

---

# Umweltbilanz Strommix Schweiz 2011

---

Autoren

**Philippe Stolz, Rolf Frischknecht**

Kunde

**Bundesamt für Umwelt BAFU**

Uster, 6. Januar 2015

---

## Impressum

---

Titel	Umweltbilanz Strommix Schweiz 2011
Autoren	Philippe Stolz; Rolf Frischknecht treeze Ltd., fair life cycle thinking Kanzleistr. 4, CH-8610 Uster <a href="http://www.treeze.ch">www.treeze.ch</a> Phone +41 44 940 61 91, Fax +41 44 940 61 94 info@treeze.ch
Kunde	Bundesamt für Umwelt BAFU
Copyright	All content provided in this report is copyrighted, except when noted otherwise. Such information must not be copied or distributed, in whole or in part, without prior written consent of treeze Ltd. or the customer. A provision of this report or of files and information from this report on other websites is not permitted. Any other means of distribution, even in altered forms, require the written consent. Any citation naming treeze Ltd. or the authors of this report shall be provided to the authors before publication for verification.
Liability Statement	Information contained herein have been compiled or arrived from sources believed to be reliable. Nevertheless, the authors or their organizations do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility.
Version	537-Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2011-v1.1, 06.01.2015 11:17:00

---

## Abkürzungsverzeichnis

---

a	Jahr (annum)
CH	Schweiz
CH <sub>4</sub>	Methan
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
CO <sub>2</sub> -eq	Kohlendioxid-Äquivalente
ENTSO-E	Verband Europäischer Übertragungsnetzbetreiber (engl. European Network of Transmission System Operators for Electricity)
GWP	Treibhauspotenzial (engl. global warming potential)
KEV	kostendeckende Einspeisevergütung
kWh	Kilowattstunde
MJ	Megajoule
N <sub>2</sub> O	Lachgas / Distickstoffmonoxid
RER	Europa
SF <sub>6</sub>	Schwefelhexafluorid
UBP	Umweltbelastungspunkte
VUE	Verein für umweltgerechte Energie

---

## Zusammenfassung

---

Dieser Kurzbericht enthält die wesentlichen Informationen darüber, wie die vier Schweizer Strommixe in der vorliegenden Umweltbilanz modelliert werden und aus welchen Technologien sie zusammengesetzt sind. Die Schweizer Strommixe werden nach den drei Umweltkennwerten Treibhausgasemissionen, kumulierter Primärenergiebedarf (gesamt 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.

Die Umweltbilanz der Schweizer Strombereitstellung bezieht sich auf 1 kWh Strom, geliefert an eine Niederspannungs-Steckdose in der Schweiz im Jahr 2011. Es wird unterschieden zwischen dem Produktions-Strommix (in der Schweiz produzierter Strom), dem Lieferanten-Strommix (an die Schweizer Endkunden gelieferter Strom), dem zertifizierten Strommix und dem Egal-Strommix (Lieferanten-Strommix minus zertifizierter Strommix).

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 (53.7 %), gefolgt von Kernkraft (40.6 %) und Abfällen (3.2 %). Der Schweizer Lieferanten-Strommix unterscheidet sich deutlich vom Schweizer Produktions-Strommix. Die Anteile von Strom aus Wasserkraft (34.5 %) und Kernkraft (32.8 %) aus schweizerischen Kraftwerken sind im Lieferanten-Strommix deutlich geringer als im Produktions-Strommix. Dies ist auf den hohen Anteil der Stromimporte zurückzuführen (33.9 %). Die Importe teilen sich ungefähr zu je einem Drittel auf Strom aus erneuerbaren (9.5 %), nicht erneuerbaren (12.0 %) und nicht überprüfbaren (12.3 %; modelliert mit dem europäischen Strommix) Energien auf.

Der zertifizierte Strommix besteht zu 97.4 % aus Wasserkraft. Strom aus Windkraftwerken steuert 1.0 % zum zertifizierten Strommix bei, während die anderen erneuerbaren Energien Anteile von weniger als 0.5 % haben. Der Egal-Strommix weist verglichen mit dem Lieferanten-Strommix einen kleineren Anteil an Wasserkraft (26.1 %) auf, da die Produktion mit zertifizierter und separat verkaufter Wasserkraft abgezogen wurde. Durch den Abzug der in der Schweiz produzierten zertifizierten Wasserkraft kommt es vor allem zu einer Erhöhung der Anteile von Strom aus schweizerischen Kernkraftwerken (37.2 %) und von Stromimporten (38.4 %).

Die Treibhausgasemissionen des gelieferten Stroms betragen 15.6 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh (10.0 g CO<sub>2</sub>/kWh) für den zertifizierten Strommix und 28.1 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh (21.0 g CO<sub>2</sub>/kWh) für den Schweizer Produktions-Strommix. Die Treibhausgasemis-

sionen des Schweizer Lieferanten- und Egal-Strommixes sind mit 91.5 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh (81.6 g CO<sub>2</sub>/kWh) und 101.5 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh (91.1 g CO<sub>2</sub>/kWh) deutlich höher. Die erhöhten Treibhausgasemissionen stammen hauptsächlich aus dem Import von Strom unbekannter Herkunft über den Stromhandel, aber auch aus dem bekannten Import von Strom aus fossil-thermischen Kraftwerken.

Der kumulierte Primärenergiebedarf des Produktions-, Lieferanten- und des Egal-Strommixes ist mit 9.0, 10.1 und 10.8 MJ/kWh ähnlich hoch. Der zertifizierte Strommix weist einen deutlich tieferen Primärenergiebedarf von 4.4 MJ/kWh auf. Dieser Unterschied ist vor allem auf den Strom aus Kernkraftwerken zurückzuführen. In geringerem Ausmass tragen auch die Stromimporte aus nicht überprüfbareren Energieträgern zum erhöhten kumulierten Primärenergiebedarf des Lieferanten- und des Egal-Strommixes bei.

Der nicht erneuerbare kumulierte Primärenergiebedarf beträgt 6.7, 8.0, 0.1 und 9.1 MJ/kWh Strom für den Produktions-, Lieferanten-, zertifizierten und den Egal-Strommix. Die Differenz zum gesamten kumulierten Primärenergiebedarf ist vor allem im geringen spezifischen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf von Strom aus Wasserkraft und anderen erneuerbaren Energien begründet.

Die Gesamtumweltbelastung des zertifizierten Strommixes ist mit 47 UBP/kWh deutlich tiefer als bei den anderen Schweizer Strommixen. Der Produktions-Strommix hat eine spezifische Gesamtumweltbelastung von 229 UBP/kWh, während die Gesamtumweltbelastung des Lieferanten- und des Egal-Strommix 311 und 346 UBP/kWh beträgt. Die spezifische Gesamtumweltbelastung von Strom aus Wasserkraftwerken und anderen erneuerbaren Energien ist gering. Die Kernkraftwerke sind darum hauptverantwortlich für die Umweltbelastung des Produktions-, Lieferanten- und Egal-Strommixes. Für den zertifizierten Strommix ist vor allem die Gesamtumweltbelastung der Stromverteilung bedeutend.

Für unspezifischen Strom ab Schweizer Steckdose wird empfohlen, den Schweizer Egal-Strommix zu verwenden. Der Schweizer Lieferanten-Strommix eignet sich für die Bestimmung der Umweltauswirkungen des gesamtschweizerischen Stromverbrauchs (volkswirtschaftliche Betrachtung). Für die Bilanzierung von unspezifischen zertifizierten Stromprodukten ist der zertifizierte Strommix die richtige Wahl.

Die Stromkennzeichnung des Energieversorgers und die in diesem Bericht enthaltenen Umweltkennwerte können verwendet werden, um die Treibhausgasemissionen, den kumulierten Primärenergiebedarf oder die Gesamtumweltbelastung des bezogenen, kundenspezifischen Stromprodukts zu berechnen.

---

# Inhalt

---

1	AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG	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	Zertifizierter Strommix	10
3.5	Egal-Strommix	11
3.6	Zusammenfassung Sachbilanz	11
4	UMWELTKENNWERTE DER STROMERZEUGUNG	14
4.1	Treibhausgasintensität	14
4.2	Kumulierter Primärenergiebedarf	17
4.3	Gesamtumweltbelastung	19
5	UMWELTKENNWERTE DER SCHWEIZER STROMMIXE	21
5.1	Treibhausgasintensität	21
5.2	Kumulierter Primärenergiebedarf	23
5.3	Gesamtumweltbelastung	25
6	WELCHEN STROMMIX VERWENDEN?	27
7	DATENQUALITÄT	28
	REFERENZEN	29
A	ANHANG: TREIBHAUSGASINTENSITÄT	32
B	ANHANG: KUMULIERTER PRIMÄRENERGIEBEDARF	34
C	ANHANG: GESAMTUMWELTBELASTUNG	36

# 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 in der vorliegenden Umweltbilanz modelliert und welche Elemente dabei berücksichtigt werden. Zusätzlich zu den Treibhausgasemissionen werden auch die Kennwerte Gesamtumweltbelastung und kumulierter Primärenergiebedarf (gesamt und nicht erneuerbar) quantifiziert. Schliesslich wird analysiert, welche Technologien die Hauptanteile zu den Umweltbelastungs-Kennwerten beisteuern.

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

## 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 2011.

### 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 SF<sub>6</sub>-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.

