

Monitoring-Bericht zur CO₂-Branchenvereinbarung für das Jahr 2018

Erstellt vom Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen (VBSA)
zuhanden von Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Energie (BFE)

Erstellt am 17. Oktober 2019



Inhalt

Bericht zur Zielvereinbarung	3
1 Einleitung	4
1.1 Treibhausgasemissionen der Abfallentsorgung	4
1.2 CO ₂ -Emissionen aus Kehrrechtverwertungsanlagen (KVA)	4
1.2.1 Berechnung der CO ₂ -Emissionen aus KVA	6
1.2.2 Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion der CO ₂ -Emissionen aus KVA	7
1.3 Die Zielvereinbarung	7
1.3.1 Die Vertragsparteien	8
1.3.2 Gegenstand der Zielvereinbarung: Reduktion der Netto-CO ₂ - Emissionen	9
1.3.3 Vereinbarte Zielwerte	10
2 Berichterstattung: Kenngrössen 2010–2018	11
2.1 Thermisch verwertete Abfallmenge	11
2.2 Thermisch verwertete Abfallmenge nach Anlagen	14
2.3 Fossile Brutto-CO ₂ -Emissionen	16
2.4 Lieferungen von Strom und Wärme an Dritte	18
2.5 Metallrückgewinnung und daraus resultierender CO ₂ -Bonus	21
2.6 Netto CO ₂ -Emissionen	24
3 Zielerreichung und Prognose	26
3.1 Einfluss der Witterung auf die Netto-CO ₂ -Emissionen	26
3.2 Prognose	31
3.2.1 Szenarien	31
3.2.2 Projekte mit erheblichem Emissionsminderungspotential	32
3.2.3 Exogene Faktoren, die die Zielerreichung beeinflussen	33
3.3 Fazit	34

Bericht zur Zielvereinbarung

Mit der Unterzeichnung der Zielvereinbarung zur Reduktion der fossilen CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung ist der VBSA eine Berichterstattungspflicht eingegangen. Demnach muss der VBSA jährlich verschiedene Kennzahlen zur Verwertung von Abfall des vergangenen Jahres sowie eine Prognose bis zum Jahr 2020 in einem Bericht festhalten.

Der vorliegende Bericht ergänzt das Monitoringtool, welches die relevanten Daten und Prognosen aller KVA der Schweiz enthält.

Hinweis zum Bericht

Dieses Dokument wird mit dem Softwarepaket bookdown auf Basis der Programmiersprache R erstellt.

Dazu werden die aktuellen Daten aus dem Monitoringtool automatisch eingelesen und daraus mit dem Fliesstext zusammen ein HTML sowie aus der identischen Quelldatei ein PDF Dokument erzeugt.

Datengrundlage:

Monitoringtool Version V.2.4, zuletzt aktualisiert: 2019-10-17 09:59:19

1 Einleitung

Die Entsorgung von Abfällen verursacht Emissionen von Kohlendioxid CO₂, Methan CH₄ und Lachgas N₂O. CO₂ entsteht bei der Verbrennung von Abfällen in verschiedenen Anlagen, CH₄ entsteht beim anaeroben Abbau von kohlenstoffhaltigen Abfällen auf Deponien und in Kompostier- und Vergärungsanlagen. N₂O entsteht hauptsächlich bei der Behandlung von Abwasser und der Verbrennung von Klärschlamm.

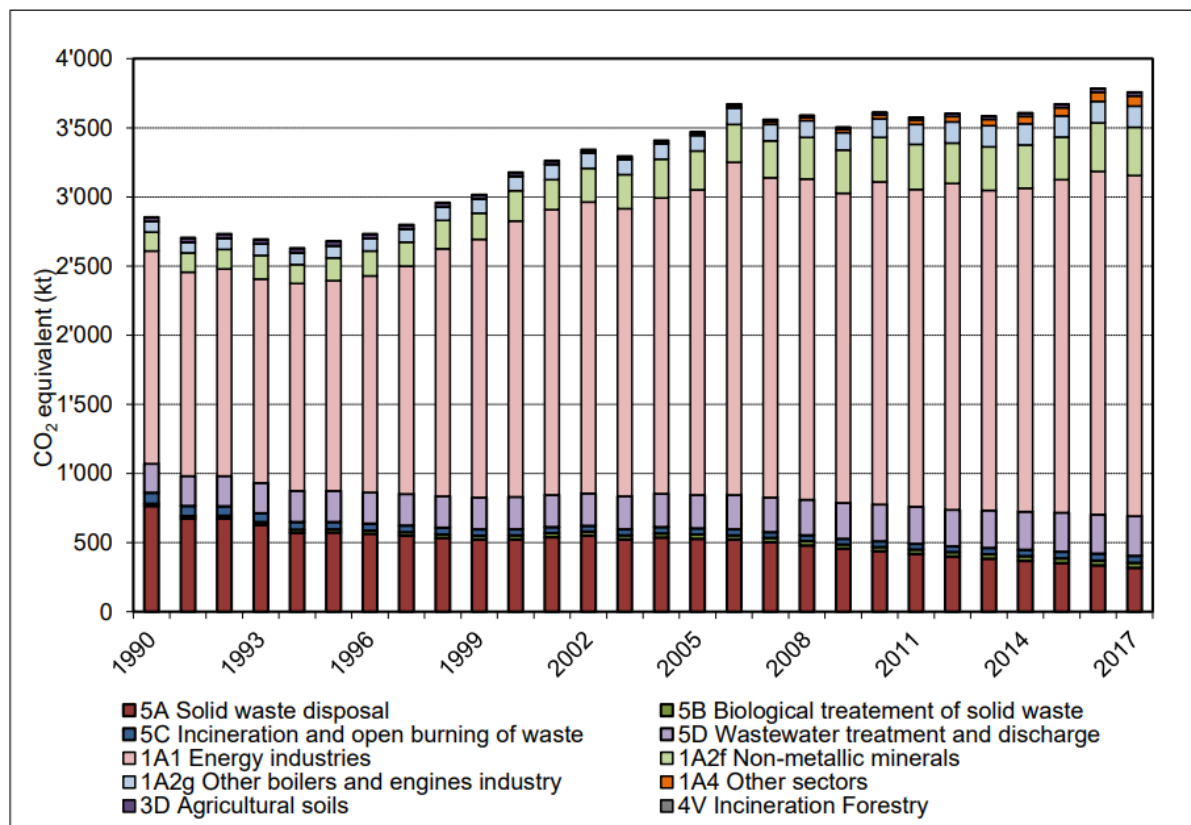


Abbildung 1 Treibhausgasemissionen der Abfallentsorgung in tausend Tonnen CO₂-equ. Quelle: Fig.7-3, National Inventory Report of Switzerland 2019). Die Treibhausgasemissionen der Abfallentsorgung betragen insgesamt 3.65 Mio.t CO₂-eq in 2017. Davon stammen 2.45 Mio.t CO₂ aus der Verbrennung von Abfällen in KVA und Sonderabfallverbrennungsanlagen (1A1 Energy Industries, Daten aus 1. A. 1. A. iv, Table 1A(a), Submission 2019).

1.1 Treibhausgasemissionen der Abfallentsorgung

Die Treibhausgasemissionen aus der gesamten Abfallentsorgung (inkl. Deponien, Zementwerke und Kläranlagen) machen in etwa 7.5 % der gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz. Sie sind seit 10 Jahren relativ stabil (Abbildung 2).

1.2 CO₂-Emissionen aus Kehrichtverwertungsanlagen (KVA)

Die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Abfällen in KVA betragen ca. 2.1 Mio. Tonnen. In diesem Abschnitt wird dargestellt, wie und warum diese Emissionen entstehen.

