.

Die Umweltbilanz der Schweizer Strombereitstellung bezieht sich auf 1 kWh Strom, geliefert an eine Niederspannungs-Steckdose in der Schweiz im Jahr 2014.

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 Schweiz wird Strom hauptsächlich mittels Wasserkraft produziert (56.0 %), gefolgt von Kernkraft (37.6 %) und Abfällen (1.9 %). Der Schweizer Lieferanten-Strommix unterscheidet sich deutlich vom Schweizer Produktions-Strommix. Die Anteile von Strom aus Wasserkraft (46.4 %) und Kernkraft (23.9 %) aus schweizerischen Kraftwerken sind im Lieferanten-Strommix deutlich geringer als im Produktions-Strommix. Dies ist auf den hohen Anteil der Stromimporte zurückzuführen (29.3 %). Die Importe teilen sich auf Strom aus erneuerbaren (7.0 %), nicht erneuerbaren (3.4 %) und nicht überprüfbar (18.8 %; modelliert mit dem europäischen Residualmix) Energien auf.

Das durchschnittliche Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien besteht zu 96.7 % aus Wasserkraft. Strom aus Schweizer und ausländischen Windkraftwerken steuert 1.7 % zum durchschnittlichen Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien bei, die anderen erneuerbaren Energien Anteile von weniger als 1.0 %. Der Verbraucher-Strommix weist verglichen mit dem Lieferanten-Strommix einen kleineren Anteil an Wasserkraft (34.5 %) auf, da die Produktion mit zertifizierter und separat

verkaufter Wasserkraft nicht enthalten ist. Durch den Abzug der in der Schweiz produzierten zertifizierten Wasserkraft kommt es vor allem zu einer Erhöhung der Anteile von Strom aus schweizerischen Kernkraftwerken (29.6 %) und von Stromimporten (36.0 %).

In Tab-Z. 1 ist eine Übersicht der Umweltkennwerte der Schweizer Strommixe für das Jahr 2014 präsentiert.

Tab-Z. 1 Umweltkennwerte der Schweizer Strommixe 2014

Indikator	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix
Treibhausgas-Emissionen	g CO ₂ -eq/kWh	29.8	149.4	13.0	181.5
Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar	MJ/kWh	6.1	6.8	0.1	8.4
Primärenergiebedarf, erneuerbar	MJ/kWh	2.4	2.3	4.2	1.9
Gesamtumweltbelastung	UBP/kWh	214	299	46	359

Die Treibhausgasemissionen des Stroms betragen 13.0 g CO₂-eq/kWh (9.0 g CO₂/kWh) für das durchschnittliche Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien und 29.8 g CO₂-eq/kWh (23.6 g CO₂/kWh) für den Schweizer Produktions-Strommix. Die Treibhausgasemissionen des Schweizer Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes sind mit 149.4 g CO₂-eq/kWh (138.5 g CO₂/kWh) und 181.5 g CO₂-eq/kWh (169.0 g CO₂/kWh) deutlich höher. Die erhöhten Treibhausgasemissionen stammen hauptsächlich aus dem Import von Strom unbekannter Herkunft über den Stromhandel, zu einem geringen Teil auch aus dem bekannten Import von Strom aus fossilthermischen Kraftwerken. Da der Anteil von Strom unbekannter Herkunft gegenüber 2011 deutlich zugenommen hat und zudem dieser Strom neu mit dem der Realität deutlich besser entsprechenden europäischen Residualmix modelliert wird, sind die spezifischen Treibhausgasemissionen des Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes 2014 gegenüber denjenigen der Strommixe 2011 um 63 % beziehungsweise über 79 % höher.

Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf des Produktions-, Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes liegt bei 6.1, 6.8 und 8.4 MJ/kWh. Das durchschnittliche Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien weist einen deutlich tieferen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von 0.1 MJ/kWh auf. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf des Produktions-, Lieferanten- und Verbraucher-Strommixes ist vor allem auf den Strom aus Kernkraftwerken zurückzuführen. Auch die Stromimporte aus nicht überprüfbaren Energieträgern tragen zum erhöhten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf des Lieferanten- und des Verbraucher-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.

Der erneuerbare Primärenergiebedarf des durchschnittlichen Schweizer Stromprodukts aus erneuerbaren Energien ist mit 4.2 MJ/kWh knapp doppelt so hoch wie der

erneuerbare Primärenergiebedarf des Produktions-, Lieferanten- und Verbraucher-Strommixes mit 2.4, 2.3, 1.9 MJ/kWh. Dieser Unterschied ist im wesentlichen auf die deutlich unterschiedlichen Anteile Wasserkraft in den Strommixen und den erneuerbaren Primärenergiebedarf der Stromproduktion aus Wasserkraft zurückzuführen.

Die Gesamtumweltbelastung des durchschnittlichen Schweizer Stromprodukts aus erneuerbaren Energien ist mit 46 UBP/kWh deutlich tiefer als bei den anderen Schweizer Strommixen. Der Produktions-Strommix hat eine spezifische Gesamtumweltbelastung von 214 UBP/kWh, während die Gesamtumweltbelastung des Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes 299 und 359 UBP/kWh beträgt. Die spezifische Gesamtumweltbelastung von Strom aus Wasserkraftwerken und anderen erneuerbaren Energien ist gering. Beim durchschnittlichen Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien verursacht die Stromverteilung knapp drei Viertel der Gesamtumweltbelastung. Die Kernkraftwerke und die Stromimporte aus nicht überprüfbareren Energieträgern sind hauptverantwortlich für die Umweltbelastung des Produktions-, Lieferanten- und Verbraucher-Strommixes.

Bei Produkt-Ökobilanzen wird empfohlen, für unspezifischen Strom ab Schweizer Steckdose den Schweizer Verbraucher-Strommix zu verwenden. Der Schweizer Lieferanten-Strommix 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. Für die Bilanzierung von unspezifischen zertifizierten Stromprodukten („Ökostrom“) ist das durchschnittliche Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien die richtige Wahl.

Die Stromkennzeichnung der Energieversorger und die in diesem Bericht enthaltenen Umweltkennwerte der verschiedenen Technologien können verwendet werden, um die Treibhausgasemissionen, den kumulierten Primärenergiebedarf oder die Gesamtumweltbelastung des bezogenen, kundenspezifischen 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 26. Oktober 2016

Inhalt

1	EINFÜHRUNG	1
1.1	Ausgangslage und Zielsetzung	1
1.2	Struktur des Berichtes	1
2	UNTERSUCHUNGSUMFANG	2
2.1	Bezugsgrösse	2
2.2	Systemumfang	2
2.3	Anwendungsbereich	4
3	SCHWEIZER STROMMIXE	5
3.1	Überblick	5
3.2	Produktions-Strommix	6
3.3	Lieferanten-Strommix	8
3.4	Durchschnittliches Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	10
3.5	Verbraucher-Strommix	11
3.6	Zusammenfassung Sachbilanz	11
4	UMWELTKENNWERTE DER STROMERZEUGUNG	14
4.1	Einführung	14
4.2	Treibhausgasemissionen	14
4.3	Primärenergiebedarf	17
4.4	Gesamtumweltbelastung	19
5	UMWELTKENNWERTE DER SCHWEIZER STROMMIXE	21
5.1	Treibhausgasemissionen	21
5.2	Primärenergiebedarf	23
5.3	Gesamtumweltbelastung	24
6	ANALYSE DES LIEFERANTEN- UND PRODUKTIONS-STROMMIXES NACH SYSTEMGRENZEN DES TREIBHAUSGASINVENTARS	26
6.1	Motivation	26
6.2	Vorgehen	26
6.2.1	Bereich 1: direkte Emissionen der Schweizer Stromproduktion	26
6.2.2	Bereich 2: Emissionen des Stromexports	27
6.2.3	Bereich 3: Emissionen des Stromimports	27
6.2.4	Bereich 4: übrige Emissionen im In- und Ausland	28
6.3	Umweltkennwerte der Stromerzeugung nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars	28

6.4	Umweltkennwerte der Strommixe nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars	29
6.4.1	Treibhausgasemissionen	29
6.4.2	Kumulierter Primärenergiebedarf	30
6.4.3	Gesamtumweltbelastung	31
7	ZEITLICHE ENTWICKLUNG DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN	32
8	WELCHEN STROMMIX VERWENDEN?	34
9	DATENQUALITÄT	35
	REFERENZEN	36
A	ANHANG: EUROPÄISCHER RESIDUALMIX	39
B	ANHANG: DATENSÄTZE DER TECHNOLOGIEN	41
C	ANHANG: VERWENDETE TREIBHAUSPOTENTIALE	42
D	ANHANG: TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER TECHNOLOGIEN	43
E	ANHANG: TREIBHAUSGASEMISSIONEN	44
F	ANHANG: PRIMÄRENERGIEBEDARF	46
G	ANHANG: GESAMTUMWELTBELASTUNG	48
H	ANHANG: ANALYSE DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN DER TECHNOLOGIEN NACH DEN SYSTEMGRENZEN DES TREIBHAUSGASINVENTARS	49
I	ANHANG: ANALYSE DER STROMMIXE NACH DEN SYSTEMGRENZEN DES TREIBHAUSGASINVENTARS	49

1 Einführung

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

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.

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 Lieferanten-Strommixes auch gemäss den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars analysiert. Die Treibhausgasemissionen werden gemäss dem Territorial- und Emittent-Prinzip gemäss UN-FCCC 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 wird der Untersuchungsumfang inklusive Bezugsgrösse, Systemumfang und Anwendungsbereich der Umweltbilanz beschrieben. In Kapitel 3 sind die verschiedenen Schweizer Strommixe sowie die Modellierungsannahmen dokumentiert. Die aus der Wirkungsabschätzung resultierenden Umweltkennwerte der Stromerzeugung einzelner Technologien sowie der Schweizer Strommixe werden in Kapitel 4 resp. 5 diskutiert. In Kapitel 6 wird die Analyse des Schweizer Lieferanten- und Produktions-Strommixes nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars beschrieben und die Umweltkennwerte der verschiedenen Bereiche diskutiert. Kapitel 7 befasst sich mit der zeitlichen Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Strommixe. Anschliessend wird in Kapitel 8 beschrieben, welcher Strommix wann verwendet werden soll. Und abschliessend wird in Kapitel 9 die Datenqualität der vorliegenden Umweltbilanz besprochen.

2 Untersuchungsumfang

2.1 Bezugsgrösse

Die Treibhausgas-Bilanz der Schweizer Strombereitstellung bezieht sich auf eine Kilowattstunde (kWh) Strom, geliefert an eine Niederspannungs-Steckdose in der Schweiz im Jahr 2014.

2.2 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. 2.1):

Im Zentrum stehen die Strommix-Datensätze, in welchen die jeweiligen Anteile der verschiedenen Technologien (Strom ab Laufwasserkraftwerk, ab Kernkraftwerk, ab Fotovoltaikanlage 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.

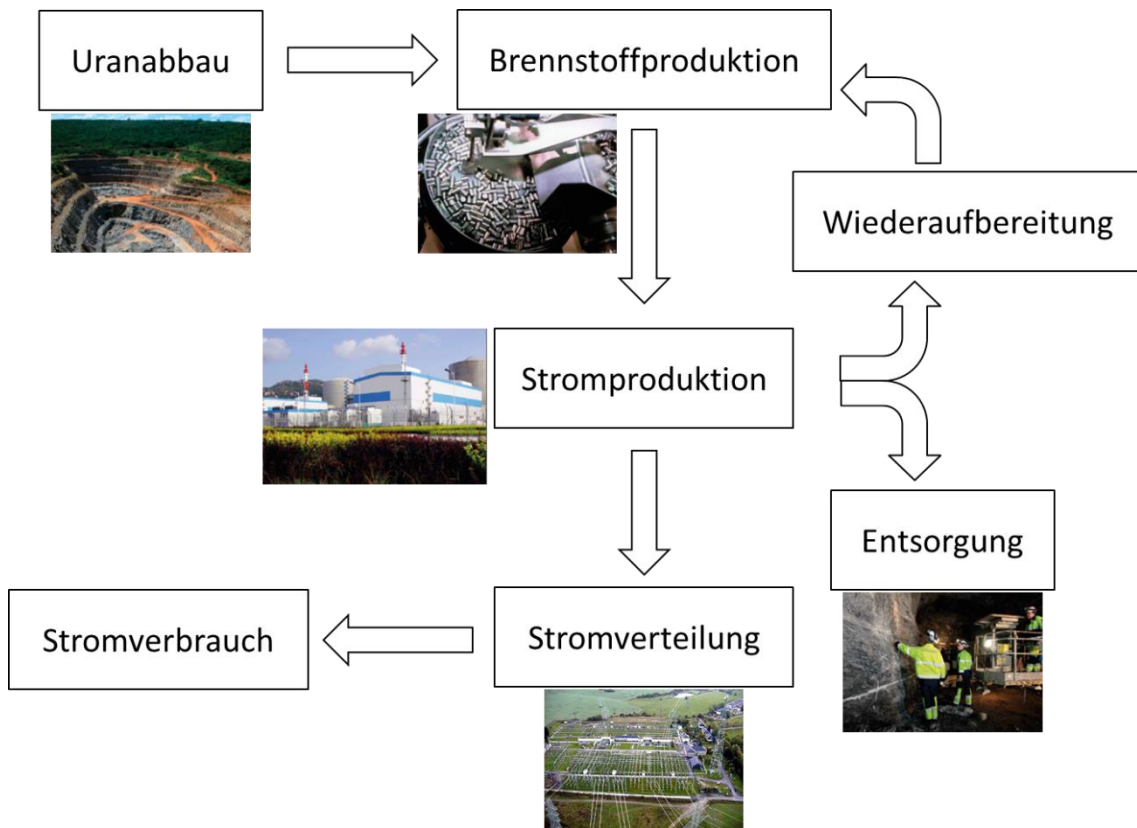


Fig. 2.1 Schematische Darstellung der Strombereitstellung am Beispiel der Kernenergie. Die Umweltauswirkungen des Stromverbrauchs liegen ausserhalb des Untersuchungsrahmens. Die vier oberen Bilder wurden aus IAEA (2011) entnommen und das Bild zur Stromverteilung stammt von Siemens Energy (2014).