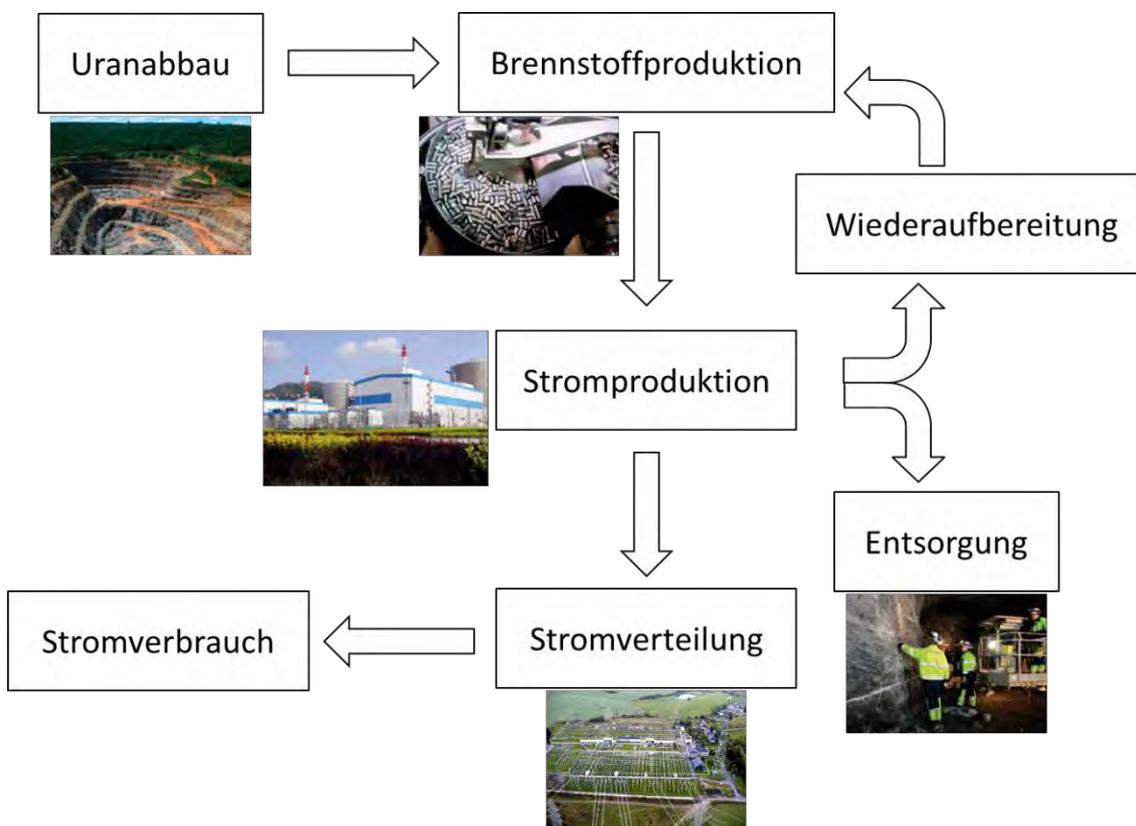


Fig. 2.1 Schematische Darstellung der Strombereitstellung am Beispiel der Kernenergie. Die Umweltauswirkungen des Stromverbrauchs fallen nicht in den Untersuchungsrahmen dieses Projekts. Die vier oberen Bilder wurden aus IAEA (2011) entnommen und das Bild zur Stromverteilung stammt von Siemens Energy (2014).

Hierbei werden für drei Spannungsebenen, nämlich Hoch-, Mittel- und Niederspannung, 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 2012a).

	Verfügbare Strommenge	Stromabsatz	Verluste Total	Verluste	Kumulierte Verluste	Anteil Stromabsatz <sup>1</sup>	Anteil Verluste <sup>1</sup>
Einheit	GWh	GWh	GWh	%	%	%	%
Schweizer Landesverbrauch	63'002	58'599	4'403	6.99%		100%	100%
Verbrauch Hochspannung	61'285	2'344	1'717	2.80%	2.80%	4%	39%
Verbrauch Mittelspannung	58'368	18'752	572	0.98%	3.81%	32%	13%
Verbrauch Niederspannung	37'503	37'503	2'113	5.64%	9.66%	64%	48%

<sup>1</sup> Persönliche Mitteilung: Gerhard Emch, ewz (22.06.2011).

Die Umweltbilanzen der einzelnen Technologien werden auf Basis des ecoinvent Datenbestandes v2.2+ modelliert (KBOB et al. 2014).

### 2.3 Anwendungsbereich

Die hier dokumentierten Umweltbilanzen der Schweizer Strombereitstellung beschreiben den Zustand im Jahr 2011. 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 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).

## 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). Bei der Modellierung des Lieferantenmixes bedient man sich eines Gedankenmodells, um den Importanteil des an Schweizer Steckdosen gelieferten Stroms bestimmen zu können. Das Bundesamt für Energie führt 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 zertifizierte Stromprodukte an. Das Absatzvolumen dieser zertifizierten Stromprodukte hat stark zugenommen. Deshalb ist es angebracht, den Lieferantenmix aufzuteilen in einen zertifizierten Strommix und einen sogenannten Egal-Strommix. Fig. 3.1 gibt einen Überblick über den Modellansatz der vier Schweizer Strommixe.

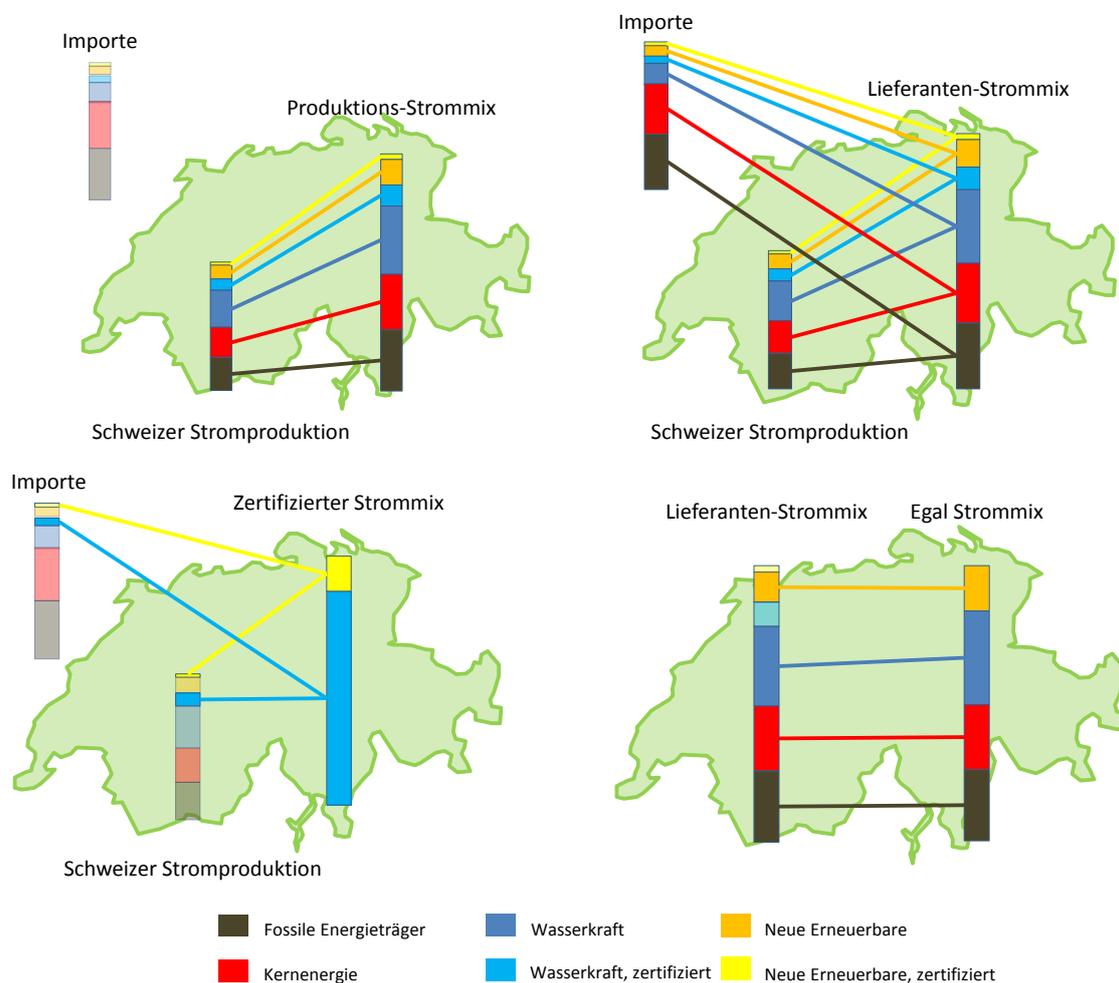


Fig. 3.1 Modellansatz für den Produktions-Strommix (oben links), den Lieferanten-Strommix (oben rechts), den zertifizierten Strommix (unten links) und den Egal-Strommix (unten rechts).

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 2012a). In der Schweiz wird Elektrizität hauptsächlich mit Wasserkraft (53.7 %) und Kernkraft (40.6 %) produziert.

Tab. 3.1 Anteile der einzelnen Technologien an der gesamten Schweizer Stromproduktion (BFE 2012a).

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
<b>Wasserkraft</b>	<b>33'795.0</b>	<b>53.74%</b>
Laufwasserkraft	11'333.0	18.02%
Speicherwasserkraft	17'740.3	28.21%
Kleinwasserkraft	3'400.0	5.41%
Pumpspeicherkraft	1'321.7	2.10%
<b>Kernenergie</b>	<b>25'560.0</b>	<b>40.65%</b>
Druckwasserreaktor	13'596.0	21.62%
Siedewasserreaktor	11'964.0	19.03%
<b>Übrige</b>	<b>3'526.0</b>	<b>5.61%</b>
<b>Total Brutto (inkl Speicherpumpen)</b>	<b>62'881.0</b>	<b>100.00%</b>

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 2011 (BFE 2012a). Der Anteil für Kleinwasserkraft ist aus dem Programm Kleinwasserkraftwerke (2010) und Flury & Frischknecht (2012) abgeleitet.

Der Verbrauch der Speicherpumpen beträgt im Jahr 2011 2'466 GWh. Davon werden 814 GWh für Zulieferpumpen eingesetzt (BFE 2012b). Der Strombedarf der Zulieferpumpen wird bei der Stromproduktion mit Speicherkraftwerken als Aufwand verbucht. Der restliche Stromverbrauch von Speicherpumpen (1'652 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 1'322 GWh.

Der Strom aus Kernenergie wird entsprechend der Produktion einzelnen Schweizer Kernkraftwerke gemäss Elektrizitätsstatistik auf die unterschiedlichen Reaktortypen aufgeteilt (BFE 2012a).

Die Kategorie Übrige enthält die Technologien fossile Kraftwerke, Kehrlichtverbrennungsanlagen (KVA), Fotovoltaik, Wind und Biomasse und wird entsprechend der Technologieanteile der übrigen Technologien (neben Wasserkraft und Kernkraft) des Lieferanten-Strommixes aufgeteilt (siehe Tab. 3.7).