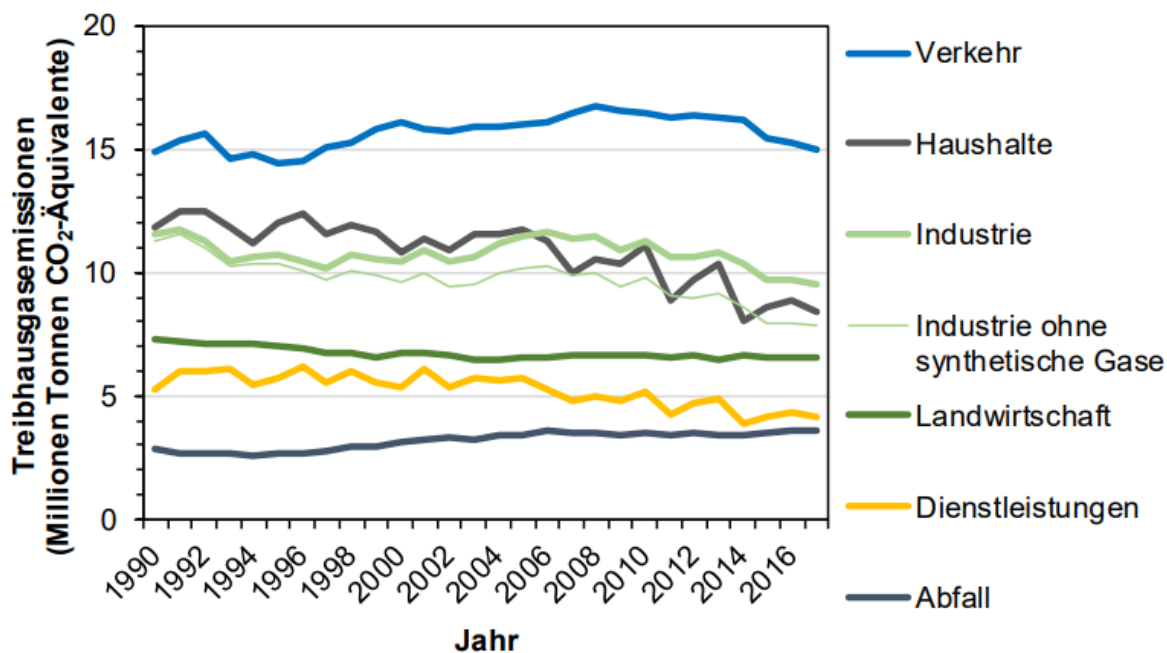


Abbildung 2 Die zeitliche Entwicklung der Treibhausgasemissionen gemäss Kyoto-Protokoll, aufgeteilt nach Sektoren. Quelle: Emissionen von Treibhausgasen nach revidiertem CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, 2. Verpflichtungsperiode (2013–2020), BAFU 2019

Das schweizerische Umweltschutzgesetz (USG) schreibt vor, dass Abfälle für die Ablagerung so behandelt werden müssen, dass sie möglichst wenig organisch gebundenen Kohlenstoff enthalten (USG Art. 30c Abs.1). Organisch gebundener Kohlenstoff ist auf Deponien unerwünscht, weil er dort zur Bildung von Methan (CH₄) führt, einem stark klimawirksamen Gas. Diese gesetzliche Bestimmung wird in der entsprechenden Ausführungsverordnung (Abfallverordnung, VVEA) mit einem Deponieverbot für Abfälle, die mehr als 2 Gewichtsprozent organischen Kohlenstoffes enthalten, umgesetzt (Anhang 5 Ziff. 5.2 VVEA).

Es gibt aber viele Abfälle, die weit mehr als zwei Gewichtsprozent Kohlenstoff enthalten: Siedlungsabfälle enthalten beispielsweise ca. dreissig Gewichtsprozent organischen Kohlenstoff, Klärschlamm und brennbare Bauabfälle (vorwiegend Altholz) noch mehr. Diese kohlenstoffreichen Abfälle dürfen nicht auf Deponien abgelagert werden. Es braucht zuerst eine Senkung ihres Kohlenstoffgehaltes.

Die einzige Möglichkeit, den Kohlenstoffgehalt des Abfalls zu senken, ist die Verbrennung, d.h. die Oxidierung des Kohlenstoffes (C) zum gasförmigen Kohlenstoffdioxid CO₂. Diese Tatsache widerspiegelt sich in Artikel 10 der Abfallverordnung, der eine Pflicht zur thermischen Behandlung für brennbare Abfälle vorschreibt. Den im Abfall enthaltenen Kohlenstoff in CO₂ umzuwandeln ist daher eine gesetzliche Pflicht. Die CO₂-Emissionen aus der thermischen Behandlung von Abfällen entstehen somit nicht als Konsequenz einer frei steuerbaren wirtschaftlichen Aktivität, sondern aus der Wahrnehmung eines gesetzlich vorgeschriebenen Entsorgungsauftrags.

Die KVA-Betreiber haben die Pflicht, die angelieferten Abfälle gesetzkonform zu behandeln. Sie müssen diese möglichst vollständig verbrennen, damit die Rückstände (Schlacke) höchstens zwei Gewichtsprozent unverbrannte Anteile, gemessen als gesamter organischer Kohlenstoff, enthalten (Art. 32 Abs.2 Bst. e VVEA). In anderen Worten, die KVA-Betreiber sind gesetzlich verpflichtet, den im Abfall enthaltenen Kohlenstoff möglichst vollständig in CO₂ umzuwandeln.

Sie müssen in diesem Sinne die CO₂-Emissionen der KVA maximieren, um spätere, viel klimaschädlichere CH₄-Emissionen aus Deponien zu vermeiden.

Die CO₂-Emissionen, die bei der Verbrennung einer Tonne Abfall entstehen, hängen ausschliesslich vom Kohlenstoffgehalt des angelieferten Abfalls ab. Dieser Parameter kann nicht routinemässig gemessen und kann vom Anlagebetreiber nicht beeinflusst werden. Damit bleibt festzuhalten, dass der Betreiber einer KVA keinen direkten Einfluss auf die CO₂-Emissionen seiner Anlage hat.

1.2.1 Berechnung der CO₂-Emissionen aus KVA

Die CO₂-Emissionen werden in zwei Kategorien unterteilt: fossil, wenn der Kohlenstoff fossilen Ursprungs ist (Erdöl, Kohle, Erdgas) und biogen, wenn der Kohlenstoff pflanzlichen Ursprungs ist (Holz, Papier, Kautschuk, usw.). Emissionen, welche durch die Verbrennung von biogenem Kohlenstoff entstehen, gelten als klimaneutral. Massgebend für die Treibhausgasbilanz ist nur der fossile Anteil der Emissionen.

Abfall ist ein heterogenes Gemisch, das sowohl fossilen als auch biogenen Kohlenstoff enthält. Der Anteil an fossilem Kohlenstoff in einem Gemisch kann mit einer Messung des Kohlenstoffisotopen ¹⁴C ermittelt werden. Messungen der KVA-Abgase mit dieser Methode haben ergeben, dass der Anteil an fossilem C im Abfall bei 48 % liegt. Damit sind nur 48 % der CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung klimarelevant.