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. 2.1).

Tab. 2.1 Verluste im Schweizer Stromnetz aufgeteilt auf die unterschiedlichen Spannungsebenen (BFE 2015a).

	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).

Die Umweltbilanzen der einzelnen Technologien werden auf Basis des KBOB Ökobilanzdatenbestandes 2.2:2016 modelliert (KBOB et al. 2016).

2.3 Anwendungsbereich

Die hier dokumentierten Umweltbilanzen der Schweizer Strombereitstellung beschreiben den Zustand im Jahr 2014. 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).

3 Schweizer Strommixe

3.1 Überblick

In Ökobilanz-Datenbanken wird unterschieden zwischen dem reinen Produktions- oder Erzeugungsmix einerseits und dem Versorgungs- oder Lieferantenmix eines Landes andererseits (siehe hierzu Frischknecht et al. 1994). Während früher der Lieferantenmix der Schweiz basierend auf einem Modell bestimmt werden musste, stehen seit einigen Jahren Primärdaten zum Lieferantenmix zur Verfügung. Das Bundesamt für Energie und neu Swissgrid führen regelmässige Erhebungen bei den Lieferwerken durch. Die Lieferwerke sind im Rahmen der Stromkennzeichnung verpflichtet, Auskunft über die Zusammensetzung der gelieferten Elektrizität zu geben.

Stromversorgungsunternehmen bieten seit über zehn Jahren Stromprodukte aus erneuerbaren Energien an. Das Absatzvolumen dieser zertifizierten Stromprodukte hat stark zugenommen. Deshalb ist es angebracht, den Lieferantenmix aufzuteilen in ein durchschnittliches Stromprodukt aus erneuerbaren Energien und einen sogenannten Verbraucher-Strommix. Fig. 3.1 gibt einen Überblick über den Modellansatz der vier in diesem Bericht beschriebenen Schweizer Strommixe.

Je nach Betrachtungsweise sollte ein anderer Strommix verwendet werden. In Kapitel 8 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 Strommix-rechner² zu berechnen.

² <http://treeze.ch/de/rechner/strommixrechner-schweiz/>, Zugriff am 26. Oktober 2016

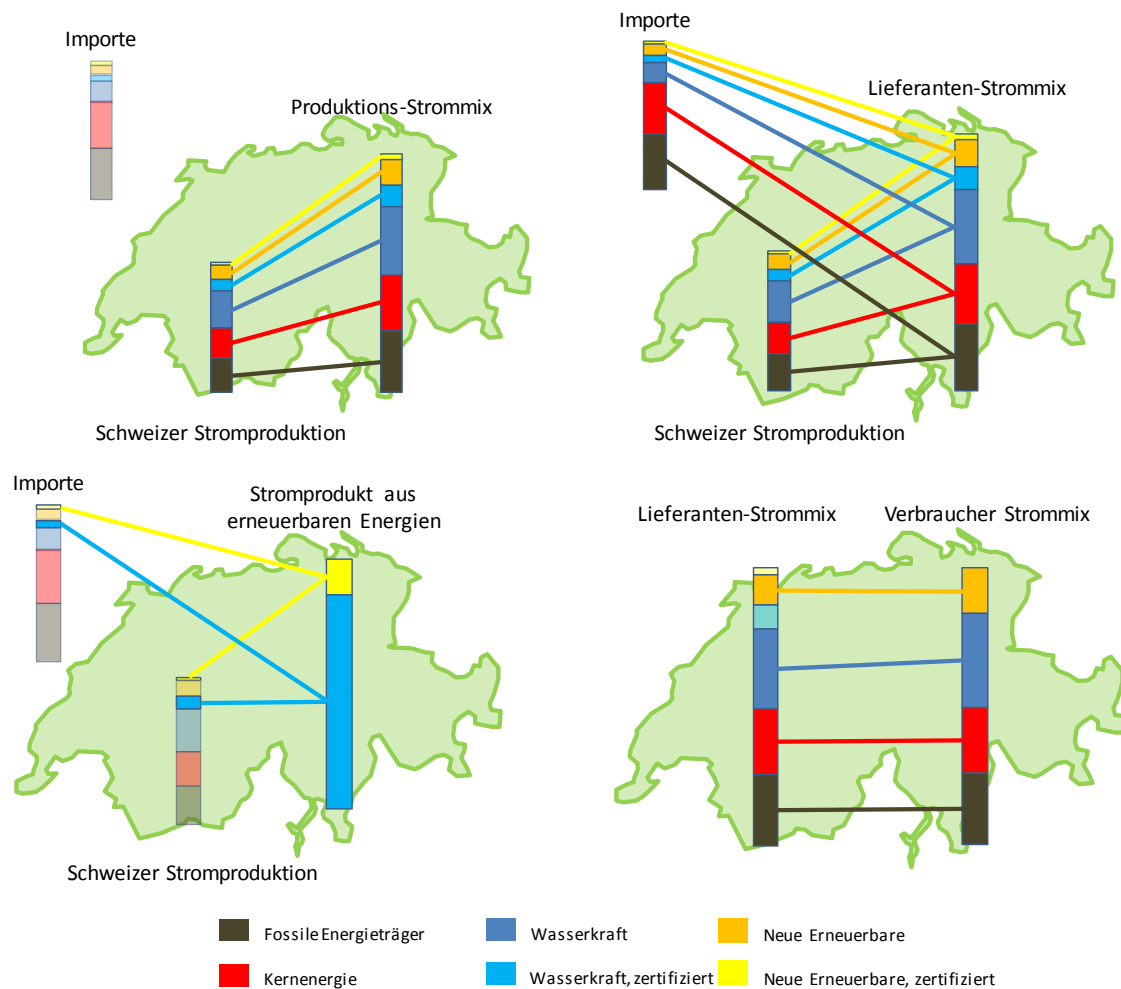


Fig. 3.1 Modellansatz für den Produktions-Strommix (oben links), den Lieferanten-Strommix (oben rechts), das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien (unten links) und den Verbraucher-Strommix (unten rechts).

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die vier Strommixe charakterisiert sowie deren Zusammensetzung und mögliche Besonderheiten in der Modellierung beschrieben.

3.2 Produktions-Strommix

Tab. 3.1 zeigt die Stromproduktion in der Schweiz gemäss der Elektrizitätsstatistik des Bundesamtes für Energie (BFE 2015a). In der Schweiz wird Elektrizität hauptsächlich mit Wasserkraft (56.0 %) und Kernkraft (37.6 %) produziert.

Tab. 3.1 Anteile der einzelnen Technologien an der gesamten Schweizer Stromproduktion (BFE 2015a).

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Wasserkraft	39'308.0	56.01%
Laufwasserkraft	17'243.0	24.57%
Speicherwasserkraft (inkl. Speicherpumpen)	22'065.0	31.44%
Kernenergie	26'370.0	37.57%
Druckwasserreaktor	13'885.0	19.78%
Siedewasserreaktor	12'485.0	17.79%
Übrige¹	4'507.5	6.42%
Total Brutto (inkl Speicherpumpen)	70'185.5	100.00%

¹: Entspricht der Strommenge aus konventionell-thermischer und anderer Produktion, welche in der Schweizer Elektrizitätsstatistik 2015 in Tabelle 3 im Anhang für das Jahr 2014 detailliert publiziert ist. Es gilt zu beachten, dass in der Schweizer Elektrizitätsstatistik 2014, Tabelle 6 eine Strommenge von 3'955 GWh als konventionell-thermische und andere Produktion aufgeführt wird. Dabei handelt es sich um einen Schätzwert. Die in der Schweizer Elektrizitätsstatistik 2014 publizierten definitiven statistischen Daten zur Produktion aus neuen erneuerbaren Energien beziehen sich auf das Jahr 2013.

Die Stromproduktion aus Wasserkraft wird unterteilt in Laufwasserkraft, Speicherwasserkraft, Kleinwasserkraft und Pumpspeicherkraft. Die Anteile der verschiedenen Wasserkrafttechnologien werden in Tab. 3.2 gezeigt. Die Anteile für Laufwasserkraft, Speicherwasserkraft und Pumpspeicherkraft stammen aus der Schweizerischen Elektrizitätsstatistik 2014 (BFE 2015a). 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 2014 erfasst wurde.

Der Verbrauch der Speicherpumpen beträgt im Jahr 2014 2'355 GWh. Davon werden 826 GWh für Zulieferpumpen eingesetzt (BFE 2015b). Der Strombedarf der Zulieferpumpen wird bei der Stromproduktion mit Speicherkraftwerken als Aufwand verbucht. Der restliche Stromverbrauch von Speicherpumpen (1'529 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 1'223 GWh.

Der Strom aus Kernenergie wird entsprechend der Produktion der einzelnen Schweizer Kernkraftwerke gemäss Elektrizitätsstatistik auf die unterschiedlichen Reaktortypen aufgeteilt (BFE 2015a).

Die Kategorie Übrige enthält die Technologien fossile Kraftwerke, Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA), Fotovoltaik, Wind und Biomasse. Die Anteile der verschiedenen Technologien stammen aus der Schweizerische Statistik der Erneuerbaren Energien 2014 (BFE 2015c) und der Statistik der thermischen Stromproduktion inklusive Wärmekraftkopplung (WKK) in der Schweiz 2014 (BFE 2015d). In Tab. 3.3 wird die Aufteilung im Detail gezeigt.

Tab. 3.2 Anteile der Wasserkrafttechnologien in der Schweiz (BFE 2015a, Flury & Frischknecht 2012, Programm Kleinwasserkraftwerke 2010).

Technologie	Produktions-Strommix	Anteil	Lieferanten-Strommix	Anteil
Einheit	GWh	%	GWh	%
Laufwasserkraft	13'843.0	35.22%	13'843.0	37.46%
Speicherwasserkraft	20'841.7	53.02%	19'710.0	53.34%
Kleinwasserkraft	3'400.0	8.65%	3'400.0	9.20%
Pumpspeicherkraft	1'223.3	3.11%	0.0	0.00%
Total	39'308.0	100.00%	36'953.0	100.00%

Tab. 3.3 Anteile der verschiedenen Technologien an der Kategorie Übrige (BFE 2015c, BFE 2015d)

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Andere Erneuerbare	2'631.9	58.4%
Sonne	839.5	18.6%
Wind	100.9	2.2%
Holz	286.0	6.3%
Biogas Landwirtschaft	88.7	2.0%
Biogas Industrie	203.2	4.5%
Biomasse KVA ¹	1'113.7	24.7%
Geothermie	0.0	0.0%
Fossile Energieträger	563.5	12.5%
Erdöl	33.7	0.7%
Erdgas	529.8	11.8%
Steinkohle	0.0	0.0%
Abfälle	1'312.1	29.1%
Total	4'507.5	100.00%

¹) Annahme 50 % der Abfälle sind erneuerbar gemäss BFE (2015d).

3.3 Lieferanten-Strommix

Der Schweizer Lieferanten-Strommix basiert auf der Schweizer Stromkennzeichnung von Swissgrid (swissgrid 2016). Sie zeigt die Herkunft des in der Schweiz verkauften Stroms inklusive der Stromprodukte aus erneuerbaren Energien, jedoch ohne die Stromproduktion der SBB.

Tab. 3.4 Anteile der einzelnen Technologien im Schweizer Lieferanten-Strommix (swissgrid 2016).

Technologie	Total	Aus der Schweiz	Import
Erneuerbare Energien	54.130%	47.350%	6.780%
Wasserkraft	49.450%	43.320%	6.130%
Andere Erneuerbare	1.680%	1.030%	0.650%
<i>Sonne</i>	<i>0.530%</i>	<i>0.520%</i>	<i>0.010%</i>
<i>Wind</i>	<i>0.710%</i>	<i>0.080%</i>	<i>0.630%</i>
<i>Biomasse</i>	<i>0.440%</i>	<i>0.430%</i>	<i>0.010%</i>
<i>Geothermie</i>	<i>0.000%</i>	<i>0.000%</i>	<i>0.000%</i>
Geförderter Strom	3.000%	3.000%	0.000%
Nicht erneuerbare Energien	26.450%	23.130%	3.320%
Kernenergie	26.030%	23.040%	2.990%
Fossile Energieträger	0.420%	0.090%	0.330%
<i>Erdöl</i>	<i>0.020%</i>	<i>0.000%</i>	<i>0.020%</i>
<i>Erdgas</i>	<i>0.380%</i>	<i>0.090%</i>	<i>0.290%</i>
<i>Steinkohle</i>	<i>0.020%</i>	<i>0.000%</i>	<i>0.020%</i>
Abfälle	1.350%	1.300%	0.050%
Nicht überprüfbare Energieträger	18.070%	0.000%	18.070%
Total	100.000%	71.780%	28.220%

Die Kategorie geförderter Strom entspricht dem Strom aus Anlagen, die eine kosten-deckende Einspeisevergütung (KEV) erhalten, und wird daher entsprechend dem Geschäftsbericht der Stiftung KEV (KEV 2014) auf die verschiedenen erneuerbaren Technologien aufgeteilt (Tab. 3.5). Darin sind das Produktionsvolumen und die Anteile der verschiedenen Technologien aufgelistet. Der geförderte Strom wird hauptsächlich mit Wasserkraft (45.9 %) und Biomasse (38.1 %) produziert. Die Anteile von Wind (3.1 %) und Fotovoltaik (12.8 %) sind deutlich geringer.

Tab. 3.5 Anteile der einzelnen Technologien an der geförderten Stromproduktion in der Schweiz (KEV 2014).

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Wind	52.6	3.15%
Wasserkraft	766.2	45.90%
Biomasse	635.9	38.10%
Fotovoltaik	214.4	12.85%
Total	1669.2	100.00%

Der aus Biomasse produzierte Strom kann weiter unterteilt werden 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 (BFE 2015c). Die Anteile der

verschiedenen Technologien sind in Tab. 3.6 gezeigt. Die Stromproduktion aus industriellem Biogas ist auffallend hoch. In dieser Kategorie werden Klärgas und Biogas aus Industrieabwasser sowie Grüngutvergärungsanlagen berücksichtigt.