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

Technologie	Produktions-Strommix	Anteil	Lieferanten-Strommix	Anteil
Einheit	GWh	%	GWh	%
Laufwasserkraft	11'333.0	33.53%	11'333.0	36.17%
Speicherwasserkraft	17'740.3	52.49%	16'596.0	52.97%
Kleinwasserkraft	3'400.0	10.06%	3'400.0	10.85%
Pumpspeicherkraft	1'321.7	3.91%	0.0	0.00%
<b>Total</b>	<b>33'795.0</b>	<b>100.00%</b>	<b>31'329.0</b>	<b>100.00%</b>

### 3.3 Lieferanten-Strommix

Der Schweizer Lieferanten-Strommix basiert auf der Schweizer Stromkennzeichnung des Bundesamtes für Energie (BFE 2013) und weitergehenden Informationen.<sup>1</sup> Sie zeigt die Herkunft des in der Schweiz verkauften Stroms inklusive des zertifizierten Stroms, jedoch ohne die Stromproduktion der SBB. Die Vollerhebung des BFE umfasst 48.7 TWh oder 83 % des Stromabsatzes in der Schweiz im Jahr 2011.

---

<sup>1</sup> Persönliche Mitteilung von R. Zurbrugg, Zurbrugg VerkaufsOptimierung, 24.11.2014.

Tab. 3.3 Anteile der einzelnen Technologien im Schweizer Lieferanten-Strommix (BFE 2013). Die Anteile wurden auf Basis von 83 % des Stromabsatzes in der Schweiz im Jahr 2011 (48.7 TWh) ermittelt.

Technologie	Total	Aus der Schweiz	Import
<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>43.283%</b>	<b>34.144%</b>	<b>9.139%</b>
<b>Wasserkraft</b>	<b>41.067%</b>	<b>32.524%</b>	<b>8.543%</b>
<b>Andere Erneuerbare</b>	<b>0.941%</b>	<b>0.353%</b>	<b>0.588%</b>
<i>Sonne</i>	<i>0.189%</i>	<i>0.135%</i>	<i>0.055%</i>
<i>Wind</i>	<i>0.557%</i>	<i>0.038%</i>	<i>0.518%</i>
<i>Biomasse</i>	<i>0.194%</i>	<i>0.178%</i>	<i>0.015%</i>
<i>Geothermie</i>	<i>0.001%</i>	<i>0.001%</i>	<i>0.000%</i>
<b>Geförderter Strom</b>	<b>1.275%</b>	<b>1.268%</b>	<b>0.008%</b>
<b>Nicht erneuerbare Energien</b>	<b>43.359%</b>	<b>31.768%</b>	<b>11.591%</b>
<b>Kernenergie</b>	<b>41.426%</b>	<b>31.588%</b>	<b>9.839%</b>
<b>Fossile Energieträger</b>	<b>1.933%</b>	<b>0.181%</b>	<b>1.752%</b>
<i>Erdöl</i>	<i>0.059%</i>	<i>0.024%</i>	<i>0.034%</i>
<i>Erdgas</i>	<i>1.764%</i>	<i>0.146%</i>	<i>1.618%</i>
<i>Steinkohle</i>	<i>0.110%</i>	<i>0.010%</i>	<i>0.100%</i>
<b>Abfälle</b>	<b>1.514%</b>	<b>1.496%</b>	<b>0.018%</b>
<b>Nicht überprüfbare Energieträger</b>	<b>11.844%</b>	<b>0.000%</b>	<b>11.844%</b>
<b>Total</b>	<b>100.000%</b>	<b>67.409%</b>	<b>32.591%</b>

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 2011) auf die verschiedenen erneuerbaren Technologien aufgeteilt (Tab. 3.4). Darin sind das Produktionsvolumen und die Anteile der verschiedenen Technologien aufgelistet. Der geförderte Strom wird hauptsächlich mit Wasserkraft (51.1 %) und Biomasse (38.0 %) produziert. Die Anteile von Wind (6.1 %) und Fotovoltaik (4.7 %) sind deutlich geringer.

Tab. 3.4 Anteile der einzelnen Technologien an der geförderten Stromproduktion in der Schweiz (KEV 2011).

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Wind	44.4	6.15%
Wasserkraft	369.2	51.14%
Biomasse	274.2	37.99%
Fotovoltaik	34.1	4.73%
<b>Total</b>	<b>721.8</b>	<b>100.00%</b>

Der aus Biomasse produzierte Strom kann weiter unterteilt werden in Strom aus Holz, landwirtschaftlichem Biogas und industriellem Biogas. Die Angaben zu diesen Anteilen

stammen aus der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien (BFE 2012c). Die Anteile der verschiedenen Technologien sind in Tab. 3.5 gezeigt. Im Vergleich zu 2009 hat sich die Stromproduktion aus industriellem Biogas stark erhöht (Frischknecht et al. 2012). Diese Veränderung ist hauptsächlich auf die neue Berücksichtigung von Klärgas und Biogas aus Industrieabwasser in der Stromproduktion aus Biomasse zurückzuführen, welche der Kategorie Biogas Industrie zugerechnet werden.

Tab. 3.5 Anteile der einzelnen Technologien für Strom aus Biomasse (BFE 2012c).

Technologie	Produktion	Anteil
Einheit	GWh	%
Holz	192.2	46.00%
Biogas Landwirtschaft	51.3	12.29%
Biogas Industrie	174.3	41.71%
<b>Total</b>	<b>417.8</b>	<b>100.00%</b>

Der Anteil von nicht überprüfbareren Energieträgern am Lieferanten-Strommix hat gegenüber 2009 um mehr als ein Drittel abgenommen und liegt neu bei 12.3 % (2009: 18.7 %). Dieser Anteil wird mit dem europäischen Strommix (European Network of Transmission System Operators for Electricity, ENTSO-E) angenähert.

Im Lieferanten-Strommix wird der Strombedarf für die Pumpspeicherung mit einem anderen Ansatz modelliert als für den 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. 3.7 dargestellt. Darin ist der Pumpenstrombedarf in Form eines negativen Anteils (Verbrauch) am Lieferanten-Mix berücksichtigt. Der Pumpenstrombedarf beträgt 3.9 % der gesamten gelieferten Elektrizität.

### 3.4 Zertifizierter Strommix

Der zertifizierte Schweizer Strommix ist entsprechend der Statistik des Vereins für umweltgerechte Energie (VUE) modelliert (VUE 2012). Die Statistiken des VUE geben Aufschluss über die einzelnen Energiequellen des zertifizierten Stroms in der Schweiz. Entsprechend der in Tab. 3.6 gezeigten Werte wird der grösste Teil (97.4 %) des zertifizierten Stroms mit Wasserkraft erzeugt.

Tab. 3.6 Technologieanteile des in der Schweiz verkauften zertifizierten Stroms (VUE 2012).

Technologie	Produktion	Anteil an zertifiziertem Strommix	Anteil Lieferanten-Strommix
Einheit	GWh	%	%
Fotovoltaik	33.3	0.47%	0.05%
Wind	72.4	1.02%	0.11%
Wasserkraft	6'930.6	97.43%	11.00%
Biomasse	76.9	1.08%	0.12%
<b>Total</b>	<b>7'113.2</b>	<b>100.00%</b>	<b>11.29%</b>

Die Technologieanteile für Wasserkraft und Biomasse werden gemäss dem Lieferanten-Strommix auf die verschiedenen Unterkategorien aufgeteilt. Für den zertifizierten Strommix wird kein Pumpenstrombedarf bilanziert. Die Technologieanteile für den zertifizierten Strommix sind in Tab. 3.7 dargestellt.

### 3.5 Egal-Strommix

Zur Berechnung des Egal-Strommixes wird das Volumen des in der Schweiz verkauften zertifizierten Strommixes vom Schweizer Lieferanten-Strommix abgezogen. Die Menge und die Technologieanteile des in der Schweiz verkauften zertifizierten Stroms sind in Tab. 3.6 gezeigt. Der Pumpenstrombedarf für den Egal-Strommix ist analog zum Lieferanten-Strommix modelliert (vgl. Kapitel 3.3). Der Anteil des Pumpenstrombedarfs am Egal-Strommix ist mit 4.4 % leicht höher als für den Lieferanten-Strommix aufgrund des Abzugs des zertifiziert verkauften Stromvolumens. Die Technologieanteile für den Egal-Strommix sind zusammen mit den anderen Strommischen in Tab. 3.7 dargestellt.

### 3.6 Zusammenfassung Sachbilanz

Tab. 3.7 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 2011.

In der Schweiz wird Strom hauptsächlich mittels Wasserkraft produziert (53.7 %), gefolgt von Kernkraft (40.6 %) und Abfällen (3.2 %). Der Schweizer Lieferanten-Strommix unterscheidet sich deutlich vom Schweizer Produktions-Strommix. Die Anteile von Wasserkraft (34.5 %) und Kernkraft (32.8 %) aus der Schweiz sind im Lieferanten-Strommix deutlich tiefer als im Produktions-Strommix. Dies ist auf den hohen Anteil der Stromimporte zurückzuführen (33.9 %). Ein Anteil von 10.2 % des Schweizer Lieferanten-Strommixes stammt aus französischen Kernkraftwerken und 8.9 % werden in ausländischen Wasserkraftwerken produziert. Bei etwas mehr als einem Drittel der importierten Strommenge (12.3 %) ist die Herkunft unbekannt.

Der zertifizierte Strommix besteht zu 97.4 % aus Wasserkraft. Windenergie macht einen Anteil von 1.0 % des zertifizierten Strommixes aus, während die übrigen Technologien weniger als 0.5 % beisteuern. Der Egal-Strommix weist verglichen mit dem Lieferanten-Strommix einen kleineren Anteil an Wasserkraft auf (26.1 %), da die Produktion aus zertifizierten Schweizer Wasserkraftwerken abgezogen wurde. Durch den Abzug der in der Schweiz produzierten zertifizierten Wasserkraft kommt es vor allem zu einer Erhöhung der Anteile von Strom aus schweizerischen Kernkraftwerken (37.2 %) und von Stromimporten (38.4 %).

Der Strom unbekannter Herkunft wird mit dem europäischen Strommix (ENTSO-E) modelliert, 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. Die geringen Anteile von Geothermie-Strom werden mangels genauerer Daten mit Strom aus europäischen Windkraftwerken modelliert.

Tab. 3.7 Stromproduktion in der Schweiz und Anteile der verschiedenen Technologien für die vier Schweizer Strommixe für das Jahr 2011.