Es ist sehr umständlich, den gesamten Kohlenstoffgehalt im Abfall zu messen. Da aber die Oxydation von C zu CO₂ Energie freisetzt, besteht eine empirische Korrelation zwischen dem Heizwert des Abfalls und seinem Kohlenstoffgehalt. Diese Korrelation lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$C_{Total} \left[\frac{g}{kg} \right] = 264 + \left(Hu \left[\frac{MJ}{kg} \right] - 10 \right) \times \frac{98}{5} \quad (1)$$

Mit

- C_{Total} der Gehalt an organischem Kohlenstoff (fossil und biogen) des Abfalls in g C pro kg Abfall
- Hu der Heizwert des Abfalls in MJ pro kg, hergeleitet aus der gemessenen Dampfproduktion im Kessel der KVA.

Der Heizwert von Abfall beträgt 11 bis 12 MJ pro kg¹. Setzt man diese Werte in der obigen Formel ein, ergeben sich Werte zwischen 283.6 und 303.2 g C pro kg für den gesamten Gehalt an organischem Kohlenstoff im Abfall.

Wie oben erwähnt sind nur 48 % des gesamten Kohlenstoffs fossilen Ursprungs.

$$C_{fossil} \left[\frac{g}{kg} \right] = 0.48 \times C_{Total} \left[\frac{g}{kg} \right] \quad (2)$$

Geht man von einer vollständigen Umwandlung des fossilen C in CO₂ aus (was mit einer Zunahme des Molekulargewichtes von 12 auf 44 verbunden ist), kann man nun den Emissionsfaktor für fossiles CO₂ aus der Abfallverbrennung berechnen:

¹Im Treibhausgasinventar wird ein Wert von 11.4 MJ/kg angenommen. Faktenblatt CO₂-Emissionenfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz, Röhliberger Regine, BAFU, 01/2016, Tabelle 2.

$$EF_{CO_2, fossil} \left[\frac{g}{kg} \right] = \left(0.48 \times C_{Total} \left[\frac{g}{kg} \right] \right) \times \frac{44}{12} \quad (3)$$

Liegt der Heizwert zwischen 11 und 12 MJ pro kg, ergeben sich Emissionsfaktoren zwischen 499 und 534 g fossiles CO₂ pro kg Abfall². Bei einer verbrannten Abfallmenge von 4 Millionen Tonnen entstehen demnach ca. 2.1 Millionen Tonnen fossiles CO₂.

1.2.2 Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion der CO₂-Emissionen aus KVA

Wie oben erwähnt werden die CO₂-Emissionen aus KVA ausschliesslich durch Menge und Zusammensetzung der verbrannten Abfälle bestimmt. Der Betreiber ist verpflichtet, die angelieferten Abfälle möglichst vollständig zu verbrennen und kann daher die dabei entstehenden CO₂-Emissionen nicht beeinflussen.

Abgesehen von Carbon Capture, also die Abscheidung von CO₂ aus dem Rauchgas, gibt es keine direkte Möglichkeit, die CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung zu reduzieren. Es gibt aber verschiedene Möglichkeiten, die CO₂-Emissionen indirekt zu reduzieren:

- *Nutzung der Abwärme*
Die Verbrennung von Abfällen setzt Energie in der Form von Abwärme frei. Durch Nutzung dieser Abwärme können fossile Energieträger ersetzt werden. Dadurch werden indirekt die CO₂-Emissionen der Schweiz reduziert.
- *Rückgewinnung der Metalle aus den Verbrennungsrückständen*
Aus der Schlacke und aus Filteraschen können Metalle rückgewonnen werden. Werden diese wieder in den Wirtschaftskreislauf eingegeben, müssen weniger Metalle aus Lagerstätten abgebaut werden. Dies spart natürliche Ressourcen. Das Recycling von Metallschrott verbraucht zudem viel weniger Energie als die metallurgischen Prozesse zur Gewinnung von Metallen aus Erzen. Dadurch werden die globalen CO₂-Emissionen indirekt reduziert.
- *KVA-interne Effizienzmassnahmen*
Effizienzmassnahmen führen zur Senkung des Eigenverbrauchs, damit mehr Energie (Strom oder Wärme) an Dritte geliefert werden kann.
- *Reduktion des Imports von Abfällen*
Durch Reduktion der Abfall-Importe könnten die Emissionen im Inland reduziert werden. Wenn aber die ausländischen Abfälle im Ausland deponiert werden, entstehen insgesamt mehr Treibhausgase als bei der Verbrennung dieser gleichen Abfälle in der Schweiz.
- *Die Produktion von Strom*
Da die Schweiz eine im Schnitt CO₂-arme Stromproduktion hat, trägt die zusätzliche Stromproduktion aus KVA kaum zu einer Abnahme der CO₂-Emissionen bei.

1.3 Die Zielvereinbarung

Die CO₂-Emissionen der KVA sind mit ca. 2 Millionen Tonnen fossilem CO₂ nicht vernachlässigbar. Auf der anderen Seite können diese Emissionen mit den gängigen Mechanismen, wie

²Im Treibhausgasinventar wird für das Jahr 2013 ein Emissionsfaktor von 506.7 g CO_{2,fossil} angenommen (ibid, Tabelle 2)

Umstellung auf saubere Brennstoffe oder Massnahmen zur Steigerung der Energie-Effizienz, nicht direkt bzw. sehr beschränkt vermindert werden. Die angelieferten Abfälle müssen gleichwohl verbrannt, der darin enthaltene Kohlenstoff gemäss gesetzlichen Vorgaben möglichst vollständig oxidiert werden. Im Wissen dieser Besonderheiten wurde nach einem pragmatischen Ansatz gesucht, damit die KVA einen angemessenen Beitrag zum Klimaschutz leisten. Es wurde der Weg einer Zielvereinbarung gewählt.

1.3.1 Die Vertragsparteien

Die Vertragsparteien der Zielvereinbarung sind einerseits das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) und andererseits sämtliche in Betrieb stehenden KVA. Die KVA werden vom Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen (VBSA) vertreten. Sie sind in der Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 Liste der 30 von der Zielvereinbarung erfassten KVA mit Standortkanton und Anlage-Kürzel. Zu beachten ist, dass die KVA Luzern (Anlage-Kürzel LU_1) bei Unterzeichnung der Vereinbarung im Jahre 2014 in Betrieb war, sie wurde am 31.12.2014 stillgelegt und von der KVA Perlen (Anlage-Kürzel LU_2) ersetzt. Damit waren 2014 wie 2015 30 Anlagen in Betrieb.

Nr	Standortkanton	Anlagestandort	Anlage-Kürzel
1	AG	Buchs (AG)	AG_1
2	AG	Oftringen	AG_2
3	AG	Turgi	AG_3
4	BE	Bern	BE_1
5	BE	Biel	BE_2
6	BE	Thun	BE_3
7	BS	Basel	BS_1
8	FR	Posieux	FR_1
9	GE	Genf	GE_1
10	GL	Niederurnen	GL_1
11	GR	Trimmis	GR_1
12	LU	Luzern (in Betrieb bis 31.12.2014)	LU_1
13	LU	Perlen (in Betrieb ab 1.1.2015)	LU_2
14	NE	Colombier	NE_1
15	NE	La Chaux-de-Fonds	NE_2
16	SG	Bazenheid	SG_1
17	SG	Buchs (SG)	SG_2
18	SG	St. Gallen	SG_3
19	SO	Zuchwil	SO_1
20	TG	Weinfelden	TG_1
21	TI	Giubiasco	TI_1
22	VD	Lausanne	VD_2
23	VS	Gamsen	VS_1
24	VS	Sion	VS_2
25	VS	Monthey	VS_3
26	ZH	Dietikon	ZH_1
27	ZH	Hinwil	ZH_2

28	ZH	Horgen	ZH_3
29	ZH	ZH Hagenholz	ZH_4
30	ZH	ZH Josefstrasse	ZH_5
31	ZH	Winterthur	ZH_6

1.3.2 Gegenstand der Zielvereinbarung: Reduktion der Netto-CO₂-Emissionen

Gegenstand der Zielvereinbarung ist eine Reduktion der fossilen Netto-CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Abfällen in den in Tabelle 1 aufgeführten Anlagen.