Tab. 3.6 Anteile der einzelnen Technologien für Strom aus Biomasse (BFE 2015c).

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Holz	273.3	19.25%
Biogas Landwirtschaft	88.7	6.24%
Biogas Industrie	200.8	14.14%
Biomasse KVA	857.3	60.37%
Total	1420.1	100.00%

Der Anteil von nicht überprüfbareren Energieträgern am Lieferanten-Strommix hat gegenüber dem Strommix 2011 um mehr als einen Drittel zugenommen und liegt für das Jahr 2014 bei 18.8 %. Der Anteil von nicht überprüfbareren Energieträgern 2014 ist daher wieder ähnlich hoch wie im Jahr 2009 mit 18.7 %. Dieser Anteil wird neu mit dem europäischen Residualmix (European Attribute Mix (EAM); (AIB 2015)) angenähert und nicht mehr mit dem europäischen Strommix (European Network of Transmission System Operators for Electricity, ENTSO-E). Eine detaillierte Dokumentation der Sachbilanz des europäischen Residualmixes (EAM) befindet sich in Anhang A.

Im Lieferanten-Strommix wird der Strombedarf für die Pumpspeicherung mit einem anderen Ansatz modelliert als im Produktionsmix. Anstelle eines Technologieanteils für die Pumpspeicherung wird der Pumpenstrombedarf durch einen erhöhten Bedarf an Strom für die Bereitstellung einer kWh Elektrizität modelliert. Die Anteile der einzelnen Technologien am Lieferanten-Strommix sind in Tab. 3.8 dargestellt. Darin ist der Pumpenstrombedarf in Form eines negativen Anteils (Verbrauch) am Lieferanten-Mix berücksichtigt. Der Pumpenstrombedarf beträgt 3.8 % der gesamten gelieferten Elektrizität.

3.4 Durchschnittliches Stromprodukt aus erneuerbaren Energien

Das durchschnittliche Schweizer Stromprodukt aus erneuerbaren Energien ist entsprechend der Statistik des Vereins für umweltgerechte Energie (VUE) modelliert (VUE 2015). Die Statistiken des VUE geben Aufschluss über die einzelnen Energiequellen des durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien. Entsprechend der in Tab. 3.7 gezeigten Werte wird der grösste Teil (96.7 %) des durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien mit Wasserkraft erzeugt.

Tab. 3.7 Technologieanteile des in der Schweiz verkauften durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien (VUE 2015).

Technologie	Produktion	Anteil Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Anteil Lieferanten-Strommix
Einheit	GWh	%	%
Fotovoltaik	98.0	0.93%	0.17%
Wind	191.3	1.70%	0.31%
Wasserkraft	10'967.4	96.72%	17.80%
Biomasse	49.5	0.64%	0.12%
Total	11'368.4	100.00%	18.40%

Die Technologieanteile für Wasserkraft und Biomasse werden gemäss dem 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. 3.8 dargestellt.

3.5 Verbraucher-Strommix

Zur Berechnung des Verbraucher-Strommixes wird das Volumen der separat verkauften Schweizer Stromprodukte aus erneuerbaren Energien vom gesamten Volumen des Schweizer Lieferanten-Strommixes abgezogen. Die Menge und die Technologieanteile des in der Schweiz verkauften durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien sind in Tab. 3.7 gezeigt. Der Pumpenstrombedarf für den Verbraucher-Strommix ist analog zum Lieferanten-Strommix modelliert (vgl. Unterkapitel 3.3). Der Anteil des Pumpenstrombedarfs am Verbraucher-Strommix ist mit 4.7 % leicht höher als für den Lieferanten-Strommix aufgrund des Abzugs des verkauften Stromvolumens des durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien. Die Technologieanteile für den Verbraucher-Strommix sind in Tab. 3.8 dargestellt.

3.6 Zusammenfassung Sachbilanz

Tab. 3.8 zeigt die Zusammensetzung der vier Schweizer Strommixe nach den in den vorangehenden Unterkapiteln beschriebenen Zuordnungen und Anpassungen bezüglich der Technologiezusammensetzung. Alle verwendeten Daten beziehen sich auf das Jahr 2014.

In der Schweiz wird Strom hauptsächlich mittels Wasserkraft produziert (56.0 %), gefolgt von Kernkraft (37.6 %) und Abfällen (1.9 %). Der Schweizer Lieferanten-Strommix unterscheidet sich deutlich vom Schweizer Produktions-Strommix. Die Anteile von Wasserkraft (46.4 %) und Kernkraft (23.9 %) aus der Schweiz sind im Lieferanten-Strommix deutlich tiefer als im Produktions-Strommix. Dies ist auf den hohen Anteil der Stromimporte zurückzuführen (29.3 %). Ein Anteil von 3.1 % des Schweizer

Lieferanten-Strommixes stammt aus französischen Kernkraftwerken und 6.4 % werden in ausländischen Wasserkraftwerken produziert. Bei etwas weniger als zwei Drittel der importierten Strommenge (18.8 %) ist die Herkunft unbekannt.

Das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien besteht zu 96.7 % aus Wasserkraft. Windenergie macht einen Anteil von 1.7 % des durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien aus, während die übrigen Technologien weniger als 1 % beisteuern. Der Verbraucher-Strommix weist verglichen mit dem Lieferanten-Strommix einen kleineren Anteil an Wasserkraft auf (34.5 %), da der für Stromprodukte aus erneuerbaren Energien erzeugte Strom abgezogen wurde. Durch diesen Abzug kommt es vor allem zu einer Erhöhung der Anteile von Strom aus schweizerischen Kernkraftwerken (29.6 %) und von Stromimporten (36.0 %).

Der Strom unbekannter Herkunft wird mit dem europäischen Residualmix (EAM) 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. 3.8 Stromproduktion in der Schweiz und Anteile der verschiedenen Technologien für die vier Schweizer Strommixe für das Jahr 2014.

Technologie	Produktions-Strommix	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix
Einheit	GWh	%	%	%	%
Inlandproduktion	70'185.49	100.000%	70.704%	99.249%	63.979%
Erneuerbare Energien	41'939.94	59.756%	49.155%	99.249%	37.313%
Wasserkraft	39'308.00	56.006%	46.401%	96.724%	34.506%
<i>Laufwasserkraft</i>	13'843.00	19.723%	17.382%	34.063%	13.439%
<i>Speicherswasserkraft</i>	20'841.73	29.695%	24.749%	54.295%	17.767%
<i>Kleinwasserkraft</i>	3'400.00	4.844%	4.269%	8.366%	3.301%
<i>Pumpspeicherkraft</i>	1'223.27	1.743%	0.000%	0.000%	0.000%
Andere erneuerbare Energien	2'631.94	3.750%	2.754%	2.525%	2.807%
<i>Sonne</i>	839.51	1.196%	0.940%	0.932%	0.941%
<i>Wind</i>	100.88	0.144%	0.181%	0.949%	0.000%
<i>Holz</i>	286.00	0.407%	0.314%	0.124%	0.359%
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	88.70	0.126%	0.102%	0.040%	0.116%
<i>Biogas Industrie</i>	203.20	0.290%	0.231%	0.091%	0.264%
<i>Biomasse KVA</i>	1'113.65	1.587%	0.986%	0.389%	1.126%
Nicht erneuerbare Energien	26'933.50	38.375%	24.012%	0.000%	29.669%
Kernenergie	26'370.00	37.572%	23.918%	0.000%	29.554%
<i>Druckwasserreaktor</i>	13'885.00	19.783%	12.594%	0.000%	15.561%
<i>Siedewasserreaktor</i>	12'485.00	17.789%	11.324%	0.000%	13.992%
Fossile Energieträger	563.50	0.803%	0.093%	0.000%	0.115%
<i>Erdöl</i>	33.70	0.048%	0.000%	0.000%	0.000%
<i>Erdgas</i>	529.80	0.755%	0.093%	0.000%	0.115%
Abfälle	1'312.05	1.869%	1.350%	0.000%	1.668%
Nicht überprüfbare Energieträger	0.00	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Pumpenstrombedarf	0.00	0.000%	-3.811%	0.000%	-4.671%
Importe	0.00	0.000%	29.296%	0.751%	36.021%
Erneuerbare Energien	0.00	0.000%	7.038%	0.751%	8.520%
Wasserkraft	0.00	0.000%	6.364%	0.000%	7.863%
<i>Laufwasserkraft</i>	0.00	0.000%	5.345%	0.000%	6.605%
<i>Speicherswasserkraft</i>	0.00	0.000%	1.018%	0.000%	1.258%
<i>Kleinwasserkraft</i>	0.00	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Andere erneuerbare Energien	0.00	0.000%	0.675%	0.751%	0.657%
<i>Sonne</i>	0.00	0.000%	0.010%	0.000%	0.013%
<i>Wind</i>	0.00	0.000%	0.654%	0.751%	0.631%
<i>Holz</i>	0.00	0.000%	0.002%	0.000%	0.002%
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	0.00	0.000%	0.001%	0.000%	0.001%
<i>Biogas Industrie</i>	0.00	0.000%	0.001%	0.000%	0.002%
<i>Biomasse KVA</i>	0.00	0.000%	0.006%	0.000%	0.008%
<i>Geothermie</i>	0.00	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Nicht erneuerbare Energien	0.00	0.000%	3.447%	0.000%	4.259%
Kernenergie	0.00	0.000%	3.104%	0.000%	3.835%
<i>Druckwasserreaktor</i>	0.00	0.000%	3.104%	0.000%	3.835%
<i>Siedewasserreaktor</i>	0.00	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Fossile Energieträger	0.00	0.000%	0.343%	0.000%	0.423%
<i>Erdöl</i>	0.00	0.000%	0.021%	0.000%	0.026%
<i>Erdgas</i>	0.00	0.000%	0.301%	0.000%	0.372%
<i>Steinkohle</i>	0.00	0.000%	0.021%	0.000%	0.026%
<i>Braunkohle</i>	0.00	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
Abfälle	0.00	0.000%	0.052%	0.000%	0.064%
Nicht überprüfbare Energieträger (EAM)	0.00	0.000%	18.759%	0.000%	23.179%
Total	70'185.49	100.000%	100.000%	100.000%	100.000%

4 Umweltkennwerte der Stromerzeugung

4.1 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 KBOB-Ökobilanzdatenbestandes v2.2:2016 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.

4.2 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. 4.1 aufgeführt. Einerseits wird zwischen den Emissionen über die gesamte Produktionskette und den Emissionen direkt aus dem Kraftwerk unterschieden. Andererseits werden die gesamten Treibhausgasemissionen und die Kohlendioxidemissionen separat angegeben. Es gilt zu beachten, dass die Gesamtemissionen die direkten Emissionen aus der Stromproduktion einschliessen. Ebenso sind die Kohlendioxidemissionen ein Teil der Treibhausgasemissionen. Die Anteile der weiteren Treibhausgase (CH_4 , N_2O und SF_6) an den gesamten Treibhausgasemissionen in g CO_2 -eq/kWh sind in Tab. D 1 in Anhang D präsentiert.

Bezogen auf eine kWh produzierten Strom ist die Herstellung aus Braunkohle (1'220 g CO_2 -eq/kWh) die Technologie mit den höchsten Treibhausgasemissionen. Strom aus schweizerischen Laufwasserkraftwerken verursacht mit 3.8 g CO_2 -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. 4.1 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 (11.5 g CO_2 -eq/kWh) und der zertifizierten (4.2 g CO_2 -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 6) werden die direkten Emissionen vollständig der Energieerzeugung zugewiesen.

Die Treibhausgasemissionen des europäischen Residualmixes (Charakterisierung und Sachbilanz siehe Anhang A) sind rund 30 % höher als diejenigen des ENTSO-E-Mixes. Der europäische Residualmix besteht fast ausschliesslich aus nicht erneuerbaren Energieträgern (über 99 %), wovon über 57 % fossile Energieträger sind, welche hohe Treibhausgasemissionen verursachen.

Die Treibhausgasemissionen von Strom aus Holzkraftwerken im Ausland haben sich im Vergleich zu 2011 um 55 % erhöht (Stolz & Frischknecht 2015). Diese Zunahme ist auf die aktualisierten Hintergrunddaten der Holzgewinnung zurückzuführen (Werner et al. 2014). Die Treibhausgasemissionen von Strom aus Holzkraftwerken in der Schweiz haben sich im Vergleich zu 2011 um 47 % reduziert. Die bisherigen, deutlich zu hohen Lachgasemissionen des Schweizer Holzkraftwerks wurden korrigiert. Gemäss den neu erstellten Datensätzen zu Holzkraftwerken des ecoinvent Datenbestandes v3.3 werden bei Holzkraftwerken mit Abgasbehandlung keine erhöhten Lachgasemissionen gemessen.

Die Treibhausgasemissionen von Strom ab einer Photovoltaikanlage im Ausland (Deutschland), haben im Vergleich zu 2011 um 19 % zugenommen. Die Gründe für diese Veränderungen sind auf die Aktualisierung und Überarbeitung der Photovoltaik-Sachbilanzen zurückzuführen. Neu stammt ein deutlich höherer Anteil der Photovoltaik-Panels beziehungsweise der Solarzellen und Wafer aus chinesischer Produktion. 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 mit Schweröl beziehungsweise Erdgas betrieben werden.

Tab. 4.1 Kohlendioxid- und Treibhausgasemissionen der verschiedenen Technologien unterschieden nach der gesamten Produktionskette und den direkten Emissionen aus dem Kraftwerk. Die Angaben beziehen sich auf 1 kWh produzierten Strom (ab Klemme Kraftwerk). Eine Tabelle der verwendeten Datensätze des KBOB-Ökobilanzdatenbestandes v2.2:2016 (KBOB et al. 2016) befindet sich in Anhang B.