Technologie	Produktions- Strommix	Produktions- Strommix	Lieferanten- Strommix	Zertifizierter Strommix	Egal-Strommix
Einheit	GWh	%	%	%	%
<b>Inlandproduktion</b>	<b>62'881.0</b>	<b>100.000%</b>	<b>66.133%</b>	<b>100.000%</b>	<b>61.640%</b>
<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>35'088.7</b>	<b>55.802%</b>	<b>35.481%</b>	<b>100.000%</b>	<b>26.899%</b>
<b>Wasserkraft</b>	<b>33'795.0</b>	<b>53.744%</b>	<b>34.471%</b>	<b>97.433%</b>	<b>26.096%</b>
<i>Laufwasserkraft</i>	11'333.0	18.023%	12.469%	32.674%	9.782%
<i>Speicherwasserkraft</i>	17'740.3	28.213%	18.260%	54.957%	13.380%
<i>Kleinwasserkraft</i>	3'400.0	5.407%	3.741%	9.802%	2.935%
<i>Pumpspeicherkraft</i>	1'321.7	2.102%	0.000%	0.000%	0.000%
<b>Andere erneuerbare Energien</b>	<b>1'293.7</b>	<b>2.057%</b>	<b>1.010%</b>	<b>2.567%</b>	<b>0.803%</b>
<i>Sonne</i>	259.2	0.412%	0.202%	0.468%	0.167%
<i>Wind</i>	154.6	0.246%	0.121%	1.018%	0.001%
<i>Holz</i>	404.1	0.643%	0.316%	0.497%	0.291%
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	107.9	0.172%	0.084%	0.133%	0.078%
<i>Biogas Industrie</i>	366.4	0.583%	0.286%	0.451%	0.264%
<i>Geothermie</i>	1.4	0.002%	0.001%	0.000%	0.001%
<b>Nicht erneuerbare Energien</b>	<b>25'800.3</b>	<b>41.030%</b>	<b>33.012%</b>	<b>0.000%</b>	<b>37.392%</b>
<b>Kernenergie</b>	<b>25'560.0</b>	<b>40.648%</b>	<b>32.824%</b>	<b>0.000%</b>	<b>37.179%</b>
<i>Druckwasserreaktor</i>	13'596.0	21.622%	17.460%	0.000%	19.777%
<i>Siedewasserreaktor</i>	11'964.0	19.026%	15.364%	0.000%	17.403%
<b>Fossile Energieträger</b>	<b>240.3</b>	<b>0.382%</b>	<b>0.188%</b>	<b>0.000%</b>	<b>0.213%</b>
<i>Erdöl</i>	32.4	0.051%	0.025%	0.000%	0.029%
<i>Erdgas</i>	194.8	0.310%	0.152%	0.000%	0.172%
<i>Steinkohle</i>	13.1	0.021%	0.010%	0.000%	0.012%
<i>Braunkohle</i>	0.0	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
<b>Abfälle</b>	<b>1'991.9</b>	<b>3.168%</b>	<b>1.555%</b>	<b>0.000%</b>	<b>1.761%</b>
<b>Nicht überprüfbare Energieträger</b>	<b>0.0</b>	<b>0.000%</b>	<b>0.000%</b>	<b>0.000%</b>	<b>0.000%</b>
<b>Pumpenstrombedarf</b>	<b>0.0</b>	<b>0.000%</b>	<b>-3.914%</b>	<b>0.000%</b>	<b>-4.412%</b>
<b>Importe</b>	<b>0.0</b>	<b>0.000%</b>	<b>33.867%</b>	<b>0.000%</b>	<b>38.360%</b>
<b>Erneuerbare Energien</b>	<b>0.0</b>	<b>0.000%</b>	<b>9.496%</b>	<b>0.000%</b>	<b>10.756%</b>
<b>Wasserkraft</b>	<b>0.0</b>	<b>0.000%</b>	<b>8.881%</b>	<b>0.000%</b>	<b>10.060%</b>
<i>Laufwasserkraft</i>	0.0	0.000%	7.460%	0.000%	8.450%
<i>Speicherwasserkraft</i>	0.0	0.000%	1.421%	0.000%	1.610%
<i>Kleinwasserkraft</i>	0.0	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
<b>Andere erneuerbare Energien</b>	<b>0.0</b>	<b>0.000%</b>	<b>0.615%</b>	<b>0.000%</b>	<b>0.697%</b>
<i>Sonne</i>	0.0	0.000%	0.057%	0.000%	0.065%
<i>Wind</i>	0.0	0.000%	0.539%	0.000%	0.611%
<i>Holz</i>	0.0	0.000%	0.009%	0.000%	0.010%
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	0.0	0.000%	0.002%	0.000%	0.003%
<i>Biogas Industrie</i>	0.0	0.000%	0.008%	0.000%	0.009%
<i>Geothermie</i>	0.0	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
<b>Nicht erneuerbare Energien</b>	<b>0.0</b>	<b>0.000%</b>	<b>12.044%</b>	<b>0.000%</b>	<b>13.642%</b>
<b>Kernenergie</b>	<b>0.0</b>	<b>0.000%</b>	<b>10.224%</b>	<b>0.000%</b>	<b>11.580%</b>
<i>Druckwasserreaktor</i>	0.0	0.000%	10.224%	0.000%	11.580%
<i>Siedewasserreaktor</i>	0.0	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
<b>Fossile Energieträger</b>	<b>0.0</b>	<b>0.000%</b>	<b>1.821%</b>	<b>0.000%</b>	<b>2.062%</b>
<i>Erdöl</i>	0.0	0.000%	0.036%	0.000%	0.040%
<i>Erdgas</i>	0.0	0.000%	1.681%	0.000%	1.904%
<i>Steinkohle</i>	0.0	0.000%	0.104%	0.000%	0.118%
<i>Braunkohle</i>	0.0	0.000%	0.000%	0.000%	0.000%
<b>Abfälle</b>	<b>0.0</b>	<b>0.000%</b>	<b>0.019%</b>	<b>0.000%</b>	<b>0.021%</b>
<b>Nicht überprüfbare Energieträger (ENTSO-E Mix)</b>	<b>0.0</b>	<b>0.000%</b>	<b>12.307%</b>	<b>0.000%</b>	<b>13.940%</b>
<b>Total</b>	<b>62'881.0</b>	<b>100.000%</b>	<b>100.000%</b>	<b>100.000%</b>	<b>100.000%</b>

## 4 Umweltkennwerte der Stromerzeugung

### 4.1 Treibhausgasintensität

Zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen der Stromproduktion werden die aktuellsten Treibhauspotenziale gemäss IPCC (2013) angewandt. 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 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.

Bezogen auf eine kWh produzierten Strom ist die Herstellung aus Braunkohle (1'220 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh) die Technologie mit der höchsten Treibhausgasintensität. Strom aus schweizerischen Laufwasserkraftwerken verursacht mit 3.7 g CO<sub>2</sub>-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 Kohlendioxid, Methan und Lachgas emittiert werden. Anlagen, die mit landwirtschaftlichem Biogas betrieben werden, weisen Kohlendioxidemissionen auf, da in den Motoren auch (fossiler) Diesel verbrannt wird.

Der Unterschied zwischen der nicht-zertifizierten (11.0 g CO<sub>2</sub>-eq/kWh) und der zertifizierten (5.5 g CO<sub>2</sub>-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 von Abfall und dessen Verbrennung der Abfallentsorgung angerechnet werden.

Die direkten Emissionen (aus den Kraftwerkskaminen) der nicht überprüfbaren Energieträger können nicht bestimmt werden.

Die Treibhausgasintensität von Strom aus Druck- und Siedewasserreaktoren hat sich im Vergleich zu 2009 um 150 bzw. 40 % erhöht (Frisknecht et al. 2012). Diese Zunahme ist auf einen stärker auf fossilen Energien basierenden Strommix in der Modellierung der Urananreicherung zurückzuführen (Dones et al. 2009). Auch die spezifischen Treibhausgasemissionen von inländischem Strom aus Holz sind gegenüber 2009 um 190 % höher. Neu wird Strom aus Holz mit einem Datensatz eines Holzkraftwerks mit

weitergehender Rauchgasreinigung modelliert. Durch die Abgasreinigung entstehen höhere Lachgasemissionen (Bauer 2007). Die Treibhausgasemissionen von Strom, der aus industriellem oder landwirtschaftlichem Biogas erzeugt wird, haben im Vergleich zu 2009 um 53 % zu- bzw. um 36 % abgenommen. Die Gründe für diese Veränderungen liegen in einer anderen Zusammensetzung des industriellen Biogases beziehungsweise darin, dass neu alle landwirtschaftlichen Biogas-Anlagen über eine Abdeckung der Nachrotte verfügen. Bei den übrigen Technologien zur Stromproduktion sind nur geringfügige Veränderungen der Treibhausgasintensität festzustellen.

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).

Technologie	Gesamte Produktionskette		Direkte Emissionen Stromproduktion	
	Kohlendioxid-Emissionen	Treibhausgas-Emissionen	Kohlendioxid-Emissionen	Treibhausgas-Emissionen
Einheit	gCO <sub>2</sub> /kWh	gCO <sub>2</sub> -eq/kWh	gCO <sub>2</sub> /kWh	gCO <sub>2</sub> -eq/kWh
<b>Inlandproduktion</b>				
<b>Erneuerbare Energien</b>				
<b>Wasserkraft</b>				
<i>Laufwasserkraft</i>	3.2	3.7	0.0	0.4
<i>Speicherwasserkraft</i>	10.4	11.0	1.4	1.4
<i>Speicherwasserkraft (zertifiziert)</i>	5.3	5.5	1.4	1.4
<i>Kleinwasserkraft</i>	4.7	4.9	0.0	0.0
<i>Pumpspeicherkraft</i>	149.0	161.5	1.4	1.4
<b>Andere erneuerbare Energien</b>				
<i>Sonne</i>	66.7	79.3	0.0	0.0
<i>Wind</i>	15.7	17.3	0.0	0.0
<i>Holz</i>	22.3	86.0	0.0	62.4
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	18.4	154.7	0.0	12.7
<i>Biogas Industrie</i>	105.1	363.1	0.0	30.1
<i>Geothermie</i>	10.2	11.3	0.0	0.0
<b>Nicht erneuerbare Energien</b>				
<b>Kernenergie</b>				
<i>Druckwasserreaktor</i>	12.3	13.2	0.0	0.0
<i>Siedewasserreaktor</i>	13.7	14.7	0.0	0.0
<b>Fossile Energieträger</b>				
<i>Erdöl</i>	698.6	734.4	580.1	593.3
<i>Erdgas</i>	517.5	598.4	459.2	489.7
<i>Steinkohle</i>	967.2	1'113.3	922.0	932.8
<b>Abfälle</b>	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Importe</b>				
<b>Erneuerbare Energien</b>				
<b>Wasserkraft</b>				
<i>Laufwasserkraft</i>	3.4	3.9	0.0	0.4
<i>Speicherwasserkraft</i>	15.1	16.9	10.8	12.4
<i>Kleinwasserkraft</i>	4.6	4.9	0.0	0.0
<b>Andere erneuerbare Energien</b>				
<i>Sonne</i>	69.8	83.3	0.0	0.0
<i>Wind</i>	10.2	11.3	0.0	0.0
<i>Holz</i>	21.1	28.9	0.0	6.6
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	18.4	154.7	0.0	12.7
<i>Biogas Industrie</i>	105.1	363.1	0.0	30.1
<i>Geothermie</i>	10.2	11.3	0.0	0.0
<b>Nicht erneuerbare Energien</b>				
<b>Kernenergie</b>				
<i>Druckwasserreaktor</i>	5.6	6.0	0.0	0.0
<b>Fossile Energieträger</b>				
<i>Erdöl</i>	853.7	878.3	760.5	772.0
<i>Erdgas</i>	389.9	415.0	350.6	352.4
<i>Steinkohle</i>	967.2	1'113.3	922.0	932.8
<i>Braunkohle</i>	1'202.6	1'220.2	1'177.2	1'185.0
<b>Abfälle</b>	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Nicht überprüfbare Energieträger (ENTSO-E Mix)</b>	437.5	466.3	na	na