Die Netto-CO₂-Emissionen werden wie folgt berechnet:

Zuerst werden die fossilen Brutto-CO₂-Emissionen EM^B berechnet, als Produkt der verbrannten Abfallmenge M_v mit dem Emissionsfaktor EF für fossiles CO₂ nach Gleichung (4).

$$EF_{CO_2, fossil} \times M_v = EM^{Brutto}_{CO_2, fossil} := EM^B \quad (4)$$

Die Produktion von Wärme und Strom in KVA sowie die Rückgewinnung von Metallen führen zu indirekten CO₂-Einsparungen. Die Netto-CO₂-Emissionen ergeben sich folglich aus der Differenz zwischen den fossilen Brutto-CO₂-Emissionen und den mit einem entsprechenden Emissionsfaktor gewichteten Elektrizitäts- und Wärmelieferungen an Dritte und den indirekten Einsparungen aus der Metallrückgewinnung.

$$EM^{Netto}_{CO_2, fossil} = EM^B - EF_{ele} \times E_{ele} - EF_w \times E_w - \sum MRW \quad (5)$$

Mit

- $\sum MRW$ [t CO₂] die Summe aller CO₂-Boni aus Metallrückgewinnung
- EF_{ele} [t CO₂/MWh] der Emissionsfaktor für Elektrizität
- E_{ele} [MWh] die an Dritte gelieferte Elektrizität
- EF_w [t CO₂/MWh] der Emissionsfaktor für Wärme
- E_w [MWh] die an Dritte gelieferte Wärme

Die Emissionsfaktoren wurden auf folgende Werte festgelegt:

- $EF_{ele} = 0.0183$ t CO₂/MWh
- $EF_w = 0.2243$ t CO₂/MWh

Damit ist die Wärmelieferung etwa zehnmal stärker gewichtet als die Stromlieferung.

Ein CO₂-Bonus wird für die Rückgewinnung folgender Metalle gewährt: Eisen (Fe), Aluminium (Al), Kupfer (Cu), Stahl rostfrei, Zink (Zn), Blei (Pb), Gold (Au) und Silber (Ag).

Der CO₂-Bonus für die einzelnen Metalle (MRW_{met}) wird wie folgt berechnet:

$$MRW_{met} = EF_{met} \times M_{met} \quad (6)$$

Mit

- EF_{met} [t CO₂/t Metall] der Emissionsfaktor, der mit der Rückgewinnung des jeweiligen Metalls verbunden ist.
- M_{met} [t Metall] die rückgewonnene Menge an jeweiligem Metall Die Emissionsfaktoren wurden auf folgende Werte festgelegt (Tabelle 2):

Tabelle 2 Die Emissionsfaktoren der verschiedenen Metalle. Quelle: Die Emissionsfaktoren wurden der Datenbank Ecoinvent, Version 2.2, entnommen.

Metall	Emissionsfaktor	Einheit
EF_{Eisen}	1.52	t CO ₂ /t Fe
$EF_{\text{Aluminium}}$	10.66	t CO ₂ /t Al
EF_{Kupfer}	1.36	t CO ₂ /t Cu
$EF_{\text{Stahl, rostfrei}}$	4.11	t CO ₂ /t Stahl, rostfrei
EF_{Zink}	2.57	t CO ₂ /t Zn
EF_{Blei}	1.46	t CO ₂ /t Pb
EF_{Gold}	9'632.00	t CO ₂ /t Au
EF_{Silber}	427.00	t CO ₂ /t Ag

Wenn die rückgewonnene Metallmenge nicht in die einzelnen Metalle aufgeschlüsselt wird, sondern nur in den zwei Kategorien Eisen und Nicht-Eisen-Metalle (NE) angegeben wird, wird für die NE-Fraktion ein Pauschal-Emissionsfaktor verwendet:

$$EF_{NE} = 5.0 \text{ t CO}_2/\text{t NE}$$

Der Wert von 5.0 t CO₂/t NE widerspiegelt die Tatsache, dass ein grosser Teil der NE-Fraktion aus Aluminium besteht. Der Wert ist bewusst tief festgelegt, damit ein Anreiz besteht, die NE-Metalle besser aufzutrennen.

1.3.3 Vereinbarte Zielwerte

Die Netto-CO₂-Emissionen aus den in Tabelle 1 aufgelisteten Anlagen im Jahr 2010 bilden die Referenzgrösse. Sie betragen 1.14 Millionen t CO₂. Die Vertragsparteien haben folgende Zielwerte vereinbart:

1. Bis Ende des Jahres 2020 sind die Netto-CO₂-Emissionen aus den in Tabelle 1 aufgelisteten Anlagen um 200'000 t CO₂ zu reduzieren. Sie dürfen dann noch maximal 0.94 Millionen Tonnen CO₂ betragen.
2. Im Zeitraum von 2010 bis 2020 muss zudem die kumulierte Abnahme der Netto-CO₂-Emissionen mindestens 1 Million Tonnen CO₂ erreichen.

2 Berichterstattung: Kenngrößen 2010–2018

Mit der Unterzeichnung der Zielvereinbarung ist der VBSA eine Berichterstattungspflicht eingegangen. Demnach muss der VBSA dem BAFU und dem BFE jährlich jeweils bis 30. Juni die folgenden Angaben melden:

- Die im Vorjahr angenommenen und verbrannten Abfallmengen und die dadurch verursachten fossilen Brutto-CO₂-Emissionen insgesamt und pro KVA
- Angaben zur Wärme- und Stromproduktion im Vorjahr insgesamt und pro KVA
- Die Menge der im Vorjahr zurückgewonnenen Metalle sowie die daraus erzielten indirekten Emissionsverminderungen (pro Metall und KVA sowie insgesamt)
- Die im Vorjahr resultierenden Netto-CO₂-Emissionen sowie die entsprechenden Einsparungen im Vergleich zum Referenzjahr 2010 (insgesamt und pro KVA);
- Angaben zu den im Vorjahr eingeleiteten Massnahmen sowie die daraus zukünftig erzielbaren Substitutionswirkungen und Emissionsverminderungen

Diese Angaben werden in einem Monitoring-Tool erfasst. Das Monitoring-Tool ist eine Excel-Datei, die mit sämtlichen Angaben und sämtlichen Berechnungen jährlich an BAFU und BFE übergeben wird. Der vorliegende Bericht ergänzt das Monitoring-Tool, indem er die Erkenntnisse aus dem Monitoring-Tool erläutert.

Weiter muss gemäss Vereinbarung der Bericht eine Prognose enthalten, wie sich die fossilen CO₂-Emissionen und die Netto-CO₂-Emissionen (bzw. die für die Berechnung notwendigen Daten und Parameter) bis zum Jahr 2020 entwickeln werden und ob eine Erreichung der unter Ziffer 2 festgelegten Reduktionsziele weiterhin möglich ist. Diese Prognose muss vom BAFU und BFE mit Hilfe des erstellten Monitoring-Tools nachvollzogen werden können.

2.1 Thermisch verwertete Abfallmenge

Die im Jahr 2018 gesamte thermisch verwertete Abfallmenge (4'041'685 t) hat gegenüber dem Vorjahr wenig zugenommen (30'660 t bzw. +0.76 %).