Technologie	Gesamte Produktionskette		Direkte Emissionen Stromproduktion	
	Kohlendioxid-Emissionen	Treibhausgas-Emissionen	Kohlendioxid-Emissionen	Treibhausgas-Emissionen
Einheit	gCO ₂ /kWh	gCO ₂ -eq/kWh	gCO ₂ /kWh	gCO ₂ -eq/kWh
Inlandproduktion				
Erneuerbare Energien				
Wasserkraft				
<i>Laufwasserkraft</i>			0.0	0.4
<i>Speicherwasserkraft</i>	10.9	11.5	0.0	0.0
<i>Speicherwasserkraft (zertifiziert)</i>	4.0	4.2	0.0	0.0
<i>Kleinwasserkraft</i>	4.7	5.0	0.0	0.0
<i>Pumpspeicherkraft</i>	198.7	211.5	0.0	0.0
Andere erneuerbare Energien				
<i>Sonne</i>	69.7	80.9	0.0	0.0
<i>Wind</i>	15.7	17.3	0.0	0.0
<i>Holz</i>	36.8	45.7	0.0	6.6
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	19.5	155.8	0.0	12.7
<i>Biogas Industrie</i>	110.3	368.4	0.0	30.1
<i>Biomasse KVA</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
Nicht erneuerbare Energien				
Kernenergie				
<i>Druckwasserreaktor</i>	12.4	13.3	0.0	0.0
<i>Siedewasserreaktor</i>	13.9	14.9	0.0	0.0
Fossile Energieträger				
<i>Erdöl</i>	698.5	738.1	580.1	593.3
<i>Erdgas</i>	517.7	598.6	459.2	489.7
<i>Abfälle</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
Importe				
Erneuerbare Energien				
Wasserkraft				
<i>Laufwasserkraft</i>	3.4	3.9	0.0	0.4
<i>Speicherwasserkraft</i>	4.3	6.1	0.0	1.6
<i>Kleinwasserkraft</i>	4.7	5.0	0.0	0.0
Andere erneuerbare Energien				
<i>Sonne</i>	85.2	99.0	0.0	0.0
<i>Wind</i>	10.2	11.3	0.0	0.0
<i>Holz</i>	35.4	44.3	0.0	6.6
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	19.5	155.8	0.0	12.7
<i>Biogas Industrie</i>	110.3	368.4	0.0	30.1
<i>Biomasse KVA</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Geothermie</i>	10.2	11.3	0.0	0.0
Nicht erneuerbare Energien				
Kernenergie				
<i>Druckwasserreaktor</i>	5.6	6.1	0.0	0.0
Fossile Energieträger				
<i>Erdöl</i>	869.6	907.3	760.5	772.0
<i>Erdgas</i>	603.9	646.8	530.9	533.7
<i>Steinkohle</i>	967.5	1'113.8	922.0	932.8
<i>Braunkohle</i>	1'202.7	1'220.4	1'177.2	1'185.0
<i>Abfälle</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
Nicht überprüfbare Energieträger (EAM)	606.1	634.7	na	na
Stromverteilung (ohne Verluste)	3.8	7.1	0.0	2.9

4.3 Primärenergiebedarf

Der Primärenergiebedarf wird nach der Methode von Frischknecht et al. (2007b, 2015) für die einzelnen Technologien der Stromproduktion bestimmt. Es wird unterschieden zwischen nicht erneuerbarem und erneuerbarem Primärenergiebedarf (Tab. 4.2).

Strom aus Kernkraftwerken weist mit 13.4–13.9 MJ/kWh den höchsten nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf auf. Pumpspeicherkraftwerke (9.8 MJ/kWh) und fossile Kraftwerke (9.5–12.8 MJ/kWh) haben einen leicht tieferen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf. Der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf von Wasserkraftwerken (ohne Pumpspeicherkraftwerke) liegt zwischen 0.0 und 0.4 MJ/kWh. Strom aus Fotovoltaikanlagen und Windkraftwerken hat einen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von 1.0-1.3 bzw. 0.2–0.3 MJ/kWh. Die Stromproduktion aus industriellem Biogas verursacht einen relativ hohen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von 2.6 MJ/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 3.8 und 4.0 MJ/kWh (Wasserkraft, Windkraft, Photovoltaik), von knapp 12 MJ/kWh (Holzkraftwerke) beziehungsweise unter 1 MJ/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 MJ/kWh, da der Energieinhalt des Abfalls nicht angerechnet wird. Der Primärenergiebedarf wird den zu Abfall gewordenen Produkten zugeordnet.

Tab. 4.2 Nicht erneuerbarer, erneuerbarer und gesamter kumulierter Primärenergiebedarf der verschiedenen Technologien der Stromproduktion. Die Angaben beziehen sich auf 1 kWh produzierten Strom (ab Klemme Kraftwerk). Eine Tabelle der verwendeten Datensätze des KBOB-Ökobilanzdatenbestandes v2.2:2016 (KBOB et al. 2016) befindet sich in Anhang B.

Technologie	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Primärenergiebedarf erneuerbar	Primärenergiebedarf gesamt
Einheit	MJ/kWh	MJ/kWh	MJ/kWh
Inlandproduktion			
Erneuerbare Energien			
Wasserkraft			
<i>Laufwasserkraft</i>	0.0	3.8	3.8
<i>Speicherswasserkraft</i>	0.4	3.9	4.3
<i>Speicherswasserkraft (zertifiziert)</i>	0.0	3.8	3.8
<i>Kleinwasserkraft</i>	0.1	3.8	3.8
<i>Pumpspeicherkraft</i>	9.8	2.2	12.0
Andere erneuerbare Energien			0.0
<i>Sonne</i>	1.0	4.0	5.0
<i>Wind</i>	0.3	3.9	4.1
<i>Holz</i>	0.7	11.8	12.6
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	0.4	0.1	0.6
<i>Biogas Industrie</i>	2.6	0.3	2.9
<i>Biomasse KVA</i>	0.0	0.0	0.0
Nicht erneuerbare Energien			
Kernenergie			
<i>Druckwasserreaktor</i>	13.9	0.0	13.9
<i>Siedewasserreaktor</i>	13.4	0.0	13.4
Fossile Energieträger			
<i>Erdöl</i>	10.6	0.0	10.6
<i>Erdgas</i>	9.5	0.0	9.5
Abfälle	0.0	0.0	0.0
Importe			
Erneuerbare Energien			
Wasserkraft			
<i>Laufwasserkraft</i>	0.0	3.8	3.8
<i>Speicherswasserkraft</i>	0.0	3.8	3.8
<i>Kleinwasserkraft</i>	0.1	3.8	3.8
Andere erneuerbare Energien			
<i>Sonne</i>	1.3	4.0	5.3
<i>Wind</i>	0.2	3.9	4.0
<i>Holz</i>	0.7	11.7	12.4
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	0.4	0.1	0.6
<i>Biogas Industrie</i>	2.6	0.3	2.9
<i>Biomasse KVA</i>	0.0	0.0	0.0
<i>Geothermie</i>	0.2	3.9	4.0
Nicht erneuerbare Energien			
Kernenergie			
<i>Druckwasserreaktor</i>	13.5	0.0	13.5
Fossile Energieträger			
<i>Erdöl</i>	12.4	0.0	12.4
<i>Erdgas</i>	10.9	0.0	10.9
<i>Steinkohle</i>	12.7	0.1	12.8
<i>Braunkohle</i>	12.8	0.0	12.8
Abfälle	0.0	0.0	0.0
Nicht überprüfbare Energieträger (EAM)	12.7	12.8	25.4
Stromverteilung (ohne Verluste)	0.1	0.1	0.1

4.4 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. 4.3 aufgelistet.

Importierte Elektrizität aus Ölkraftwerken weist die mit Abstand höchste Gesamtumweltbelastung (956 UB/kWh) auf. Auch die Stromproduktion in europäischen Stein- und Braunkohlekraftwerken verursacht mit 666 bzw. 688 UB/kWh eine hohe Gesamtumweltbelastung. Strom aus europäischen Gaskraftwerken weist mit 396 UB/kWh eine deutlich tiefere Umweltbelastung auf als die anderen fossilen Technologien. Die Stromproduktion in Schweizer Kernkraftwerken verursacht eine Gesamtumweltbelastung von 370–393 UB/kWh.

Mit Ausnahme von Pumpspeicherkraftwerken (393 UB/kWh) sind erneuerbare Technologien der Stromerzeugung deutlich umweltfreundlicher als nicht erneuerbare Alternativen. Strom aus Biogas, Holz und Fotovoltaik weist mit Werten zwischen 130 und 310 UB/kWh eine vergleichsweise hohe Umweltbelastung auf. Wasserkraftwerke verursachen mit weniger als 25 UB/kWh die tiefste Umweltbelastung unter den betrachteten Technologien der Stromerzeugung.

Strom auf Basis nicht überprüfbarer Energieträger verursacht mit 665 UB/kWh eine deutlich höhere Umweltbelastung als bisher. Bisher wurde diese Kategorie mit dem ENTSO-E Mix modelliert. Neu liegt der europäische Residualmix (EAM, siehe auch Anhang A) zugrunde.

Die Umweltbelastung von Elektrizität aus Kehrichtverbrennungsanlagen ist 0 UB pro kWh, da die gesamten Umweltauswirkungen von Abfall und dessen Verbrennung der Abfallentsorgung angerechnet werden.

Tab. 4.3 Gesamtumweltbelastung der verschiedenen Technologien der Stromproduktion nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013). Die Angaben beziehen sich auf 1 kWh produzierten Strom (ab Klemme Kraftwerk). Eine Tabelle der verwendeten Datensätze des KBOB-Ökobilanzdatenbestandes v2.2:2016 (KBOB et al. 2016) befindet sich in Anhang B.

Technologie	Gesamtumweltbelastung Methode der ökologischen Knappheit 2013
Einheit	UBP/kWh
Inlandproduktion	
Erneuerbare Energien	
Wasserkraft	
<i>Laufwasserkraft</i>	9.9
<i>Speicherswasserkraft</i>	24.1
<i>Speicherswasserkraft (zertifiziert)</i>	10.5
<i>Kleinwasserkraft</i>	11.8
<i>Pumpspeicherkraft</i>	393.3
Andere erneuerbare Energien	
<i>Sonne</i>	128.7
<i>Wind</i>	38.0
<i>Holz</i>	208.2
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	179.0
<i>Biogas Industrie</i>	310.4
<i>Biomasse KVA</i>	0.0
Nicht erneuerbare Energien	
Kernenergie	
<i>Druckwasserreaktor</i>	369.8
<i>Siedewasserreaktor</i>	392.7
Fossile Energieträger	
<i>Erdöl</i>	582.8
<i>Erdgas</i>	369.2
Abfälle	0.0
Importe	
Erneuerbare Energien	
Wasserkraft	
<i>Laufwasserkraft</i>	10.1
<i>Speicherswasserkraft</i>	19.4
<i>Kleinwasserkraft</i>	11.7
Andere erneuerbare Energien	
<i>Sonne</i>	153.0
<i>Wind</i>	25.2
<i>Holz</i>	271.3
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	179.0
<i>Biogas Industrie</i>	310.4
<i>Biomasse KVA</i>	0.0
<i>Geothermie</i>	25.2
Nicht erneuerbare Energien	
Kernenergie	
<i>Druckwasserreaktor</i>	565.5
Fossile Energieträger	
<i>Erdöl</i>	955.6
<i>Erdgas</i>	395.6
<i>Steinkohle</i>	665.6
<i>Braunkohle</i>	687.6
Abfälle	0.0
Nicht überprüfbare Energieträger (EAM)	664.5
Stromverteilung (ohne Verluste)	32.0

5 Umweltkennwerte der Schweizer Strommixe

5.1 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen pro kWh an eine Niederspannungs-Steckdose gelieferten Strom sind in Fig. 5.1 aufgeteilt nach den einzelnen Technologien zur Stromerzeugung dargestellt.

Es zeigen sich deutliche Unterschiede in der Treibhausgasintensität der vier Schweizer Strommixe. Die Treibhausgasemissionen für das Stromprodukt aus erneuerbaren Energien betragen 13.0 g CO₂-eq/kWh (9.0 g CO₂/kWh) und für den Schweizer Produktionsmix 29.8 g CO₂-eq/kWh (23.6 g CO₂/kWh). Die Treibhausgasemissionen des Schweizer Lieferanten- und Verbraucher-Strommixes sind mit 149.4 g CO₂-eq/kWh (138.5 g CO₂/kWh) und 181.5 g CO₂-eq/kWh (169.0 g CO₂/kWh) deutlich höher.

Die erhöhten Treibhausgasemissionen des Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes stammen hauptsächlich aus dem Import von Strom unbekannter Herkunft, aber auch aus dem bekannten Import aus fossil-thermischen Kraftwerken. Der Strom aus nicht überprüfbareren Energieträgern (European Attribute Mix) verursacht 87.3 % bzw. 88.8 % und der Strom aus fossil-thermischen Kraftwerken jeweils rund 2 % der Treibhausgasemissionen des Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes.

Die Stromverteilung verursacht 7.1 g CO₂-eq/kWh, was einem Anteil von zwischen 3.9 % (Verbraucher-Strommix) und 53.4 % (durchschnittliches Stromprodukt aus erneuerbaren Energien) der gesamten Treibhausgasemissionen entspricht. Bei der Stromverteilung 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.

Fig. 5.2 zeigt die Treibhausgasemissionen in g CO₂-eq pro kWh gelieferten Strom aufgeteilt in den Beitrag der unter dem Kyoto-Protokoll regulierten Treibhausgase. Die direkten CO₂-Emissionen verursachen mit 68.9 %, 79.5 %, 92.7 % und 93.1 % den grössten Anteil an den totalen Treibhausgasemissionen des durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien sowie des Produktions-, Lieferanten- und Verbraucher-Strommixes. Von Bedeutung sind ebenfalls die fossilen Methan-Emissionen im Fall des Lieferanten- und Verbraucher-Strommixes mit einem Beitrag von 4.0 %. Die biogenen CH₄-Emissionen tragen einen Anteil von 2.9 bzw. 2.8 % zu den gesamten Treibhausgasemissionen des durchschnittlichen Stromprodukts aus erneuerbaren Energien und des Produktions- Strommixes bei. Die Anteile der bei der Stromverteilung emittierten Substanzen Lachgas und Schwefelhexafluorid sind nur für den Produktions- Strommix sowie für das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien relevant (Produktions-Strommix: 6.8 und 5.3 %; durchschnittliches Stromprodukt aus erneuerbaren Energien: 12.1 und 12.0 %), da die Treibhausgasemissionen dieser Strommixe deutlich tiefer sind als jene des Lieferanten- und Verbraucher-Strommixes. Die übrigen Treibhausgase spielen eine untergeordnete Rolle.