## 4.2 Kumulierter Primärenergiebedarf

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

Strom aus Kernkraftwerken weist mit 13.4–13.9 MJ/kWh den höchsten gesamten Primärenergiebedarf auf. Pumpspeicherkraftwerke (13.2 MJ/kWh), fossile Kraftwerke (7.2–12.8 MJ/kWh) und mit Holz produzierter Strom (11.9–12.1 MJ/kWh) haben einen leicht tieferen Primärenergiebedarf. Der gesamte Primärenergiebedarf von Wasserkraftwerken (ohne Pumpspeicherkraftwerke) liegt zwischen 3.8 und 4.3 MJ/kWh. Strom aus Fotovoltaikanlagen und Windkraftwerken hat einen Primärenergiebedarf von 5.1 bzw. 4.0–4.1 MJ/kWh. Mit landwirtschaftlichem Biogas produzierte Elektrizität hat den tiefsten gesamten Primärenergiebedarf (0.6 MJ/kWh). Hierbei gilt es zu betonen, dass der Energieinhalt des Biogases nicht mitgezählt wird, da dieses als Abfall klassiert ist.

Der nicht erneuerbare Anteil des Primärenergiebedarfs entspricht bei fossilen und nuklearen Technologien der Stromproduktion ungefähr dem gesamten Primärenergiebedarf. Strom aus erneuerbaren Energien hat mit Ausnahme der Produktion aus Pumpspeicherkraftwerken (11.3 MJ/kWh) und industriellem Biogas (2.7 MJ/kWh) einen tiefen nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf, der zwischen 0.0 und 1.1 MJ/kWh liegt.

Der Primärenergiebedarf von Elektrizität aus Kehrichtverbrennungsanlagen ist 0.0 MJ/kWh, da die gesamten Umweltauswirkungen von Abfall und dessen Verbrennung der Abfallentsorgung angerechnet werden.

Tab. 4.2 Gesamter und nicht erneuerbarer kumulierter Primärenergiebedarf der verschiedenen Technologien der Stromproduktion. Die Angaben beziehen sich auf 1 kWh produzierten Strom (ab Klemme Kraftwerk).

Technologie	Primärenergiebedarf gesamt	Primärenergiebedarf nicht erneuerbar
Einheit	MJ/kWh	MJ/kWh
<b>Inlandproduktion</b>		
<b>Erneuerbare Energien</b>		
<b>Wasserkraft</b>		
<i>Laufwasserkraft</i>	3.8	0.0
<i>Speicherwasserkraft</i>	4.3	0.4
<i>Speicherwasserkraft (zertifiziert)</i>	3.8	0.0
<i>Kleinwasserkraft</i>	3.8	0.1
<i>Pumpspeicherkraft</i>	13.2	11.3
<b>Andere erneuerbare Energien</b>		
<i>Sonne</i>	5.1	1.1
<i>Wind</i>	4.1	0.3
<i>Holz</i>	12.1	0.4
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	0.6	0.5
<i>Biogas Industrie</i>	3.0	2.7
<i>Geothermie</i>	4.0	0.2
<b>Nicht erneuerbare Energien</b>		
<b>Kernenergie</b>		
<i>Druckwasserreaktor</i>	13.9	13.9
<i>Siedewasserreaktor</i>	13.4	13.4
<b>Fossile Energieträger</b>		
<i>Erdöl</i>	10.6	10.5
<i>Erdgas</i>	9.5	9.5
<i>Steinkohle</i>	12.8	12.7
<b>Abfälle</b>	0.0	0.0
<b>Importe</b>		
<b>Erneuerbare Energien</b>		
<b>Wasserkraft</b>		
<i>Laufwasserkraft</i>	3.8	0.0
<i>Speicherwasserkraft</i>	3.8	0.0
<i>Kleinwasserkraft</i>	3.8	0.1
<b>Andere erneuerbare Energien</b>		
<i>Sonne</i>	5.1	1.1
<i>Wind</i>	4.0	0.2
<i>Holz</i>	11.9	0.4
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	0.6	0.5
<i>Biogas Industrie</i>	3.0	2.7
<i>Geothermie</i>	4.0	0.2
<b>Nicht erneuerbare Energien</b>		
<b>Kernenergie</b>		
<i>Druckwasserreaktor</i>	13.5	13.5
<b>Fossile Energieträger</b>		
<i>Erdöl</i>	12.1	12.0
<i>Erdgas</i>	7.2	7.2
<i>Steinkohle</i>	12.8	12.7
<i>Braunkohle</i>	12.8	12.8
<b>Abfälle</b>	0.0	0.0
<b>Nicht überprüfbare Energieträger (ENTSO-E Mix)</b>	10.3	9.3

### 4.3 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 (906 UBP/kWh) auf. Auch die Stromproduktion in europäischen Stein- und Braunkohlekraftwerken verursacht mit 665 bzw. 687 UBP/kWh eine hohe Gesamtumweltbelastung. Strom aus europäischen Gaskraftwerken wird mit 249 UBP/kWh deutlich besser bewertet als die anderen fossilen Technologien. Die Stromproduktion in Schweizer Kernkraftwerken verursacht eine Gesamtumweltbelastung von 370–393 UBP/kWh.

Mit Ausnahme von Pumpspeicherkraftwerken (418 UBP/kWh) sind erneuerbare Technologien der Stromerzeugung deutlich umweltfreundlicher als nicht erneuerbare Alternativen. Strom aus Biogas, Holz und Fotovoltaik weist mit über 100 UBP/kWh eine vergleichsweise hohe Umweltbelastung auf. Wasserkraftwerke verursachen mit weniger als 30 UBP/kWh die tiefste Umweltbelastung unter den betrachteten Technologien der Stromerzeugung.

Die Umweltbelastung von Elektrizität aus Kehrichtverbrennungsanlagen ist 0 UBP/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).

Technologie	Gesamtumweltbelastung Methode der ökologischen Knappheit 2013 UBP/kWh
<b>Einheit</b>	
<b>Inlandproduktion</b>	
<b>Erneuerbare Energien</b>	
<b>Wasserkraft</b>	
<i>Laufwasserkraft</i>	9.8
<i>Speicherwasserkraft</i>	25.5
<i>Speicherwasserkraft (zertifiziert)</i>	11.1
<i>Kleinwasserkraft</i>	11.8
<i>Pumpspeicherkraft</i>	418.1
<b>Andere erneuerbare Energien</b>	
<i>Sonne</i>	135.7
<i>Wind</i>	37.9
<i>Holz</i>	201.7
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	178.9
<i>Biogas Industrie</i>	312.6
<i>Geothermie</i>	25.1
<b>Nicht erneuerbare Energien</b>	
<b>Kernenergie</b>	
<i>Druckwasserreaktor</i>	369.6
<i>Siedewasserreaktor</i>	392.5
<b>Fossile Energieträger</b>	
<i>Erdöl</i>	558.8
<i>Erdgas</i>	368.9
<i>Steinkohle</i>	664.6
<b>Abfälle</b>	0.0
<b>Importe</b>	
<b>Erneuerbare Energien</b>	
<b>Wasserkraft</b>	
<i>Laufwasserkraft</i>	9.9
<i>Speicherwasserkraft</i>	16.3
<i>Kleinwasserkraft</i>	11.7
<b>Andere erneuerbare Energien</b>	
<i>Sonne</i>	140.0
<i>Wind</i>	25.1
<i>Holz</i>	235.7
<i>Biogas Landwirtschaft</i>	178.9
<i>Biogas Industrie</i>	312.6
<i>Geothermie</i>	25.1
<b>Nicht erneuerbare Energien</b>	
<b>Kernenergie</b>	
<i>Druckwasserreaktor</i>	565.4
<b>Fossile Energieträger</b>	
<i>Erdöl</i>	905.6
<i>Erdgas</i>	249.4
<i>Steinkohle</i>	664.6
<i>Braunkohle</i>	687.4
<b>Abfälle</b>	0.0
<b>Nicht überprüfbare Energieträger (ENTSO-E Mix)</b>	463.9

## 5 Umweltkennwerte der Schweizer Strommixe

### 5.1 Treibhausgasintensität

Das Klimaänderungspotential pro kWh an eine Niederspannungs-Steckdose gelieferten Strom ist 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 betragen 15.6 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh (10.0 gCO<sub>2</sub>/kWh) für den zertifizierten Strommix und 28.1 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh (21.0 gCO<sub>2</sub>/kWh) für den Schweizer Produktionsmix. Die Treibhausgasemissionen des Schweizer Lieferanten- und Egal-Strommixes sind mit 91.5 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh (81.6 gCO<sub>2</sub>/kWh) und 101.5 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh (91.1 gCO<sub>2</sub>/kWh) deutlich höher.

Die erhöhten Treibhausgasemissionen des Lieferanten- und des Egal-Strommixes stammen hauptsächlich aus dem Import von Strom unbekannter Herkunft über den Stromhandel, aber auch aus dem bekannten Import aus fossil-thermischen Kraftwerken. Der Strom aus nicht überprüfbaren Energieträgern (ENTSO-E Strommix) verursacht 68.1 bzw. 69.5 % und der Strom aus fossil-thermischen Kraftwerken 11.6 bzw. 11.9 % der Treibhausgasemissionen des Lieferanten- und des Egal-Strommixes.

Die Stromverteilung verursacht zwischen 8.2 % (Egal-Strommix) und 46.3 % (zertifizierter Strommix) der Treibhausgasemissionen. 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 Stromnetzinfrastuktur.