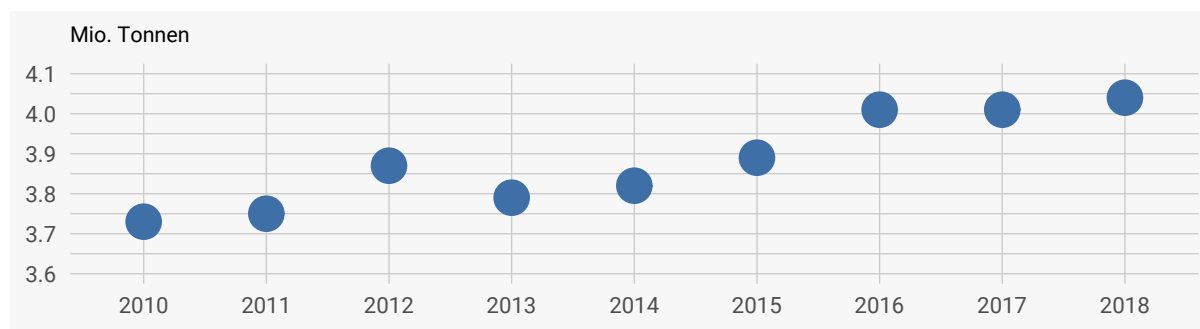


Abbildung 3 In den 30 KVA thermisch verwertete Abfallmenge in Tonnen, Entwicklung 2010–2018

Diese geringe Zunahme ist kleiner als diejenige des BIP (3 %, vorläufige SECO-Schätzung für das Jahr 2018), wobei eine Koppelung zwischen BIP und thermisch verwerteter Abfallmenge über die Periode 2011–2018 kaum auszumachen ist (vgl. Abbildung 4). Zwischen 2010 und 2018 ist die thermisch verwertete Abfallmenge insgesamt um 8.3 % gewachsen, das BIP um 9.7 %. Diese scheinbare Entkoppelung zwischen BIP und thermisch verwertete Menge KVA ist vermutlich

auf die begrenzte Kapazität der Schweizer KVA zurückzuführen. Die verbrannte Abfallmenge liegt seit 2016 über 4 Mio. Tonnen und die maximale Verbrennungskapazität scheint damit erreicht zu sein.

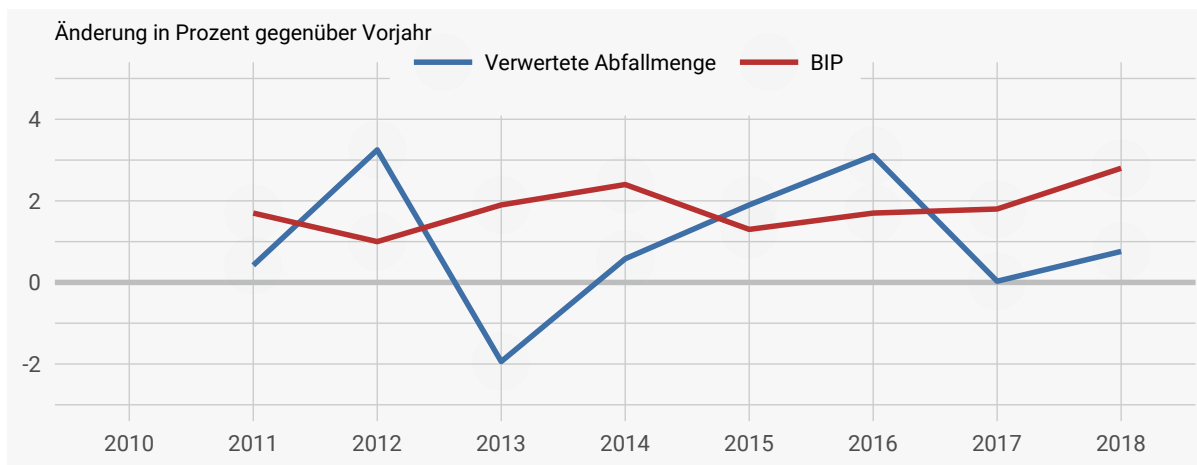


Abbildung 4 In KVA verwertete Abfallmenge und BIP (Real, zu Preisen des Vorjahres), prozentuale Änderung gegenüber dem Vorjahr. Zeitreihe 2010–2018

Die Änderung der verwerteten Abfallmengen zwischen 2017 und 2018 lässt sich in drei Komponenten aufteilen, die in Abbildung 5 dargestellt sind: Die Abfälle aus der Schweiz haben um 20'012 t zugenommen, wobei ein grosser Teil dieser Zunahme auf Lagerbewegungen (Bunker und Ballenlager) zurückzuführen ist. Die Importe haben sich stabilisiert (+124 t) und die verbrannte Klärschlamm-Menge hat wieder zugenommen (10'523 t), weil eine grosse Monoverbrennungsanlage einen längeren Ausfall hatte.

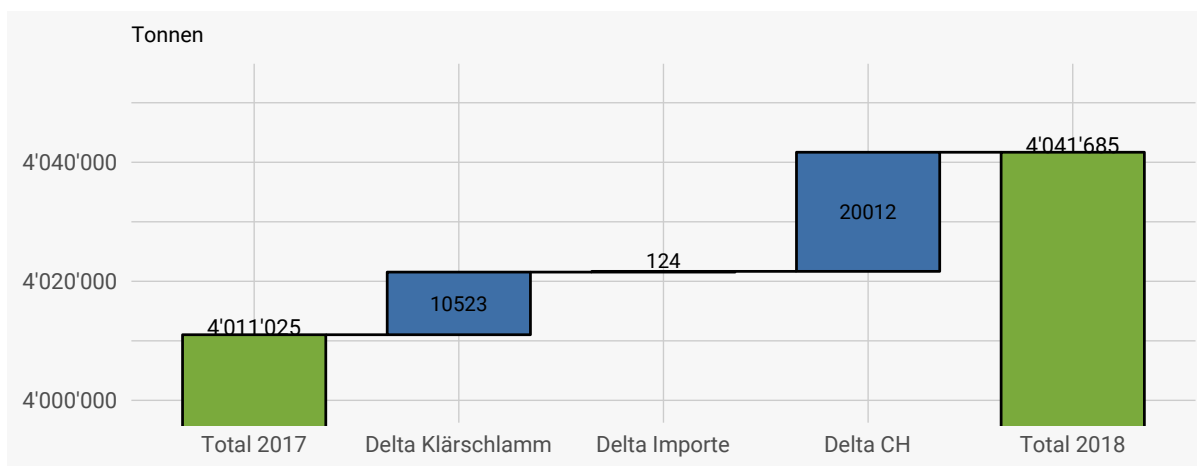


Abbildung 5 Kaskadendiagramm mit den verwerteten Mengen 2017 und 2018. Die Menge Klärschlamm hat zugenommen (Delta KS), die Importe sind stabil geblieben (Delta Import). Die Menge Abfälle aus der Schweiz hat auch zugenommen (Delta CH), allerdings beinhaltet diese auch die Lagerbewegung. Alle Angaben in Tonnen.

Die Importe haben sich gegenüber dem Vorjahr auf hohem Niveau stabilisiert (2017: +16'405 t, 2018: +124 t). Eine Zeitreihe der Importe nach Herkunftsland ist auf Abbildung 6 ersichtlich.