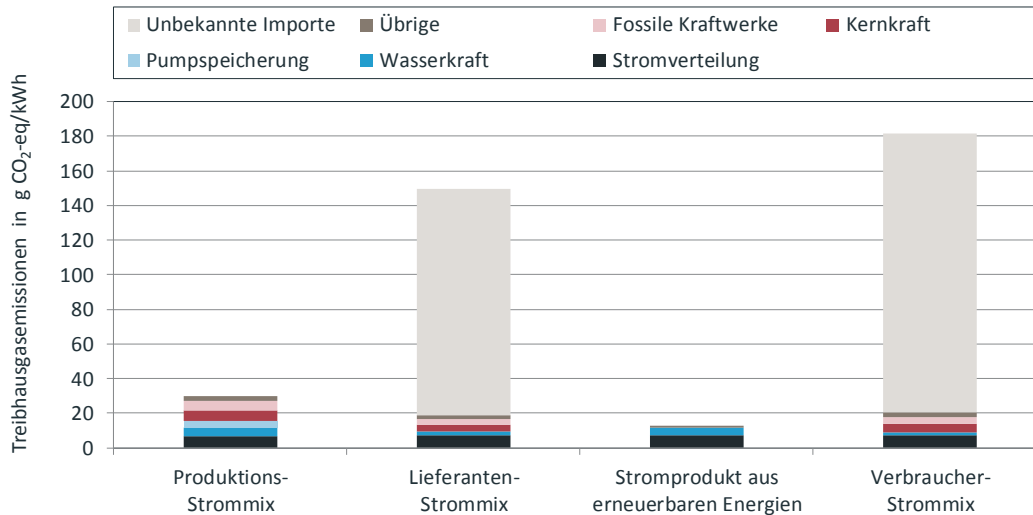


Fig. 5.1 Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommixe in g CO₂-eq pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekannt Importe werden mit dem gesamteuropäischen Residualmix (EAM) modelliert. Die Zahlen und Anteile zu den Treibhausgasemissionen sind in Tab. E 1 und Tab. E 2 im Anhang aufgeführt.

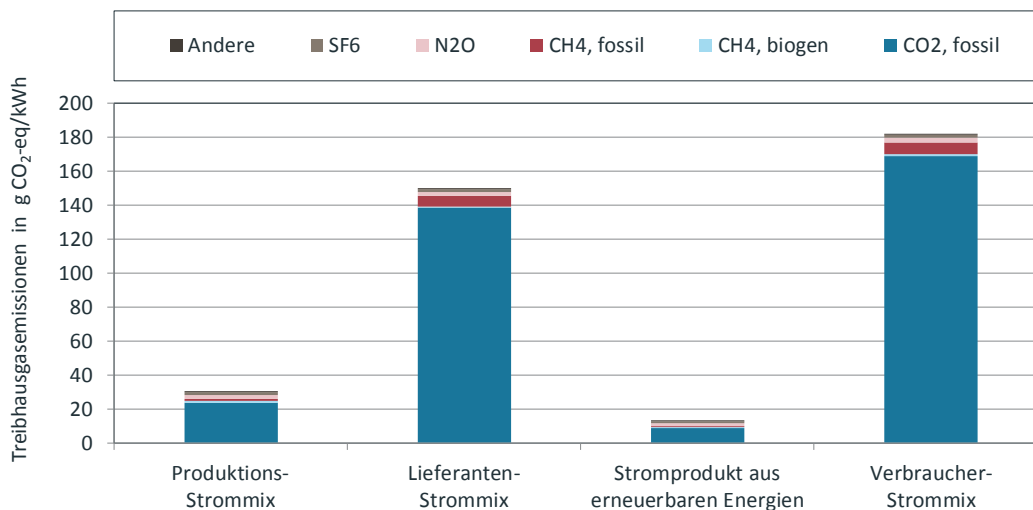


Fig. 5.2 Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommixe in g CO₂-eq pro kWh Strom aufgeteilt nach Treibhausgasen. Die Zahlen zu den Treibhausgasemissionen nach Substanz sind in Tab. E 3 im Anhang aufgeführt.

5.2 Primärenergiebedarf

Der Produktions-, Lieferanten- und der Verbraucher-Strommix verursachen einen nicht erneuerbaren kumulierten Primärenergiebedarf von 6.1, 6.8 und 8.4 MJ/kWh. Das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien weist einen deutlich tieferen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von 0.1 MJ/kWh auf. Der nicht erneuerbare kumulierte Primärenergiebedarf pro kWh Strom der vier Schweizer Strommixe ist in Fig. 5.3 dargestellt.

In allen Schweizer Strommixen ausser dem durchschnittlichen Stromprodukt aus erneuerbaren Energien trägt die Kernkraft knapp über zwei Drittel zum nicht erneuerbaren kumulierten Primärenergieaufwand bei. Verantwortlich für diesen hohen Anteil sind der hohe spezifische Primärenergiebedarf von Strom aus Kernenergie (13.4 bis 13.9 MJ/kWh; Unterkapitel 4.3) und die Bedeutung der Kernkraft in den drei Strommixen, die jeweils über 20 % zur totalen Strommenge beiträgt (Tab. 3.8). 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.

Die Pumpspeicherkraftwerke benötigen 2.3 % der nicht erneuerbaren Primärenergie des Produktions-Strommixes. Für den Lieferanten- und den Verbraucher-Strommix sind zudem die Stromimporte aus nicht überprüfbareren Energieträgern (europäischer Residualmix, EAM) von Bedeutung. Diese tragen 38.4 bzw. 38.6 % zum nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf des Lieferanten-Strommixes und des Verbraucher-Strommixes bei.

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

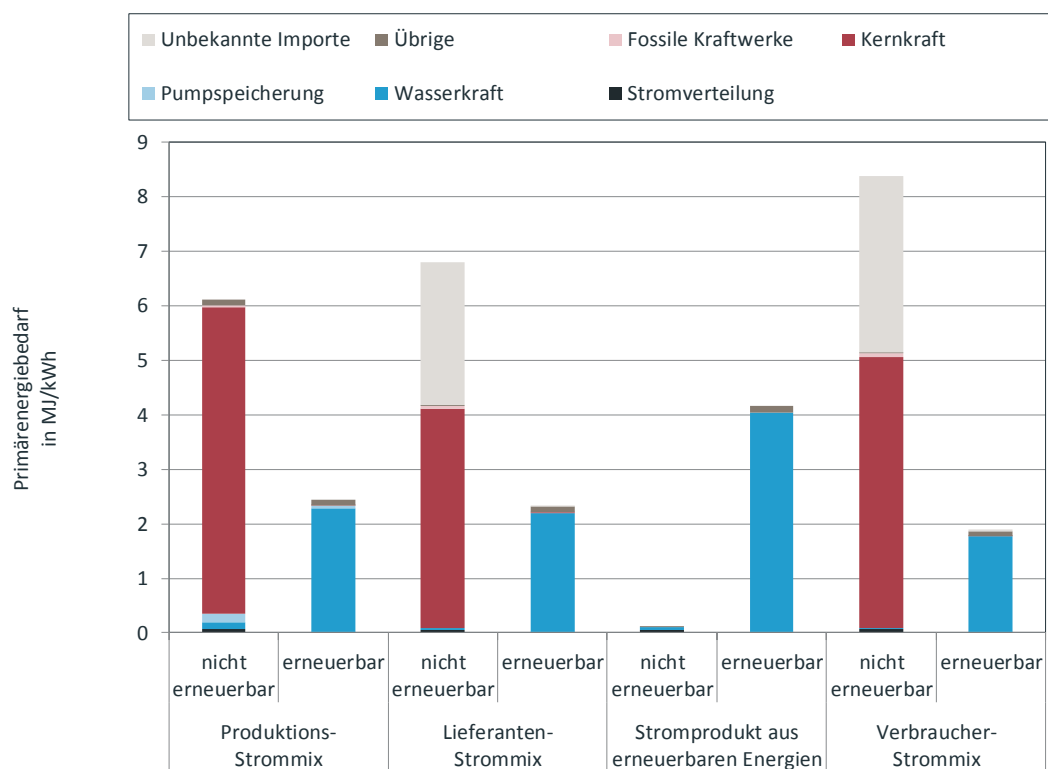


Fig. 5.3 Erneuerbare und nicht erneuerbare kumulierter Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in MJ pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekannt Importe werden mit dem europäischen Residualmix (EAM) modelliert. Die Zahlen zu dem erneuerbaren und nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf sind in Tab. F 1bis Tab. F 4im Anhang aufgeführt.

Der erneuerbare Primärenergiebedarf beträgt 2.4, 2.3, 4.2 und 1.9 MJ/kWh Strom für den Produktions-Strommix, den Lieferanten-Strommix, das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien sowie für den Verbraucher-Strommix.

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 96.7 % an Wasserkraft den höchsten erneuerbaren Primärenergiebedarf (4.2 MJ/kWh) auf.

5.3 Gesamtumweltbelastung

Die Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) der vier Schweizer Strommixe ist in Fig. 5.4 aufgeteilt nach den Technologien der Stromproduktion und der Stromverteilung dargestellt. Das durchschnittliche Stromprodukt aus erneuerbaren Energien verursacht mit 46 UBP/kWh klar die geringste Gesamtumweltbelastung unter den Schweizer Strommixen. Der Produktions-Strommix hat eine spezifische Gesamtumweltbelastung

von 214 UBP/kWh, während der Lieferanten- und der Verbraucher-Strommix 299 und 359 UBP/kWh aufweisen.

Aus Fig. 5.4 wird deutlich, dass die Gesamtumweltbelastung von Strom aus Wasserkraftwerken und anderen erneuerbaren Energien gering ist. Hingegen sind Kernkraftwerke mit 73, 40 und 41 % neben den unbekanntem Importen hauptverantwortlich für die Umweltbelastung des Produktions-, Lieferanten- und Verbraucher-Strommixes.

Der Strom aus Pumpspeicherkraftwerken trägt 3.5 % zur Gesamtumweltbelastung des Produktions-Strommixes bei. Für den Lieferanten- und den Verbraucher-Strommix sind die Stromimporte aus nicht überprüfbaren Energieträgern (europäischer Residualmix) mit einem Anteil von 45.8 bzw. 47.2 % an der spezifischen Gesamtumweltbelastung von Bedeutung. Der Strom aus fossil-thermischen Kraftwerken verursacht 0.7 % der Umweltbelastung des Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes.

Die Stromverteilung verursacht eine spezifische Gesamtumweltbelastung von 32 UBP/kWh und trägt somit zwischen 70.2 % (durchschnittliches Stromprodukt aus erneuerbaren Energien) und 8.9 % (Verbraucher-Strommix) zum Gesamtergebnis bei.

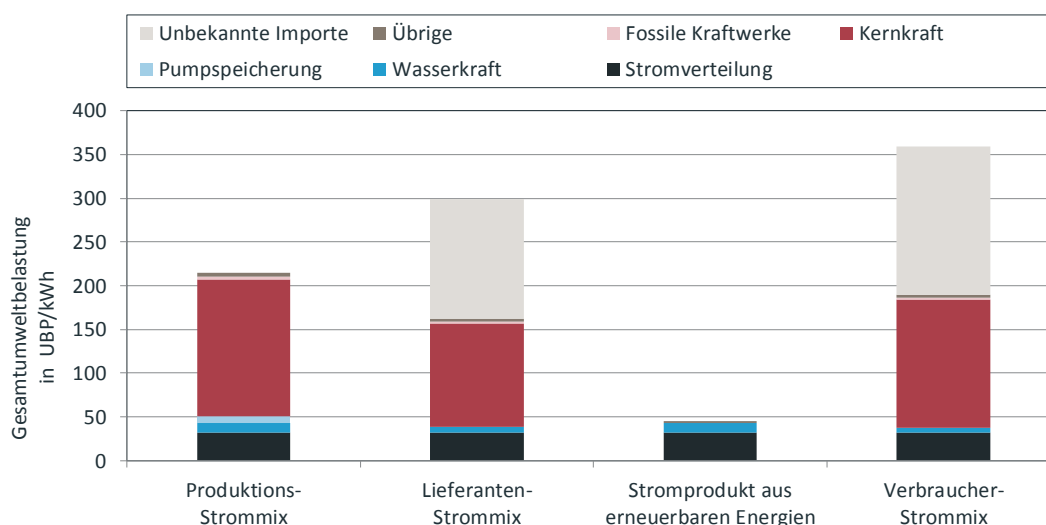


Fig. 5.4 Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 der Schweizer Strommixe in UBP pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekanntem Importe werden mit dem europäischen Residualmix (EAM) modelliert. Die Zahlen und Anteile zur Gesamtumweltbelastung sind in Tab. G 1 und Tab. G 2 im Anhang aufgeführt.

6 Analyse des Lieferanten- und Produktions-Strommixes nach Systemgrenzen des Treibhausgasinventars

6.1 Motivation

Zusätzlich zur Gesamtbetrachtung in den Kapiteln 4 und 5 sollen die Umweltbelastungen des Produktions- und Lieferantenmixes 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 Bereich 1 und 4 enthalten und werden für den Lieferanten-Strommix separat ausgewiesen, Bereich 2), die Emissionen des Stromimports (diese Emissionen sind nur für den 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 5 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 5 ermittelten Umweltkennwerte des Lieferanten-Strommixes.

6.2 Vorgehen

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

6.2.1 Bereich 1: direkte Emissionen der Schweizer Stromproduktion

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.

6.2.2 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 Lieferanten-Strommixes benötigt. Die Emissionen des Bereichs 2 werden in der Schlussrechnung von den Emissionen der Bereiche 1 und 4 abgezogen.

6.2.3 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 Lieferanten-Strommixes werden die Emissionen des Bereichs 3 zu den Emissionen der Bereiche 1 und 4 addiert.