Fig. 5.2 zeigt das Klimaänderungspotential in gCO<sub>2</sub>-eq pro kWh gelieferten Strom aufgeteilt in den Beitrag der unter dem Kyoto-Protokoll regulierten Treibhausgase. Die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen mit 64.5 %, 74.8 %, 89.3 % und 89.8 % den grössten Anteil an den totalen Treibhausgasemissionen des zertifizierten Strommixes sowie des Produktions-, Lieferanten- und Egal-Strommixes. Von Bedeutung sind ebenfalls die fossilen Methan-Emissionen im Fall des Lieferanten- und Egal-Strommixes mit einem Beitrag von 5.2–5.3 %. Die biogenen CH<sub>4</sub>-Emissionen tragen einen Anteil von 5.5 bzw. 8.0 % zu den gesamten Treibhausgasemissionen des Produktions- und des zertifizierten Strommixes bei. Die Anteile der bei der Stromverteilung emittierten Substanzen Lachgas und Schwefelhexafluorid sind nur für den Produktions- und den zertifizierten Strommix relevant (Produktions-Strommix: 9.3 und 5.1 %; zertifizierter Strommix: 14.0 und 9.2 %), da die Treibhausgasintensität dieser Strommixe deutlich tiefer ist als jene des Lieferanten- und Egal-Strommixes. Die übrigen Treibhausgase spielen eine untergeordnete Rolle.

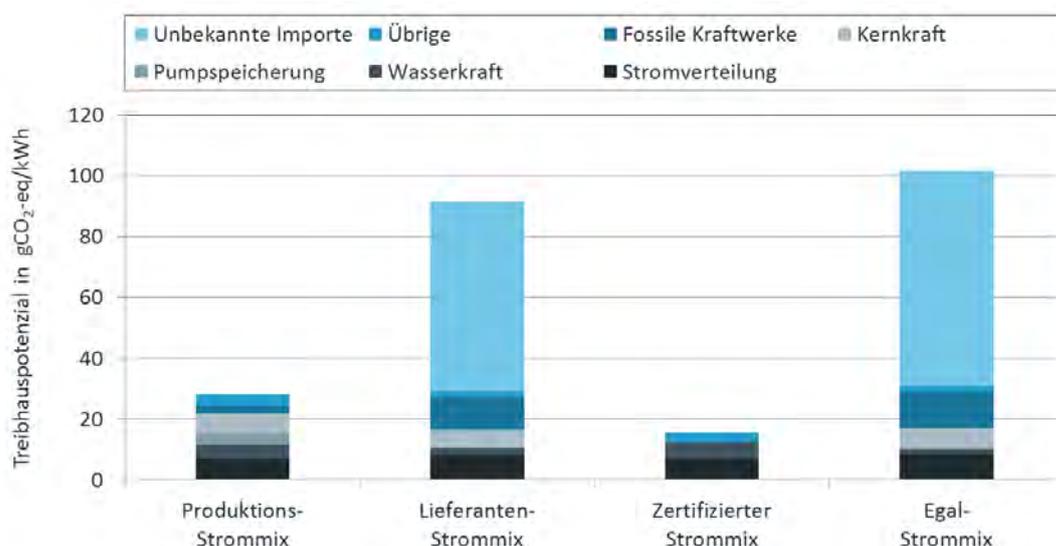


Fig. 5.1 Klimaänderungspotenzial der Schweizer Strommixe in gCO<sub>2</sub>-eq pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekannt Importe werden mit dem ENTSO-E Strommix modelliert. Die Zahlen und Anteile zu den Treibhausgasemissionen sind in Tab. A.1 und Tab. A.2 im Anhang aufgeführt.

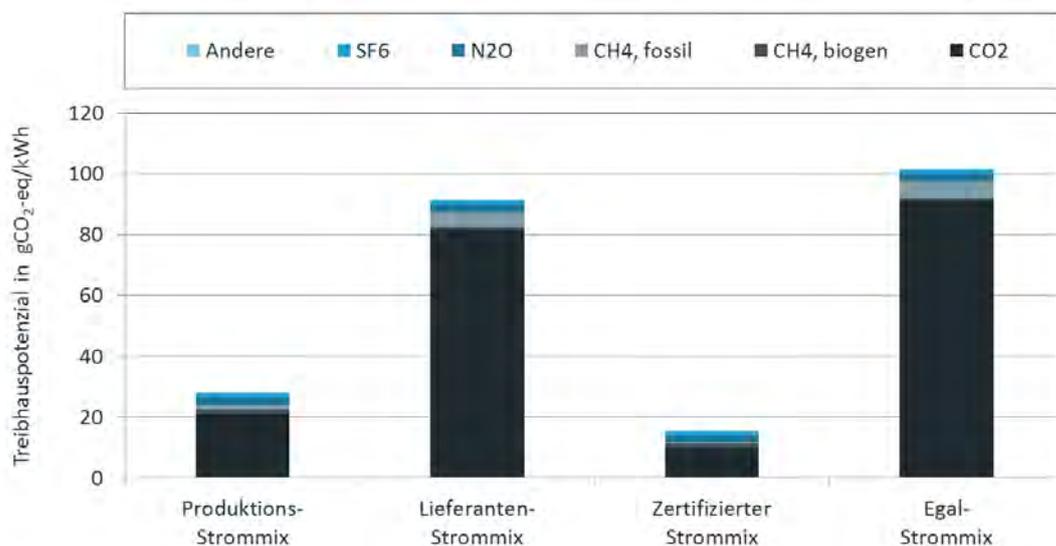


Fig. 5.2 Klimaänderungspotenzial der Schweizer Strommixe in gCO<sub>2</sub>-eq pro kWh Strom aufgeteilt nach Treibhausgasen. Die Zahlen zu den Treibhausgasemissionen nach Substanz sind in Tab. A.3 im Anhang aufgeführt.

Die Treibhausgasintensität des Produktions-Strommixes nimmt gegenüber 2009 um 16 % zu. Der Grund dafür ist, dass der Produktions-Strommix zu 40.6 % auf Kernenergie basiert und die Treibhausgasintensität von Strom aus Kernkraftwerken stark zugenommen hat (Kapitel 4.1). Zudem ist der Anteil von relativ treibhausgasintensivem Strom aus industriellem Biogas gestiegen.

Im Vergleich zu 2009 nehmen auch die spezifischen Treibhausgasemissionen des zertifizierten Strommixes zu (8 %). Verantwortlich für diese Veränderung sind die gestiegenen Anteile von Strom aus Wind und industrieller Biomasse, die über die gesamte Produktionskette betrachtet höhere Treibhausgasemissionen verursachen als Strom aus Wasserkraftwerken.

Die Treibhausgasintensität des Lieferanten- und des Egal-Strommixes ist im Jahr 2011 tiefer als 2009 (minus 25 bzw. minus 24 %). Der Grund dafür liegt vor allem im gesunkenen Anteil der Stromimporte aus nicht überprüfbaren Energieträgern, die mit dem ENTSO-E Strommix modelliert werden. Im Gegenzug nahmen die Beiträge von Strom aus nuklearen und fossil-thermischen Kraftwerken zur Treibhausgasintensität der beiden Strommixe leicht zu. Die nicht überprüfbaren Energieträger wurden vor allem durch Strom aus Schweizer Kernkraftwerken sowie durch Importe von Strom aus hydraulischen, erneuerbaren und fossil-thermischen Kraftwerken ersetzt.

Die Treibhausgasintensität der Stromverteilung blieb zwischen 2009 und 2011 nahezu unverändert.

## 5.2 Kumulierter Primärenergiebedarf

Der totale kumulierte Primärenergiebedarf pro kWh Strom der vier Schweizer Strommixe ist in Fig. 5.3 dargestellt. Der Produktions-, Lieferanten- und der Egal-Strommix haben einen ähnlich hohen kumulierten Primärenergiebedarf von 9.0, 10.1 und 10.8 MJ/kWh. Der zertifizierte Strommix weist einen deutlich tieferen Primärenergiebedarf von 4.4 MJ/kWh auf.

In allen Schweizer Strommixen ausser dem zertifizierten Strommix trägt die Kernkraft ungefähr zwei Drittel zum gesamten kumulierten Primärenergieaufwand bei. Verantwortlich für diesen hohen Anteil sind der hohe spezifische Primärenergiebedarf von Strom aus Kernenergie (13.4 bis 13.9 MJ/kWh; Kapitel 4.2) und die Bedeutung der Kernkraft in den drei Strommixen, die jeweils über 40 % zur totalen Strommenge beiträgt (Tab. 3.7). Der Strom aus Wasserkraftwerken hat einen Anteil am gesamten Primärenergiebedarf von 14.2 % (Egal-Strommix) bis 94.9 % (zertifizierter Strommix).

Die Pumpspeicherkraftwerke benötigen 3.4 % der Primärenergie des Produktions-Strommixes. Für den Lieferanten- und den Egal-Strommix sind zudem die Stromimporte aus nicht überprüfbaren Energieträgern (ENTSO-E Strommix) von Bedeutung. Diese tragen 13.7 bzw. 14.4 % zum gesamten Primärenergiebedarf des Lieferanten-Strommixes und des Egal-Strommixes bei.

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

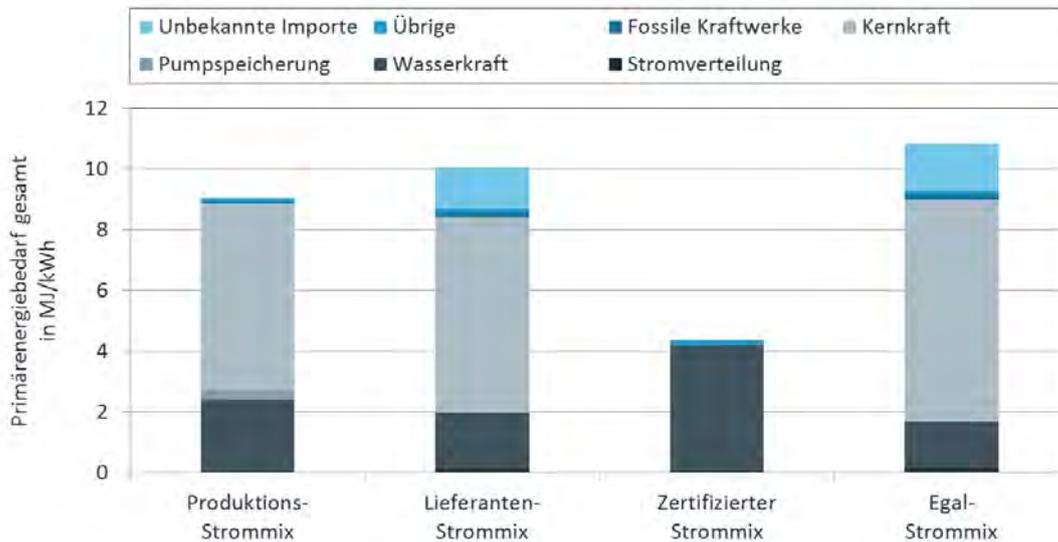


Fig. 5.3 Gesamter kumulierter Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in MJ pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekannt Importe werden mit dem ENTSO-E Strommix modelliert. Die Zahlen und Anteile zum gesamten Primärenergiebedarf sind in Tab. B.1 und Tab. B.2 im Anhang aufgeführt.