Die Importe aus Deutschland bleiben trotz einer leichten Abnahme sehr hoch, weil die Anlagen insbesondere in Süddeutschland an ihre Kapazitätsgrenzen stossen und die Entsorgungspreise für Industrie- und Gewerbeabfälle in den letzten Jahren stark angestiegen sind, was den Export in die Schweiz wirtschaftlich interessant macht. Das Gleiche gilt für das Vorarlberg. In Italien

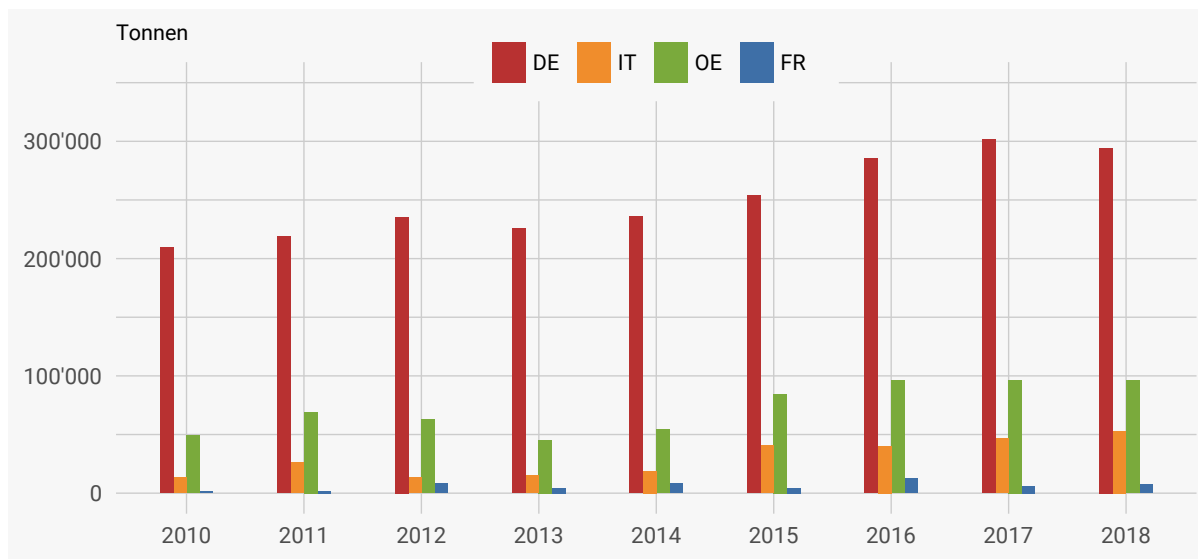


Abbildung 6 Verwertung von importierten Abfällen in schweizerischen KVA, Zeitreihe 2010–2018, nach Herkunftsland.

hat sich der akute Entsorgungsnotstand weiter zugespitzt. Deponien sind voll oder werden auf Druck der EU geschlossen, es gibt aber keine ausreichende Verbrennungskapazität, um die Menge abzufangen. Dieses Phänomen (Umsetzung des Deponieverbotes ohne Ausbau der Verbrennungskapazität) ist in der ganzen EU zu beobachten.

Zu den Abfallimporten ist ausserdem zu vermerken, dass ausländische Abfälle bei ihrer Verbrennung gleich viel CO₂ freisetzen, ob die Verbrennung in der Schweiz oder in ihrem Herkunftsland stattfindet. Bei einer Verbrennung in der Schweiz sind aber die Transportwege unter Umständen kürzer: Von Lörrach (D) aus liegt die nächste KVA in Basel, von Feldkirch (Ö) in Buchs (SG) und von Konstanz (D) in Weinfelden (TG).

Italienische Abfälle können mangels Kapazität gar nicht in Italien verbrannt werden. Sie werden entweder nach Nordeuropa transportiert und verbrannt, oder in Italien deponiert. In beiden Fällen führt die Verbrennung in Schweizer KVA zu einer tieferen gesamten Umweltbelastung.

2.2 Thermisch verwertete Abfallmenge nach Anlagen

Die in jeder der 30 KVA thermisch verwerteten Abfallmengen in den Jahren 2010 und 2018 sind in der Abbildung 5 dargestellt.

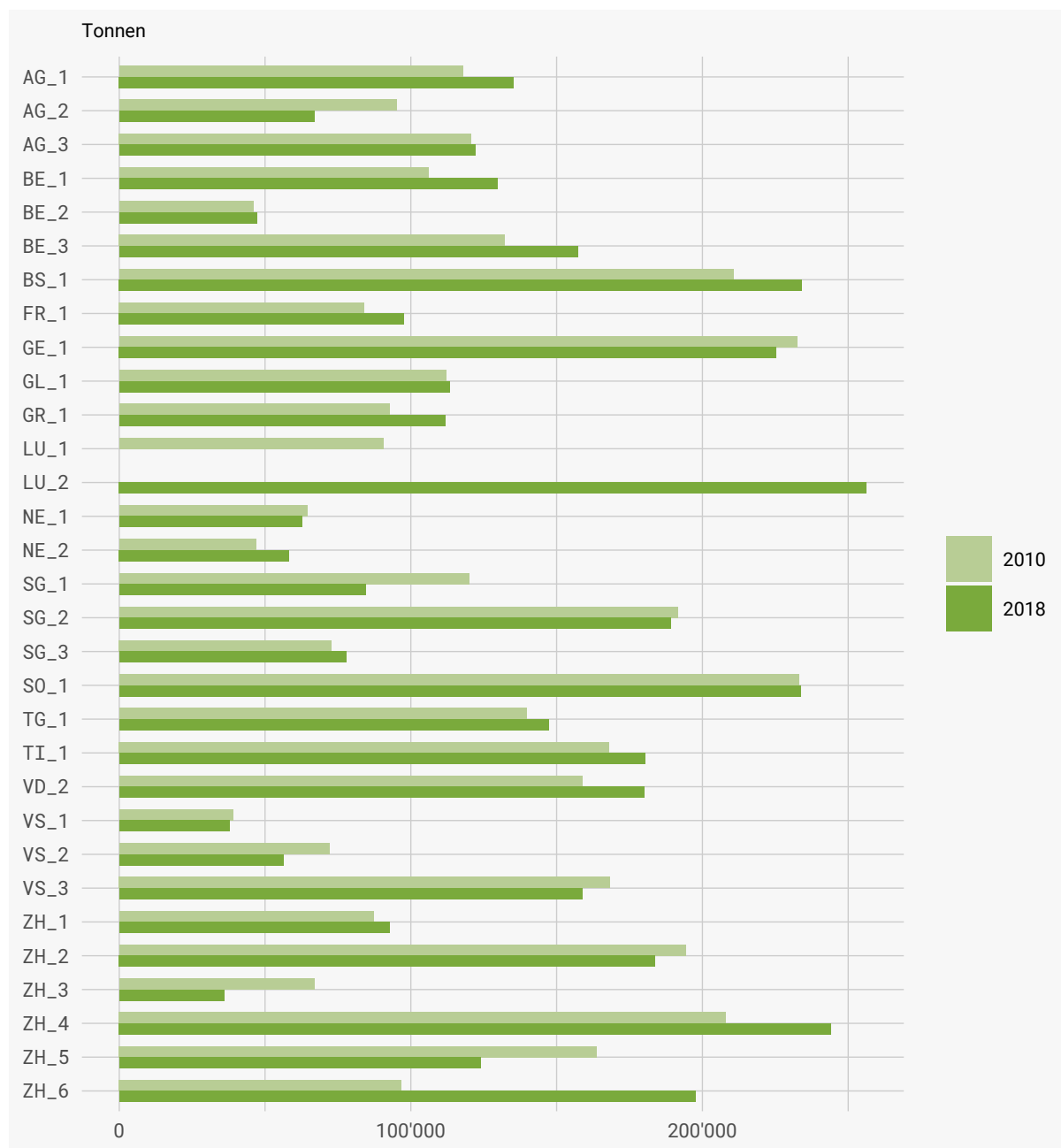


Abbildung 7 Thermisch verwertete Abfallmenge pro Anlage in Tonnen, Vergleich 2010 und 2018.