6.2.4 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 6.2.1). 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 6.2.1).

6.3 Umweltkennwerte der Stromerzeugung nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars

In der folgenden Tabelle (Tab. 6.1) 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 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. Die An-

teile der einzelnen Treibhausgase an den gesamten Treibhausgasemissionen in g CO₂-eq./kWh sind in Tab. H 1 in Anhang H zu finden.

Tab. 6.1 Die Umweltkennwerte der inländischen Stromerzeugung mit den verschiedenen Technologien unterteilt in die Bereiche 1 und 4

Indikator	Bereich 1				Bereich 4			
	THG-Emissionen	Primärenergie nicht erneuerbar	Primärenergie erneuerbar	Gesamtumweltbelastung	THG-Emissionen	Primärenergie nicht erneuerbar	Primärenergie erneuerbar	Gesamtumweltbelastung
Einheit	g CO ₂ -eq/kWh	MJ/kWh	MJ/kWh	UBP/kWh	g CO ₂ -eq/kWh	MJ/kWh	MJ/kWh	UBP/kWh
Technologie								
Inlandproduktion								
Erneuerbare Energien								
Wasserkraft								
<i>Laufwasserkraft</i>	0.0	0.00	3.79	3.8	3.8	0.01	0.00	6.1
<i>Speicherswasserkraft</i>	0.0	0.00	3.79	3.8	11.5	0.54	0.08	20.3
<i>Speicherswasserkraft (zertifiziert)</i>	0.0	0.00	3.79	3.8	4.2	0.02	0.00	6.7
<i>Kleinwasserkraft</i>	0.0	0.00	3.79	3.8	5.0	0.01	0.00	8.0
<i>Pumpspeicherkraft</i>	0.0	0.00	0.00	0.0	211.5	14.83	2.23	393.3
Andere erneuerbare Energien								
<i>Sonne</i>	0.0	0.00	3.85	3.9	80.9	0.33	0.13	124.9
<i>Wind</i>	0.0	0.00	3.87	3.9	17.3	0.07	0.02	34.1
<i>Holz</i>	6.6	0.00	0.00	105.4	39.2	12.06	11.83	102.9
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	12.7	0.00	0.00	16.3	143.2	0.41	0.13	162.8
<i>Biogas Industrie</i>	30.1	0.00	0.00	38.5	338.3	1.76	0.30	271.9
<i>Biomasse KVA</i>	50.2	0.00	0.00	143.6	-50.2	0.00	0.00	-143.6
Nicht erneuerbare Energien								
Kernenergie								
<i>Druckwasserreaktor</i>	0.0	0.00	0.00	0.05	13.3	27.39	0.01	369.7
<i>Siedewasserreaktor</i>	0.0	0.00	0.00	0.05	14.9	26.47	0.01	392.6
Fossile Energieträger								
<i>Erdöl</i>	595.2	0.00	0.00	311.2	142.9	0.24	0.04	271.6
<i>Erdgas</i>	491.8	0.00	0.00	249.6	106.8	0.06	0.02	119.6
Abfälle	700.5	0.00	0.00	413.8	-700.5	0.00	0.00	-413.8
Stromverteilung (ohne Verluste)	0.0	0.00	0.00	0.0	7.1	0.02	0.01	32.0

6.4 Umweltkennwerte der Strommixe nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars

6.4.1 Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen pro kWh an eine Niederspannungs-Steckdose gelieferten Strom ist in Fig. 6.1 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 66 % (19.8 g CO₂-eq/kWh) direkte Emissionen. Die restlichen 34 % (10.0 g CO₂-eq/kWh) sind übrige Emissionen aus der Kraftwerkherstellung, der Stromübertragung, etc. Beim Lieferantenstrommix wird mit knapp 90 % (133.8 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 knapp 98 % vom Strom unbekannter Herkunft (europäischer Residualmix). Von den direkten Emissionen der Schweizer Kraftwerke und den übrigen Emissionen (Bereiche 1 und 4) werden knapp 48 % (14.2 g CO₂-eq/kWh) exportiert.

Die Stromverteilung verursacht 70 % der Treibhausgasemissionen des Bereichs 4 (übrige Emissionen).

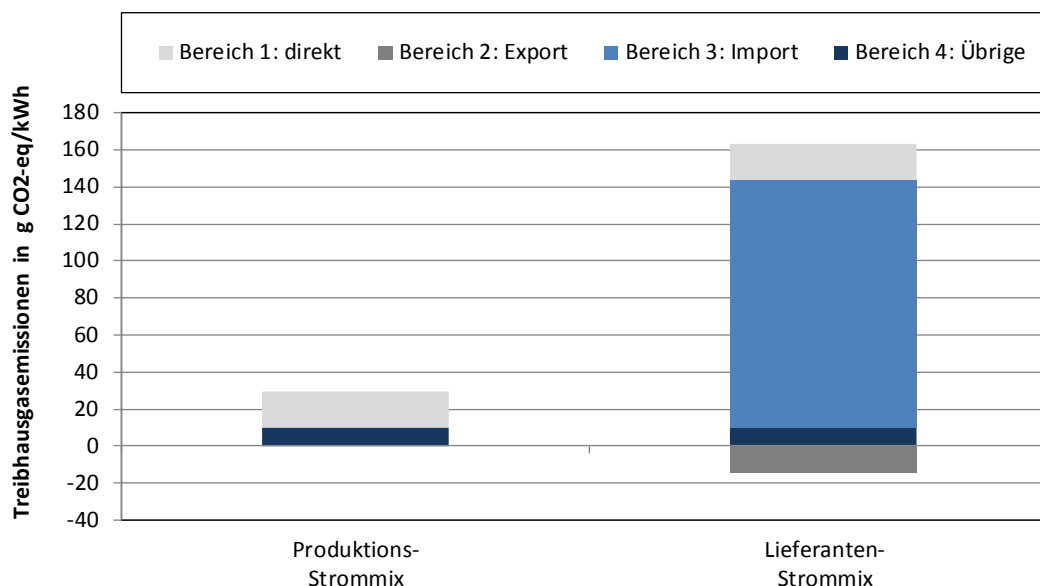


Fig. 6.1 Treibhausgasemissionen des Schweizer Produktions- und Lieferantemixes in g CO₂-eq pro kWh Strom aufgeteilt in die vier Bereiche entsprechend dem Treibhausgasinventar. Die Zahlen und Anteile zu den Treibhausgasemissionen sind in Tab. I 1 im Anhang aufgeführt.

6.4.2 Kumulierter Primärenergiebedarf

Der Produktions-Strommix weist nur im Bereich 4 (6.1 MJ/kWh) einen nicht erneuerbaren kumulierten Primärenergiebedarf auf (siehe Fig. 6.2). 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 90 % durch die Herstellung und den Betrieb der Kernkraftwerke verursacht.

Der erneuerbare Primärenergiebedarf fällt zu über 95 % (2.3 MJ/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 über 97 % durch die Wasserkraft verursacht.

Beim Lieferanten-Strommix stammen über zwei Drittel des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs aus den vorgelagerten Prozessen der Schweizer Stromproduktion (Bereich 4). Der Stromimport steuert weitere 3.1 MJ/kWh bei und durch den Stromexport wird der nicht erneuerbare Primärenergiebedarf des Lieferanten-Strommixes um 2.4 MJ/kWh reduziert.

Der grösste Anteil des erneuerbaren Primärenergiebedarfs wird durch die Schweizer Stromproduktion (2.3 MJ/kWh) verursacht. Es wird etwas mehr erneuerbarer Primärenergiebedarf exportiert (-0.4 MJ/kWh) als importiert (0.3 MJ/kWh).

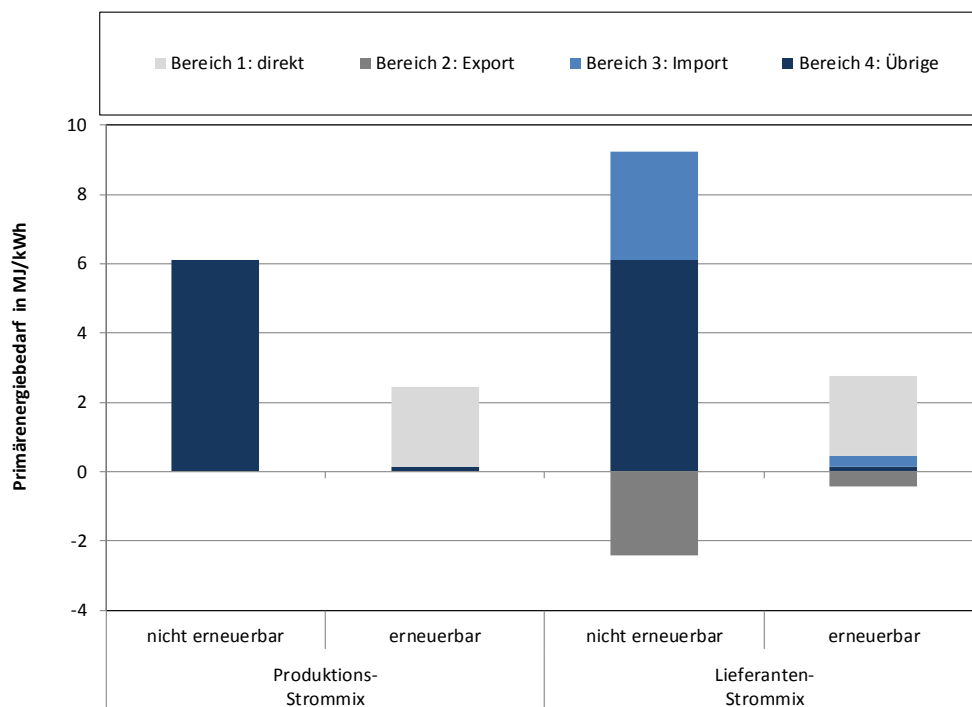


Fig. 6.2 Erneuerbarer und nicht erneuerbarer kumulierter Primärenergiebedarf des Schweizer Produktions- und Lieferanten-Strommixes in MJ pro kWh Strom aufgeteilt in die vier Bereiche. Die Zahlen und Anteile zum erneuerbaren und nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf sind in Tab. I 2 und Tab. I 3 im Anhang aufgeführt.

6.4.3 Gesamtumweltbelastung

Die Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) des Schweizer Produktions- und Lieferanten-Strommixes ist in Fig. 6.3 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 Lieferantenstrommix wird etwas mehr als die Hälfte der Umweltbelastung importiert. Ein Drittel der durch die Schweizer Kraftwerke verursachten Umweltbelastung (Bereiche 1 und 4) wird exportiert.

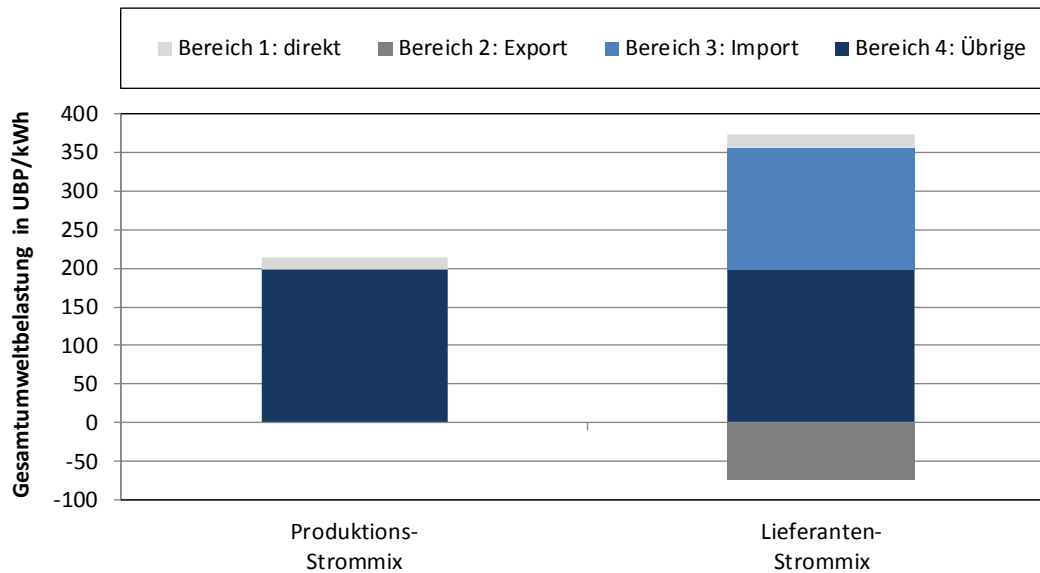


Fig. 6.3 Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 des Schweizer Produktions- und Lieferanten-Strommixes in UBP pro kWh Strom aufgeteilt in die vier verschiedenen Bereiche. Die Zahlen und Anteile zur Gesamtumweltbelastung sind in Tab. I 4 im Anhang aufgeführt.

7 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 beziehungsweise 2014 aktualisiert. Die zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen ist für die verschiedenen Schweizer Strommixe in Fig. 7.1 dargestellt.

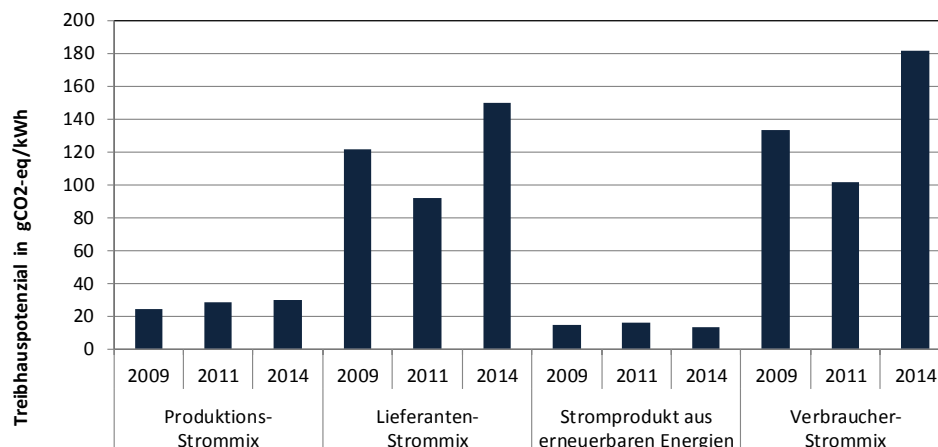


Fig. 7.1 Die zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommische in g CO₂-eq pro kWh Strom.