Der nicht erneuerbare kumulierte Primärenergiebedarf der vier Schweizer Strommixe wird in Fig. 5.4 gezeigt. Dieser beträgt 6.7, 8.0, 0.1 und 9.1 MJ/kWh Strom für den Produktions-, Lieferanten-, zertifizierten und den Egal-Strommix.

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

Für den Produktions-, Lieferanten- und Egal-Strommix ist die Kernenergie entscheidend für die Höhe des nicht erneuerbaren Primärenergiebedarfs. Die Stromproduktion aus Pumpspeicherkraftwerken trägt einen Anteil von 3.9 % zum nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf bei. Im Fall des Lieferanten- sowie des Egal-Strommixes sind die Importe von Strom aus nicht überprüfaren Energieträgern (ENTSO-E Strommix) mit einem Anteil von jeweils 15.6 % am nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf verantwortlich.

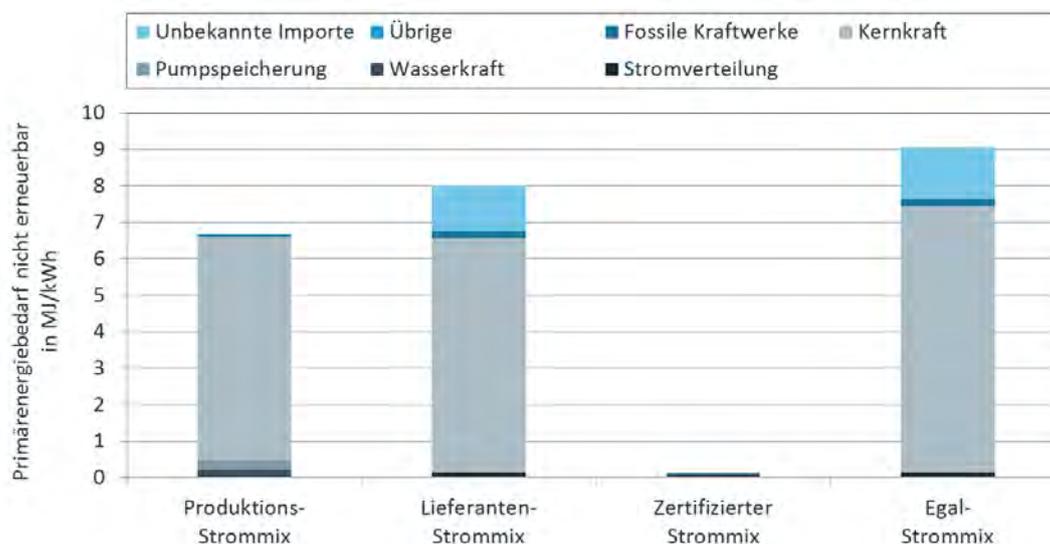


Fig. 5.4 Nicht erneuerbarer kumulierter Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in MJ pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekannt Importe werden mit dem ENTSO-E Strommix modelliert. Die Zahlen und Anteile zum nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf sind in Tab. B.3 und Tab. B.4 im Anhang aufgeführt.

### 5.3 Gesamtumweltbelastung

Die Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 (Frischknecht & Büsser Knöpfel 2013) der vier Schweizer Strommixe ist in Fig. 5.5 aufgeteilt nach den Technologien der Stromproduktion und nach der Stromverteilung dargestellt. Der zertifizierte Strommix verursacht mit 47 UBP/kWh klar die geringste Gesamtumweltbelastung unter den Schweizer Strommischen. Der Produktions-Strommix hat eine spezifische Gesamtumweltbelastung von 229 UBP/kWh, während der Lieferanten- und der Egal-Strommix 311 und 346 UBP/kWh aufweisen.

Aus Fig. 5.5 wird deutlich, dass die Gesamtumweltbelastung von Strom aus Wasserkraftwerken und anderen erneuerbaren Energien gering ist. Hingegen sind Kernkraftwerke mit 74.5, 64.1 und 65.3 % hauptverantwortlich für die Umweltbelastung des Produktions-, Lieferanten- und Egal-Strommixes.

Der Strom aus Pumpspeicherkraftwerken trägt 4.2 % zur Gesamtumweltbelastung des Produktions-Strommixes bei. Für den Lieferanten- und den Egal-Strommix sind die Stromimporte aus nicht überprüfbaren Energieträgern (ENTSO-E Strommix) mit einem Anteil von 20.0 bzw. 20.4 % an der spezifischen Gesamtumweltbelastung von Bedeutung. Der Strom aus fossil-thermischen Kraftwerken verursacht 2.1 bzw. 2.2 % der Umweltbelastung des Lieferanten- und des Egal-Strommixes.

Die Stromverteilung hat eine spezifische Gesamtumweltbelastung von 31.7 UBP/kWh (zertifizierter Strommix) bis 35.4 UBP/kWh (Egal-Strommix) und trägt somit zwischen 67.0 % (zertifizierter Strommix) und 10.2 % (Egal-Strommix) zum Gesamtergebnis bei.

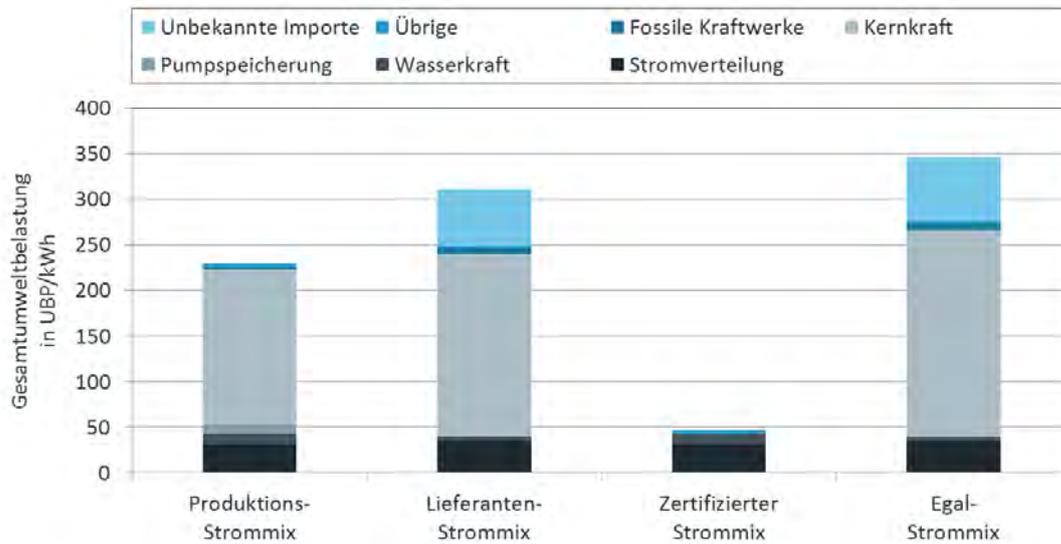


Fig. 5.5 Gesamtumweltbelastung nach der Methode der ökologischen Knappheit 2013 der Schweizer Strommixe in UBP pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekannt Importe werden mit dem ENTSO-E Strommix modelliert. Die Zahlen und Anteile zur Gesamtumweltbelastung sind in Tab. C.1 und Tab. C.2 im Anhang aufgeführt.

## 6 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 Egal-Strommix zu verwenden. Der Schweizer Lieferanten-Strommix eignet sich für die Bestimmung der Umweltauswirkungen des gesamtschweizerischen Stromverbrauchs (volkswirtschaftliche Betrachtung). Für die Bilanzierung von unspezifischen zertifizierten Stromprodukten ist der zertifizierte Strommix die richtige Wahl.

## 7 Datenqualität

Die Werte aus den verwendeten Statistiken erlauben eine genaue Modellierung der vier Schweizer Strommixe. Die grössten Unsicherheiten entstehen durch Annäherung des Imports von Strom aus nicht überprüfbaren Energieträgern (12.3 % des Lieferanten- und 13.9 % Egal-Strommixes) mit dem gesamteuropäischen Strommix des Stromverbundes ENTSO-E.

Die Verwendung des ENTSO-E Strommixes führt tendenziell zu einer Unterschätzung der Treibhausgasemissionen und des Primärenergieverbrauchs, da zu erwarten ist, dass der importierte Strom aus nicht überprüfbaren Quellen hauptsächlich nicht erneuerbaren Ursprungs sein dürfte (Kohle- und Kernkraftwerke).

Zusätzlich sind die Länder, aus welchen der Strom aus fossil-thermischen und Wasserkraftwerken importiert wird, nicht bekannt. Der Strom aus fossil-thermischen Kraftwerken und Wasserkraftwerken wird mit den europäischen Datensätzen modelliert. Geringe Abweichungen können auch durch die Modellierung von Geothermie-Strom mit Strom aus europäischen Windkraftwerken entstehen, da keine technologiespezifischen Daten verfügbar sind.