Die obige Graphik bringt die grosse Heterogenität des Anlagenparks zum Ausdruck: Die kleinste Anlage in Horgen (ZH_3) hat in etwa 7 Mal weniger Kapazität als die grösste in Perlen (LU_2).

Die anlagespezifischen Änderungen bezüglich verwertete Abfallmenge sind in der Abbildung 8 ersichtlich.

- Thun (BE_3): Die KVA Thun hat den Abstand zwischen Revisionen auf 18 statt 12 Monate verlängert. Demnach wurde 2018 keine Revision durchgeführt. Die nächste Revision, mit dreiwöchigen Betriebsunterbruch, ist im Frühjahr 2019 geplant.

- Basel (BS_1): Die KVA Basel hat 2017 eine geplanten Grossrevision durchgeführt. Eine von zwei Ofenlinien stand fünf Wochen lang still. Eine solche Betriebsunterbrechung war 2018 nicht nötig, was die Zunahme der verwerteten Menge gegenüber 2017 erklärt.
- Perlen (LU_2): Die neue Anlage Renergia in Perlen wurde 2015 in Betrieb genommen. Das tatsächliche Leistungspotential der Anlage ist offenbar nicht erreicht. Ausserdem hat die Abfallmenge im Einzugsgebiet der Renergia gemäss Angaben des Betreibers weiterhin zugenommen.
- Colombier (NE_1): Eine Ofenlinie wurde total umgebaut und stand 2017 still. Sie wurde 2018 wieder auf Volllast betrieben.

Die weiteren Zu- und Abnahmen sind als normale Schwankungen zu betrachten.

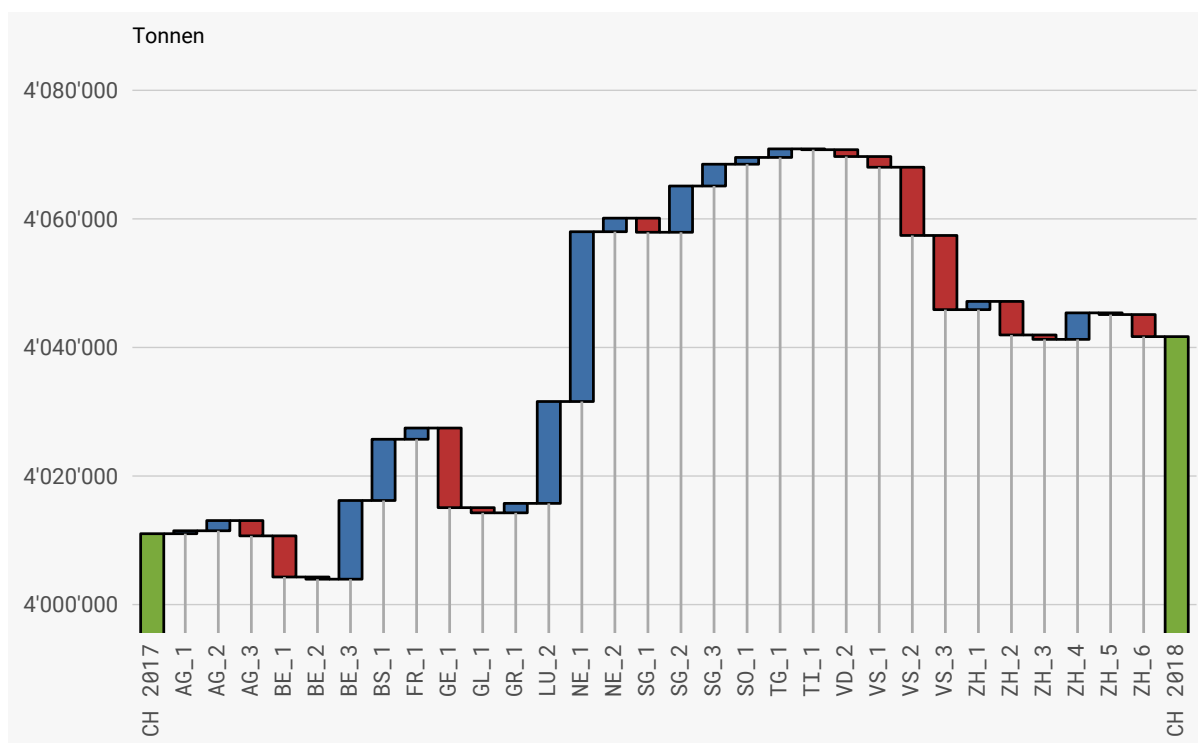


Abbildung 8 Thermisch verwertete Abfallmenge pro Anlage, Änderungen gegenüber 2017 in Tonnen. Blau: Zunahme. Rot: Abnahme. Grün: Summe CH 2017 (links) und 2018 (rechts).

2.3 Fossile Brutto-CO₂-Emissionen

In Abbildung 9 sind die fossilen Brutto-CO₂-Emissionen EM^B (vgl. Absatz 1.3.2) jeder KVA für die Jahre 2010 und 2018 zu sehen. Obwohl die Emissionen mit dem für jede Anlage spezifischen Heizwert gerechnet wurden, ergibt sich ein sehr ähnliches Bild wie bei den Abfallmengen (Abbildung 3). Mehr verwertete Abfälle führen zu mehr Emissionen.