Die Treibhausgasemissionen des Produktions-Strommixes sind gegenüber 2009 und 2011 leicht angestiegen. Der leichte Anstieg im Vergleich zum Jahr 2011 ist sowohl auf die Erhöhung des Anteils der Stromproduktion ab Gaskraftwerken von 0.3 % auf 0.8 % im Produktions-Strommix 2014 zurückzuführen als auch auf die höheren Treibhausgasemissionen der Stromerzeugung mit Pumpspeicherkraftwerken. Bei Pumpspeicherkraftwerken werden über 97 % der Treibhausgasemissionen durch den Strombedarf (Verbraucher-Strommix) verursacht. Durch die höheren Treibhausgasemissionen des Verbraucher-Strommixes im Jahr 2014 erhöhten sich auch die Treibhausgasemissionen der Pumpspeicherkraftwerke.

Die Treibhausgasemissionen des Lieferanten- und des Verbraucher-Strommixes schwanken stark. Zwischen 2009 und 2011 sind die spezifischen Treibhausgasemissionen deutlich gesunken. Zwischen 2011 und 2014 hingegen haben die Treibhausgasemissionen stark zugenommen und liegen nun über dem Niveau von 2009. Die Treibhausgasemissionen dieser beiden Mixe werden stark vom Anteil Strom aus nicht überprüfbareren Energieträgern geprägt. Von 2009 auf 2011 hat dieser Anteil im Lieferantenmix von 18.9 % auf 12.3 % abgenommen. Die deutliche Zunahme der Treibhausgasemissionen zwischen 2011 und 2014 ist zu etwa gleichen Teilen zurückzuführen auf eine deutliche Steigerung des Imports von Strom aus unbekannteren Energieträgern (von 12.3 % auf 18.8 %) einerseits und den Wechsel vom durchschnittlichen ENTSO-E Strommix (mit spezifischen Treibhausgasemissionen von 466 g CO₂-eq/kWh) auf den europäischen Residualmix (635 g CO₂-eq/kWh) zur Modellierung dieses Stroms andererseits. Die spezifischen Treibhausgasemissionen des durchschnittlichen Stromproduktes aus erneuerbaren Energien sind im Jahr 2014 leicht gesunken. Verantwortlich für diese Veränderung ist der deutlich gesunkene Anteil an Strom aus Biomasse (industrielle Biogasanlagen, landwirtschaftliche Biogasanlagen, Holzkraftwerke).

8 Welchen Strommix verwenden?

Wie in Kapitel 2.3 dargelegt, eignen sich die in diesem Bericht dokumentierten Strommixe für eine Anwendung in beschreibenden Ökobilanzen.

Die Stromkennzeichnung des Energieversorgers und die in Tab. 4.1, Tab. 4.2 und Tab. 4.3 enthaltenen Umweltkennwerte können verwendet werden, um die Treibhausgasemissionen, den kumulierten Primärenergiebedarf oder die Gesamtumweltbelastung des bezogenen Stromprodukts zu berechnen.

Für unspezifischen Strom ab Schweizer Steckdose wird empfohlen, den Schweizer Verbraucher-Strommix zu verwenden. Der Schweizer Lieferanten-Strommix eignet sich für die Bestimmung der Umweltauswirkungen des gesamtschweizerischen Stromverbrauchs (volkswirtschaftliche Betrachtung, Betrachtung 2000-Watt-Gesellschaft). 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.

Falls ein spezifischer Strommix bekannt ist, wird empfohlen die spezifischen Umweltkennwerte dieses Strommixes mit dem Strommixrechner³ oder den im vorliegenden Bericht dokumentierten Umweltauswirkungen verschiedener Stromproduktionstechnologien zu berechnen.

³ <http://treeze.ch/de/rechner/strommixrechner-schweiz/>, Zugriff am 26. Oktober 2016

9 Datenqualität

Die Werte aus den verwendeten Statistiken erlauben eine genaue Modellierung der vier Schweizer Strommixe. 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 gering. Bei den Holzkraftwerken wurden die hohen spezifischen Lachgasemissionen auf Basis neuer Erkenntnisse nach unten korrigiert.

Die bisher grösste Unsicherheit entstand durch Annäherung des Imports von Strom aus nicht überprüfbareren Energieträgern mit dem europäischen Strommix des Stromverbundes ENTSO-E. Diese Unsicherheit konnte nun durch die Verwendung des europäischen Residualmixes (EAM) deutlich verringert werden. Dieser basiert auf einer europäischen Statistik des Handels mit Herkunftsnachweisen und repräsentiert den Mix an Kraftwerkstechnologien, die ohne Herkunftsnachweis gehandelt werden.

Die Länder, aus welchen der Strom aus fossil-thermischen und Wasserkraftwerken importiert wird, sind 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 2015 AIB (2015) European Residual Mixes 2014.
- BFE 2015a BFE (2015a) 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 2015b BFE (2015b) Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz (ed. Bundesamt für Energie BFE), Bern, CH, retrieved from: www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_303963217.zip.
- BFE 2015c BFE (2015c) Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2014. Bundesamt für Energie, Bern, CH, retrieved from: www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_455304657.pdf.
- BFE 2015d BFE (2015d) Thermische Stromproduktion inklusive Wärmekopplung (WKK) in der Schweiz 2014. Bundesamt für Energie.
- Doka 2005 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.
- Flury & Frischknecht 2012 Flury K. and Frischknecht R. (2012) Life Cycle Inventories of Hydroelectric Power Generation. ESU-services Ltd., Uster, retrieved from: www.lc-inventories.ch.
- Frischknecht et al. 1994 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 et al. 2007a Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hirschler 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 et al. 2007b Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hirschler 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 & Stucki 2010 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 & Büsser Knöpfel 2013 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 et al. 2015 Frischknecht R., Wyss F., Buesser S., Lützkendorf T. and Balouktsi M. (2015) Cumulative energy demand in LCA: the energy harvested approach. In: *Int J LCA*, 20(7), pp. 957-969, DOI: 10.1007/s11367-015-0897-4.
- Frischknecht 2016 Frischknecht R. (2016) How to derive a consequential national electricity mix: The case of a Swiss municipality. Presentation at the 62nd LCA forum, Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, 9 September, 2016.
- IAEA 2011 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 IPCC (2013) The IPCC fifth Assessment Report - Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Working Group I, IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland.
- KBOB et al. 2016 KBOB, eco-bau and IPB (2016) KBOB Ökobilanzdatenbestand v2.2:2016; 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.lc-inventories.ch.
- KEV 2014 KEV (2014) Stiftung kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) Geschäftsbericht 2014. Stiftung kostendeckende Einspeisevergütung (KEV), Frick, CH, retrieved from: <http://www.stiftung-kev.ch/berichte/jahresberichte.html>.
- Programm Kleinwasserkraftwerke 2010 Programm Kleinwasserkraftwerke (2010) Pressemappe Kleinwasserkraftwerk.
- Siemens Energy 2014 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%BChtigung%20des%20%C3%9Cbertagungsnetzes>.
- Stolz & Frischknecht 2015 Stolz P. and Frischknecht R. (2015) Umweltbilanz Strommix Schweiz 2011. treeze Ltd., Uster, CH.
- swissgrid 2016 swissgrid (2016) Cockpit Stromkennzeichnung Schweiz, Stand Mai 2016. Swissgrid AG, Zürich.

- VUE 2015 VUE (2015) Der Markt für Stromprodukte aus erneuerbaren Energien im Jahr 2014. energie schweiz, Bundesamt für Energie BFE, Zürich, CH, retrieved from: http://www.naturemade.ch/Dokumente/Kommunikation/%C3%96kostromumfrage/Marktumfrage11_d.pdf.
- Werner et al. 2014 Werner F., Hischer R., (Ed.), Bauer C., Büsser Knöpfel S., Doka G., Frischknecht R. and Wallbaum H. (2014) Aktualisierung der Modelle und Datensätze zu Holz und Holzprodukten in der Datenbankecoinvent, Zürich und St. Gallen.

A Anhang: Europäischer Residualmix

Der Residualmix eines Landes besteht aus der nach der Entwertung der Herkunftsnachweise verbleibenden produzierten Strommenge. Aufgrund der Internationalität des Strommarktes und des Herkunftsnachweissystems unterscheidet sich die verfügbare verbleibende Strommenge der Länder vom Stromverbrauch unbekannter Herkunft. Daher ist eine Harmonisierung für ganz Europa notwendig, um für die verschiedenen Länder einen korrekten Residualmix zu ermitteln. Diese Harmonisierung wird durch einen europäischen Residualmix (European Attribute Mix (EAM)) erreicht, welcher als ausgleichendes „Reservoir“ des in Europa produzierten Stroms fungiert. Im Rahmen des Projekts RE-DISS II wurde für das Jahr 2014 ein europäischer Residualmix ermittelt, welcher für die Deckung des Stromverbrauchs unbekannter Herkunft verwendet werden kann (AIB 2015). In Tab. A. 1 ist der europäische Residualmix präsentiert, wie er im Projektbericht des RE-DISS II Projekt publiziert wurde.

Tab. A. 1 Europäischer Residualmix 2014 (AIB 2015)

Technologie		Europäischer Attribut Mix
Nicht erneuerbare Energien	%	99.33%
Kernenergie	%	41.86%
Fossile Energieträger	%	57.47%
<i>Erdöl</i>	%	0.44%
<i>Erdgas</i>	%	7.18%
<i>Steinkohle</i>	%	16.36%
<i>Braunkohle</i>	%	25.63%
<i>Weitere nicht erneuerbare Energieträger</i>	%	7.85%
Erneuerbare Energien	%	0.67%
Wasserkraft	%	0.37%
Andere Erneuerbare	%	0.19%
<i>Sonne</i>	%	0.05%
<i>Wind</i>	%	0.12%
<i>Biomasse</i>	%	0.11%
<i>Geothermie</i>	%	0.00%
<i>Weitere erneuerbare Energien</i>	%	0.02%
Total	%	100.00%

Der europäische Residualmix wird geprägt von fossilen und nuklearen Kraftwerken mit Anteilen von über 57 % beziehungsweise knapp 42 %. Weniger als 1 % stammt aus erneuerbaren Energien. Innerhalb der fossilen Kraftwerke spielen die Energieträger Braun- und Steinkohle mit über 25 % beziehungsweise über 16 % die Hauptrolle. Die Anteile der Kategorien „weitere erneuerbare Energien“ sowie „weitere fossile Energieträger“ wurden den verschiedenen erneuerbaren Energien (Wind, Sonne, etc.) respektive den verschiedenen fossilen Energieträgern (Braunkohle, Erdgas, etc.) entsprechend derer Anteile zugeordnet.

Soweit als möglich wurden für die verschiedenen Technologien die europäischen oder UCTE-Datensätze verwendet. Für die Wasserkraft erfolgte basierend auf der ENTSO-E

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	
Speicherswasserkraft	electricity, hydropower, at reservoir power plant/kWh/CH U	CO ₂ -Emissionen werden als biogen modelliert, gemäss der Modellierung des Treibhausgasinventars.
Speicherswasserkraft (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	
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	
Abfälle		
Importe		
Erneuerbare Energien		
Wasserkraft		
Laufwasserkraft	electricity, hydropower, at run-of-river power plant/kWh/RER U	
Speicherswasserkraft	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 überprüfbare Energieträger (EAM)	electricity, european attribute mix, at plant/RER U	Datensatz wurde neu erstellt gemäss des europäischen Residualmixes des Projekts RE-DISS II (AIB 2015).
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 der Technologien

Tab. D 1 Anteile der einzelnen Treibhausgase an den gesamten Treibhausgasemissionen in g CO₂-eq./kWh

Technologie	CO ₂ , fossil	CH ₄ , biogen	CH ₄ , fossil	N ₂ O	SF ₆
Einheit	gCO ₂ /kWh	gCO ₂ -eq/kWh	gCO ₂ /kWh	gCO ₂ -eq/kWh	gCO ₂ -eq/kWh
Inlandproduktion					
Erneuerbare Energien					
Wasserkraft					
<i>Laufwasserkraft</i>	3.2	0.4	0.2	0.0	0.0
<i>Speicherswasserkraft</i>	10.9	0.0	0.4	0.1	0.0
<i>Speicherswasserkraft (zertifiziert)</i>	4.0	0.0	0.1	0.0	0.0
<i>Kleinwasserkraft</i>	4.7	0.0	0.3	0.0	0.0
<i>Pumpspeicherkraft</i>	198.7	1.0	8.6	3.2	0.0
Andere erneuerbare Energien					
<i>Sonne</i>	69.7	0.1	8.6	0.6	1.5
<i>Wind</i>	15.7	0.0	1.4	0.2	0.0
<i>Holz</i>	36.8	0.2	1.9	6.8	0.0
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	19.5	52.6	1.0	82.7	0.1
<i>Biogas Industrie</i>	110.3	206.0	7.0	44.8	0.2
<i>Biomasse KVA</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nicht erneuerbare Energien					
Kernenergie					
<i>Druckwasserreaktor</i>	12.4	0.0	0.7	0.2	0.0
<i>Siedewasserreaktor</i>	13.9	0.0	0.8	0.2	0.0
Fossile Energieträger					
<i>Erdöl</i>	698.5	0.0	28.5	10.9	0.1
<i>Erdgas</i>	517.7	0.0	69.7	11.1	0.0
<i>Abfälle</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Importe					
Erneuerbare Energien					
Wasserkraft					
<i>Laufwasserkraft</i>	3.4	0.4	0.2	0.0	0.0
<i>Speicherswasserkraft</i>	4.3	1.3	0.2	0.3	0.0
<i>Kleinwasserkraft</i>	4.7	0.0	0.3	0.0	0.0
Andere erneuerbare Energien					
<i>Sonne</i>	85.2	0.1	10.6	0.7	2.0
<i>Wind</i>	10.2	0.0	0.9	0.1	0.0
<i>Holz</i>	35.4	0.2	1.8	6.8	0.0
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	19.5	52.6	1.0	82.7	0.1
<i>Biogas Industrie</i>	110.3	206.0	7.0	44.8	0.2
<i>Biomasse KVA</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Geothermie</i>	10.2	0.0	0.9	0.1	0.0
Nicht erneuerbare Energien					
Kernenergie					
<i>Druckwasserreaktor</i>	5.6	0.0	0.3	0.2	0.0
Fossile Energieträger					
<i>Erdöl</i>	869.6	0.0	27.2	10.5	0.1
<i>Erdgas</i>	603.9	0.0	40.0	2.8	0.1
<i>Steinkohle</i>	967.5	0.2	135.0	11.0	0.0
<i>Braunkohle</i>	1202.7	0.0	10.0	7.6	0.0
<i>Abfälle</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nicht überprüfbare Energieträger (EAM)	606.1	0.1	25.1	3.4	0.0
Stromverteilung (ohne Verluste)	3.8	0.0	0.21	1.5	1.5

E Anhang: Treibhausgasemissionen

Tab. E 1 Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommixe in g CO₂-eq pro kWh Strom (Niederspannung) aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekannt Importe werden mit dem europäischen Residualmix (EAM) modelliert. In der Rubrik „Übrige“ sind die erneuerbaren Energien Photovoltaik, Biogas, Holz, Wind und Abfall zusammengefasst.