## Referenzen

- Bauer 2007  
 Bauer C. (2007) Holzenergie. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, Vol. ecoinvent report No. 6-IX, v2.0 (Ed. Dones R.). Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- BFE 2012a  
 BFE (2012a) Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2011. Bundesamt für Energie BFE, Bern, CH, retrieved from: [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de\\_1184773.pdf](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_1184773.pdf).
- BFE 2012b  
 BFE (2012b) Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz (ed. Bundesamt für Energie BFE), Bern, CH, retrieved from: [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de\\_315664778.zip](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_315664778.zip).
- BFE 2012c  
 BFE (2012c) Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien 2011. Bundesamt für Energie, Bern, CH, retrieved from: [http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00543/index.html?lang=de&dossier\\_id=00772](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00543/index.html?lang=de&dossier_id=00772).
- BFE 2013  
 BFE (2013) Umfrage Stromkennzeichnung 2011. Bundesamt für Energie BFE, Bern, CH, retrieved from: [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de\\_601536971.pdf](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_601536971.pdf).
- Dones et al. 2009  
 Dones R., Bauer C. and Doka G. (2009) Kernenergie. In: Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, Vol. ecoinvent report No. 6-VII, v2.1 (Ed. Dones R., Bauer C., Bolliger R., Burger B., Faist Emmenegger M., Frischknecht R., Heck T., Jungbluth N. and Röder A.). Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf retrieved from: [www.ecoinvent.org](http://www.ecoinvent.org).
- 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](http://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. 2007 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Bauer C., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hischier R., Humbert S., Margni M. and Nemecek T. (2007) 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](http://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 et al. 2012 Frischknecht R., Itten R. and Flury K. (2012) Treibhausgas-Emissionen der Schweizer Strommixe. ESU-services Ltd., Uster, CH, retrieved from: [http://www.bafu.admin.ch/klima/09608/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,lnp610NTU04212Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGfIF5fWym162epYbg2c\\_JjKbNoKSn6A--](http://www.bafu.admin.ch/klima/09608/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,lnp610NTU04212Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGfIF5fWym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--).
- 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>.
- 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. 2014 KBOB, eco-bau and IPB (2014) ecoinvent Datenbestand v2.2+; Grundlage für die KBOB-Empfehlung 2009/1:2014: Ökobilanzdaten im Baubereich, Stand April 2014. Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren c/o BBL Bundesamt für Bauten und Logistik, retrieved from: [www.lc-inventories.ch](http://www.lc-inventories.ch).
- KEV 2011 KEV (2011) Stiftung kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) Geschäftsbericht 2011. 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>.

VUE 2012

VUE (2012) Der Markt für Stromprodukte aus erneuerbaren Energien im Jahr 2011. energie schweiz, Bundesamt für Energie BFE, Zürich, CH, retrieved from:  
[http://www.naturemade.ch/Dokumente/Kommunikation/%C3%96kostromumfrage/Marktumfrage11\\_d.pdf](http://www.naturemade.ch/Dokumente/Kommunikation/%C3%96kostromumfrage/Marktumfrage11_d.pdf).

## A Anhang: Treibhausgasintensität

Tab. A.1 Klimaänderungspotenzial der Schweizer Strommixe in gCO<sub>2</sub>-eq pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekanntem Importe werden mit dem ENTSO-E Strommix modelliert.

Treibhausgas-Emissionen	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Zertifizierter Strommix	Egal-Strommix
Stromverteilung	gCO <sub>2</sub> -eq/kWh	7.1	8.2	7.2	8.3
Wasserkraft	gCO <sub>2</sub> -eq/kWh	4.4	2.4	5.2	2.0
Pumpspeicherung	gCO <sub>2</sub> -eq/kWh	3.7	0.0	0.0	0.0
Kernkraft	gCO <sub>2</sub> -eq/kWh	6.5	6.0	0.0	6.8
Fossile Kraftwerke	gCO <sub>2</sub> -eq/kWh	2.7	10.6	0.0	12.1
Übrige	gCO <sub>2</sub> -eq/kWh	3.6	1.9	3.1	1.8
Unbekannte Importe	gCO <sub>2</sub> -eq/kWh	0.0	62.3	0.0	70.6
<b>Total</b>	<b>gCO<sub>2</sub>-eq/kWh</b>	<b>28.1</b>	<b>91.5</b>	<b>15.6</b>	<b>101.5</b>

Tab. A.2 Anteile der verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung am gesamten Klimaänderungspotenzial der Schweizer Strommixe in Prozent. Die unbekanntem Importe werden mit dem ENTSO-E Strommix modelliert.

Treibhausgas-Emissionen	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Zertifizierter Strommix	Egal-Strommix
Stromverteilung	%	25.3%	8.9%	46.3%	8.2%
Wasserkraft	%	15.8%	2.6%	33.7%	2.0%
Pumpspeicherung	%	13.2%	0.0%	0.0%	0.0%
Kernkraft	%	23.3%	6.5%	0.0%	6.7%
Fossile Kraftwerke	%	9.6%	11.6%	0.0%	11.9%
Übrige	%	12.8%	2.1%	20.0%	1.8%
Unbekannte Importe	%	0.0%	68.1%	0.0%	69.5%
<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>

Tab. A.3 Anteile der einzelnen Treibhausgase am gesamten Klimaänderungspotenzial in Prozent.

Treibhausgas-Emissionen	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Zertifizierter Strommix	Egal-Strommix
CO <sub>2</sub>	%	74.8%	89.3%	64.5%	89.8%
CH <sub>4</sub> , biogen	%	5.5%	1.0%	8.0%	0.9%
CH <sub>4</sub> , fossil	%	4.5%	5.2%	3.0%	5.3%
N <sub>2</sub> O	%	9.3%	2.7%	14.0%	2.5%
SF <sub>6</sub>	%	5.1%	1.6%	9.2%	1.4%
Andere	%	0.8%	0.2%	1.3%	0.2%
<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>

## B Anhang: Kumulierter Primärenergiebedarf

Tab. B.1 Gesamter 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 ENTSO-E Strommix modelliert.

Primärenergiebedarf gesamt	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Zertifizierter Strommix	Egal-Strommix
Stromverteilung	MJ/kWh	0.1	0.1	0.1	0.2
Wasserkraft	MJ/kWh	2.3	1.8	4.1	1.5
Pumpspeicherung	MJ/kWh	0.3	0.0	0.0	0.0
Kernkraft	MJ/kWh	6.1	6.4	0.0	7.3
Fossile Kraftwerke	MJ/kWh	0.0	0.2	0.0	0.2
Übrige	MJ/kWh	0.1	0.1	0.2	0.1
Unbekannte Importe	MJ/kWh	0.0	1.4	0.0	1.6
<b>Total</b>	<b>MJ/kWh</b>	<b>9.0</b>	<b>10.1</b>	<b>4.4</b>	<b>10.8</b>

Tab. B.2 Anteile der verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung am gesamten kumulierten Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in Prozent. Die unbekannt Importe werden mit dem ENTSO-E Strommix modelliert.

Primärenergiebedarf gesamt	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Zertifizierter Strommix	Egal-Strommix
Stromverteilung	%	0.7%	1.4%	1.6%	1.5%
Wasserkraft	%	25.9%	18.3%	94.9%	14.2%
Pumpspeicherung	%	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%
Kernkraft	%	68.0%	63.9%	0.0%	67.3%
Fossile Kraftwerke	%	0.5%	1.7%	0.0%	1.8%
Übrige	%	1.6%	1.0%	3.6%	0.8%
Unbekannte Importe	%	0.0%	13.7%	0.0%	14.4%
<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>

Tab. B.3 Nicht erneuerbarer kumulierter Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in MJ pro kWh Strom aufgeteilt nach den verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung. Die unbekanntten Importe werden mit dem ENTSO-E Strommix modelliert.

Primärenergiebedarf n.e.	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Zertifizierter Strommix	Egal-Strommix
Stromverteilung	MJ/kWh	0.1	0.1	0.1	0.1
Wasserkraft	MJ/kWh	0.1	0.0	0.0	0.0
Pumpspeicherung	MJ/kWh	0.3	0.0	0.0	0.0
Kernkraft	MJ/kWh	6.1	6.4	0.0	7.3
Fossile Kraftwerke	MJ/kWh	0.0	0.2	0.0	0.2
Übrige	MJ/kWh	0.0	0.0	0.0	0.0
Unbekannte Importe	MJ/kWh	0.0	1.3	0.0	1.4
<b>Total</b>	<b>MJ/kWh</b>	<b>6.7</b>	<b>8.0</b>	<b>0.1</b>	<b>9.1</b>

Tab. B.4 Anteile der verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung am nicht erneuerbaren kumulierten Primärenergiebedarf der Schweizer Strommixe in Prozent. Die unbekanntten Importe werden mit dem ENTSO-E Strommix modelliert.

Primärenergiebedarf n.e.	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Zertifizierter Strommix	Egal-Strommix
Stromverteilung	%	1.0%	1.7%	44.3%	1.5%
Wasserkraft	%	2.2%	0.3%	36.6%	0.2%
Pumpspeicherung	%	3.9%	0.0%	0.0%	0.0%
Kernkraft	%	91.8%	80.1%	0.0%	80.4%
Fossile Kraftwerke	%	0.6%	2.2%	0.0%	2.2%
Übrige	%	0.4%	0.2%	19.1%	0.2%
Unbekannte Importe	%	0.0%	15.6%	0.0%	15.6%
<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>

## C Anhang: Gesamtumweltbelastung

Tab. C.1 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 unbekannt Importe werden mit dem ENTSO-E Strommix modelliert.

Gesamtumweltbelastung	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Zertifizierter Strommix	Egal-Strommix
Stromverteilung	UBP/kWh	31.9	35.2	31.7	35.4
Wasserkraft	UBP/kWh	10.6	5.2	11.6	4.3
Pumpspeicherung	UBP/kWh	9.7	0.0	0.0	0.0
Kernkraft	UBP/kWh	170.8	199.5	0.0	226.1
Fossile Kraftwerke	UBP/kWh	1.7	6.6	0.0	7.5
Übrige	UBP/kWh	4.5	2.5	4.1	2.3
Unbekannte Importe	UBP/kWh	0.0	62.2	0.0	70.6
<b>Total</b>	<b>UBP/kWh</b>	<b>229.3</b>	<b>311.2</b>	<b>47.3</b>	<b>346.2</b>

Tab. C.2 Anteile der verschiedenen Technologien der Stromerzeugung und der Stromverteilung an der Gesamtumweltbelastung der Schweizer Strommixe in Prozent. Die unbekannt Importe werden mit dem ENTSO-E Strommix modelliert.

Gesamtumweltbelastung	Einheit	Produktions-Strommix	Lieferanten-Strommix	Zertifizierter Strommix	Egal-Strommix
Stromverteilung	%	13.9%	11.3%	67.0%	10.2%
Wasserkraft	%	4.6%	1.7%	24.4%	1.2%
Pumpspeicherung	%	4.2%	0.0%	0.0%	0.0%
Kernkraft	%	74.5%	64.1%	0.0%	65.3%
Fossile Kraftwerke	%	0.8%	2.1%	0.0%	2.2%
Übrige	%	2.0%	0.8%	8.6%	0.7%
Unbekannte Importe	%	0.0%	20.0%	0.0%	20.4%
<b>Total</b>	<b>%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>