Treibhausgas-Emissionen	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix
Wasserkraft	g CO ₂ -eq/kWh	4.8	2.4	4.4	1.9
Pumpspeicherung	g CO ₂ -eq/kWh	4.0	0.0	0.0	0.0
Kernkraft	g CO ₂ -eq/kWh	6.1	4.1	0.0	5.1
Fossile Kraftwerke	g CO ₂ -eq/kWh	5.3	3.2	0.0	4.0
Übrige	g CO ₂ -eq/kWh	2.6	2.2	1.6	2.4
Unbekannte Importe	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	130.4	0.0	161.1
Stromverteilung	g CO ₂ -eq/kWh	7.1	7.1	7.1	7.1
Total	g CO₂-eq/kWh	29.8	149.4	13.0	181.5

Tab. E 2 Anteile der verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung an den Treibhausgasemissionen der Schweizer Strommixe in Prozent. Die unbekannt Importe werden mit dem europäischen Residualmix (EAM) modelliert. In der Rubrik „Übrige“ sind die erneuerbaren Energien Photovoltaik, Biogas, Holz, Wind und Abfall zusammengefasst.

Treibhausgas-Emissionen	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix
Wasserkraft	%	16.1%	1.6%	33.6%	1.1%
Pumpspeicherung	%	13.4%	0.0%	0.0%	0.0%
Kernkraft	%	20.4%	2.7%	0.0%	2.8%
Fossile Kraftwerke	%	17.7%	2.1%	0.0%	2.2%
Übrige	%	8.9%	1.5%	12.2%	1.3%
Unbekannte Importe	%	0.0%	87.3%	0.0%	88.8%
Stromverteilung	%	23.5%	4.7%	53.4%	3.9%
Total	%	76.5%	95.3%	45.9%	96.1%

Tab. E 3 Anteile der einzelnen Treibhausgase an den gesamten Treibhausgasemissionen in Prozent

Treibhausgas-Emissionen	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix
CO ₂ , fossil	%	79.5%	92.7%	68.9%	93.1%
CH ₄ , biogen	%	2.8%	0.5%	2.9%	0.4%
CH ₄ , fossil	%	5.5%	4.0%	3.8%	4.0%
N ₂ O	%	6.8%	1.7%	12.1%	1.5%
SF ₆	%	5.3%	1.0%	12.0%	0.9%
Andere	%	0.1%	0.0%	0.2%	0.0%
Total	%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

F Anhang: Primärenergiebedarf

Tab. F 1 Nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in MJ pro kWh Strom (Niederspannung) aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekanntten Importe werden mit dem europäischen Residualmix (EAM) modelliert. In der Rubrik „Übrige“ sind die erneuerbaren Energien Photovoltaik, Biogas, Holz, Wind und Abfall zusammengefasst.

Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix
Wasserkraft	MJ/kWh	0.1	0.0	0.0	0.0
Pumpspeicherung	MJ/kWh	0.1	0.0	0.0	0.0
Kernkraft	MJ/kWh	5.6	4.0	0.0	5.0
Fossile Kraftwerke	MJ/kWh	0.0	0.1	0.0	0.1
Übrige	MJ/kWh	0.1	0.0	0.0	0.0
Unbekannte Importe	MJ/kWh	0.0	2.6	0.0	3.2
Stromverteilung	MJ/kWh	0.1	0.1	0.1	0.1
Total	MJ/kWh	6.1	6.8	0.1	8.4

Tab. F 2 Anteile der verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung am nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in Prozent. Die unbekanntten Importe werden mit dem europäischen Residualmix (EAM) modelliert. In der Rubrik „Übrige“ sind die erneuerbaren Energien Photovoltaik, Biogas, Holz, Wind und Abfall zusammengefasst.

Primärenergiebedarf, nicht erneuerbar	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix
Wasserkraft	%	2.3%	0.4%	37.9%	0.2%
Pumpspeicherung	%	2.3%	0.0%	0.0%	0.0%
Kernkraft	%	92.1%	59.3%	0.0%	59.4%
Fossile Kraftwerke	%	0.6%	0.8%	0.0%	0.8%
Übrige	%	1.8%	0.3%	15.3%	0.3%
Unbekannte Importe	%	0.0%	38.4%	0.0%	38.6%
Stromverteilung	%	1.0%	0.8%	46.8%	0.8%
Total	%	99.0%	99.2%	53.2%	99.2%

Tab. F 3 Erneuerbarer Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in MJ pro kWh Strom (Niederspannung) aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekannt Importe werden mit dem europäischen Residualmix (EAM) modelliert. In der Rubrik „Übrige“ sind die erneuerbaren Energien Photovoltaik, Biogas, Holz, Wind und Abfall zusammengefasst.

Primärenergiebedarf, erneuerbar	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix
Wasserkraft	MJ/kWh	2.3	2.2	4.0	1.8
Pumpspeicherung	MJ/kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Kernkraft	MJ/kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Fossile Kraftwerke	MJ/kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Übrige	MJ/kWh	0.1	0.1	0.1	0.1
Unbekannte Importe	MJ/kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Stromverteilung	MJ/kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	MJ/kWh	2.4	2.3	4.2	1.9

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

Primärenergiebedarf erneuerbar	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix
Wasserkraft	%	93.2%	93.9%	96.7%	92.6%
Pumpspeicherung	%	1.7%	0.0%	0.0%	0.0%
Kernkraft	%	0.2%	0.1%	0.0%	0.2%
Fossile Kraftwerke	%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Übrige	%	4.6%	5.1%	3.1%	4.8%
Unbekannte Importe	%	0.0%	0.5%	0.0%	2.0%
Stromverteilung	%	0.3%	0.4%	0.2%	0.4%
Total	%	99.7%	99.6%	99.8%	99.6%

G Anhang: Gesamtumweltbelastung

Tab. G 1 Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 der Schweizer Strommixe in UBP pro kWh Strom (Niederspannung) aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekanntenen Importe werden mit dem europäischen Residualmix (EAM) modelliert. In der Rubrik „Übrige“ sind die erneuerbaren Energien Photovoltaik, Biogas, Holz, Wind und Abfall zusammengefasst.

Gesamtumweltbelastung	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix
Wasserkraft	UBP/kWh	10.6	6.1	11.0	4.9
Pumpspeicherung	UBP/kWh	7.5	0.0	0.0	0.0
Kernkraft	UBP/kWh	156.8	118.7	0.0	146.7
Fossile Kraftwerke	UBP/kWh	3.4	2.1	0.0	2.5
Übrige	UBP/kWh	3.9	3.3	2.6	3.5
Unbekannte Importe	UBP/kWh	0.0	137.0	0.0	169.4
Stromverteilung	UBP/kWh	32.0	32.0	32.0	32.0
Total	UBP/kWh	214.2	299.2	45.6	359.0

Tab. G 2 Anteile der verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung an der Gesamtumweltbelastung der Schweizer Strommixe in Prozent. Die unbekanntenen Importe werden mit dem europäischen Residualmix (EAM) modelliert. In der Rubrik „Übrige“ sind die erneuerbaren Energien Photovoltaik, Biogas, Holz, Wind und Abfall zusammengefasst.

Gesamtumweltbelastung	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Stromprodukt aus erneuerbaren Energien	Verbraucher-Strommix
Wasserkraft	%	5.0%	2.0%	24.2%	1.4%
Pumpspeicherung	%	3.5%	0.0%	0.0%	0.0%
Kernkraft	%	73.2%	39.7%	0.0%	40.9%
Fossile Kraftwerke	%	1.6%	0.7%	0.0%	0.7%
Übrige	%	1.8%	1.1%	5.7%	1.0%
Unbekannte Importe	%	0.0%	45.8%	0.0%	47.2%
Stromverteilung	%	14.9%	10.7%	70.2%	8.9%
Total	%	85.1%	89.3%	29.8%	91.1%

H Anhang: Analyse der Treibhausgasemissionen der Technologien nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars

Tab. H 1 Anteile der einzelnen Treibhausgase an den gesamten Treibhausgasemissionen in g CO₂-eq./kWh der einzelnen Technologien nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars

Indikator	Bereich 1					Bereich 4				
	CO ₂ , fossil gCO ₂ /kWh	CH ₄ , biogen gCO ₂ -eq/kWh	CH ₄ , fossil gCO ₂ /kWh	N ₂ O gCO ₂ -eq/kWh	SF ₆ gCO ₂ -eq/kWh	CO ₂ , fossil gCO ₂ /kWh	CH ₄ , biogen gCO ₂ -eq/kWh	CH ₄ , fossil gCO ₂ /kWh	N ₂ O gCO ₂ -eq/kWh	SF ₆ gCO ₂ -eq/kWh
Technologie										
Inlandproduktion										
Erneuerbare Energien										
Wasserkraft										
<i>Laufwasserkraft</i>	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	3.2	0.4	0.16	0.0	0.0
<i>Speicherkraft</i>	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	10.9	0.0	0.45	0.1	0.0
<i>Speicherkraft (zertifiziert)</i>	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	4.0	0.0	0.15	0.0	0.0
<i>Kleinkraft</i>	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	4.7	0.0	0.27	0.0	0.0
<i>Pumpspeicherkraft</i>	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	198.7	1.0	8.59	3.2	0.0
Andere erneuerbare Energien										
<i>Sonne</i>	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	69.7	0.1	8.64	0.6	1.5
<i>Wind</i>	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	15.7	0.0	1.38	0.2	0.0
<i>Holz</i>	0.0	0.1	0.00	6.4	0.0	36.8	0.0	1.91	0.3	0.0
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	0.0	6.2	0.00	6.4	0.0	19.5	46.4	0.97	76.3	0.1
<i>Biogas Industrie</i>	0.0	18.9	0.00	11.2	0.0	110.3	187.1	7.03	33.6	0.2
<i>Biogas KVA</i>	15.9	0.0	0.02	34.3	0.0	-15.9	0.0	-0.02	-34.3	0.0
Nicht erneuerbare Energien										
Kernenergie										
<i>Druckwasserreaktor</i>	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	12.4	0.0	0.72	0.2	0.0
<i>Siedewasserreaktor</i>	0.0	0.0	0.00	0.0	0.0	13.8	0.0	0.83	0.2	0.0
Fossile Energieträger										
<i>Erdoil</i>	581.9	0.0	2.83	10.4	0.0	116.6	0.0	25.67	0.5	0.1
<i>Erdoilgas</i>	461.3	0.0	19.68	10.9	0.0	56.4	0.0	50.06	0.2	0.0
Abfälle	682.4	0.01	0.01	18.1	0.0	-682.4	-0.01	-0.01	-18.1	0.0
Stromverteilung (ohne Verluste)	0.0	0.00	0.00	0.0	0.0	3.8	0.00	0.21	1.5	1.5

I Anhang: Analyse der Strommixe nach den Systemgrenzen des Treibhausgasinventars

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

Treibhausgas-Emissionen	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix
Bereich 1: direkt	g CO ₂ -eq/kWh	19.8	19.8
Bereich 2: Export	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	-14.2
Bereich 3: Import	g CO ₂ -eq/kWh	0.0	133.8
Bereich 4: Übrige	g CO ₂ -eq/kWh	10.0	10.0
Total	g CO₂-eq/kWh	29.8	149.4

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

Primärenergiebedarf nicht erneuerbar	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix
Bereich 1: direkt	MJ/kWh	0.0	0.0
Bereich 2: Export	MJ/kWh	0.0	-2.4
Bereich 3: Import	MJ/kWh	0.0	3.1
Bereich 4: Übrige	MJ/kWh	6.1	6.1
Total	MJ/kWh	6.1	6.8

Tab. I 3 Erneuerbarer Primärenergiebedarf des Schweizer Produktions- und Lieferanten-Strommixes in MJ. pro kWh Strom (Niederspannung) aufgeteilt in die vier verschiedenen Bereiche.

Primärenergiebedarf gesamt	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix
Bereich 1: direkt	MJ/kWh	2.3	2.3
Bereich 2: Export	MJ/kWh	0.0	-2.8
Bereich 3: Import	MJ/kWh	0.0	3.4
Bereich 4: Übrige	MJ/kWh	6.3	6.3
Total	MJ/kWh	8.6	9.1

Tab. I 4 Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 des Schweizer Produktions- und Lieferanten-Strommixes in UBP pro kWh Strom (Niederspannung) aufgeteilt in die vier verschiedenen Bereiche.

Gesamtumweltbelastung	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix
Bereich 1: direkt	UBP/kWh	15.9	15.9
Bereich 2: Export	UBP/kWh	0.0	-73.6
Bereich 3: Import	UBP/kWh	0.0	158.6
Bereich 4: Übrige	UBP/kWh	198.4	198.4
Total	UBP/kWh	214.2	299.2