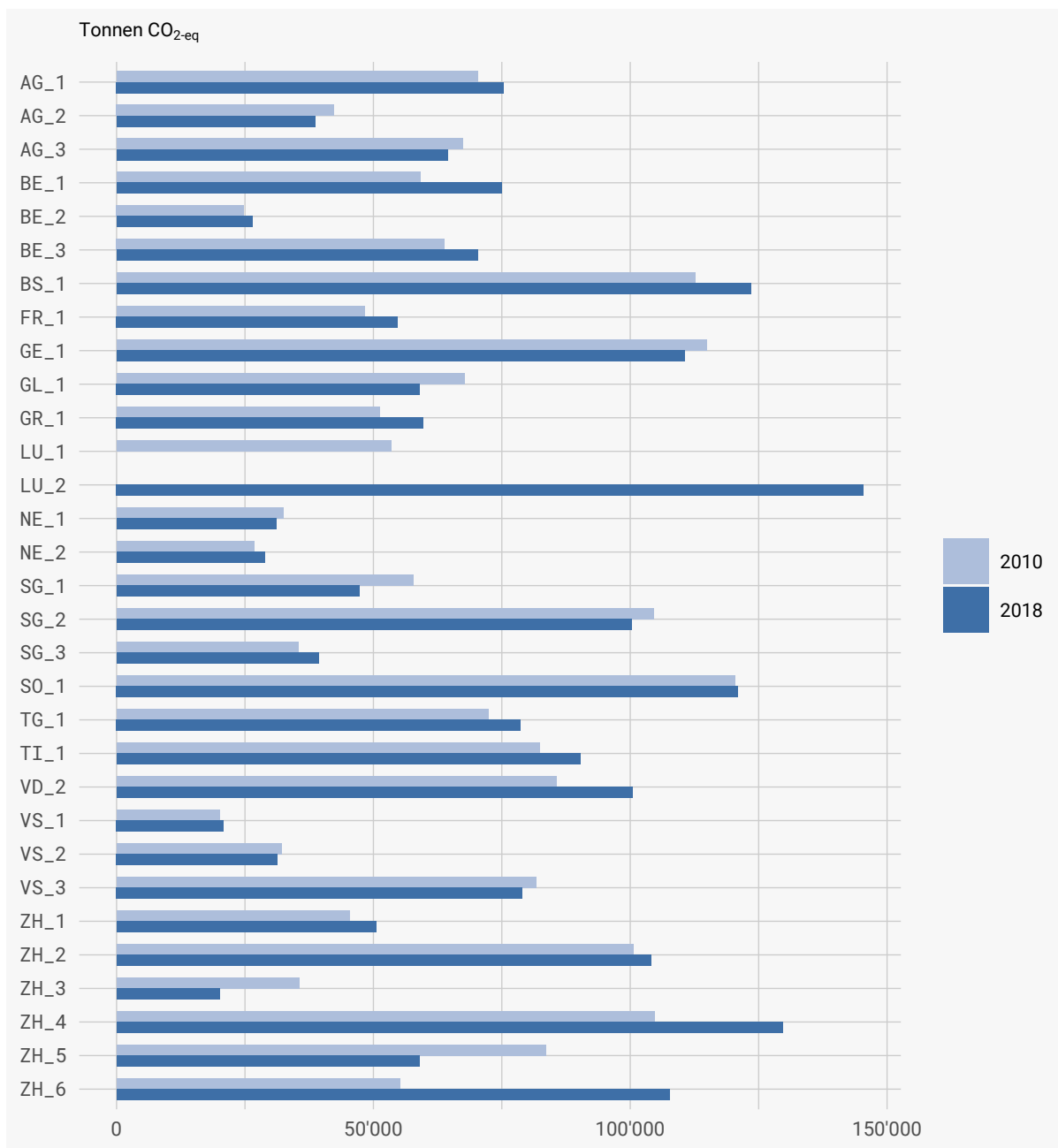


Abbildung 9 Fossile Brutto-CO₂-Emissionen, in t CO₂-eq pro Anlage, Vergleich 2010 und 2018.

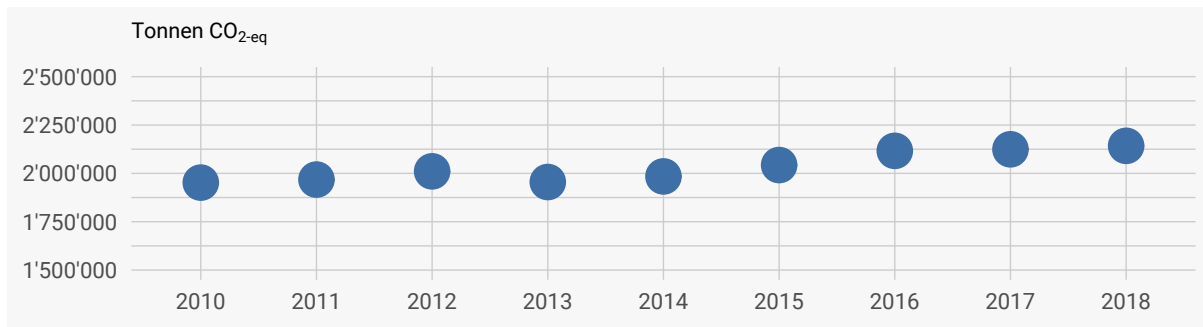


Abbildung 10 Fossile Brutto-CO₂-Emissionen aller 30 KVA, in t CO₂-eq. 2018 wurden 2'142'400 t fossiles CO₂ emittiert.

2.4 Lieferungen von Strom und Wärme an Dritte

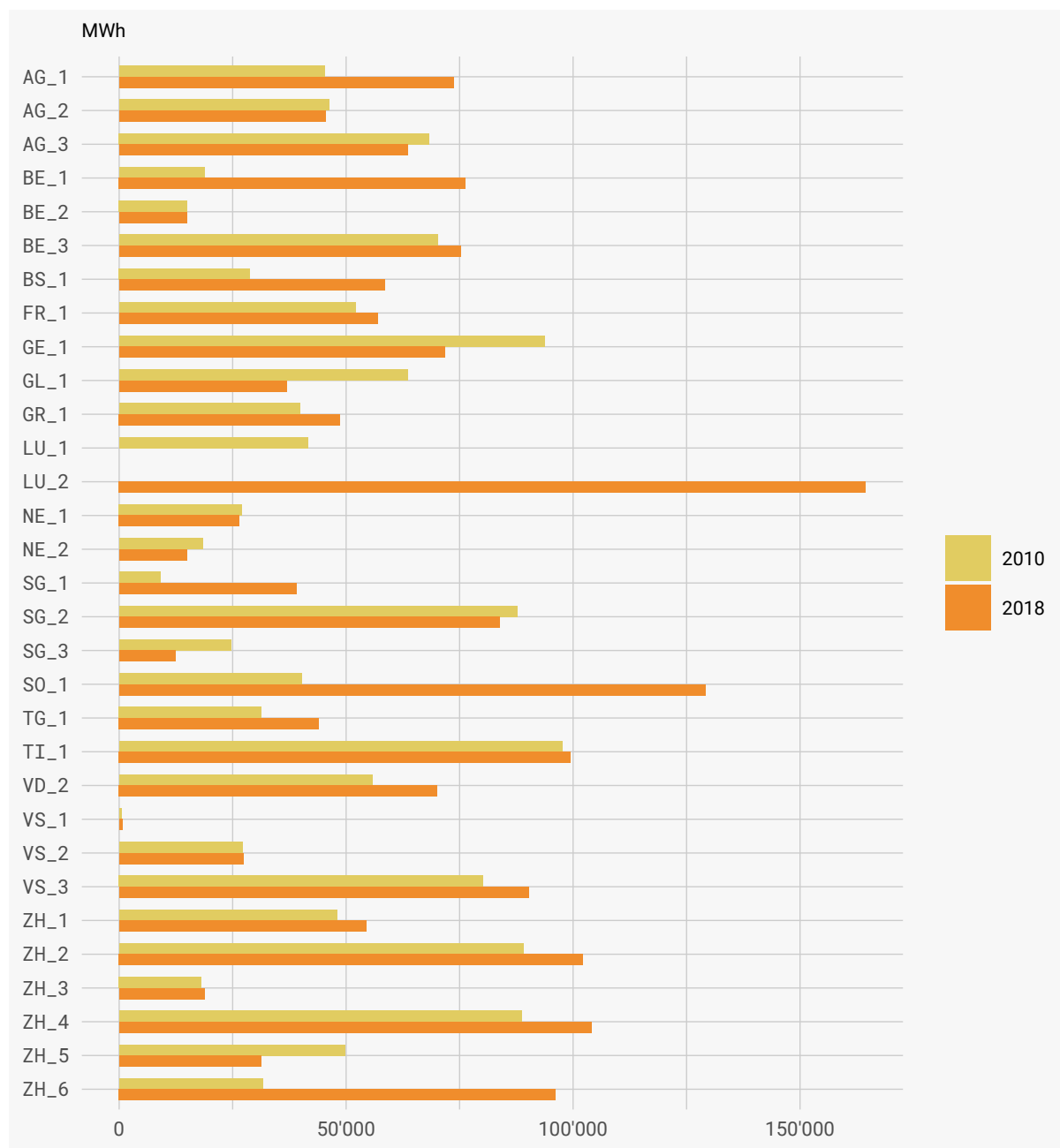


Abbildung 11 Stromlieferungen an Dritte in MWh, pro Anlage für die Jahre 2010 und 2018.

Seit 2010 ist die Stromproduktion stark gestiegen. 2018 haben 4 Anlagen die Marke von 100'000MWh übertroffen. Der grosse Anstieg in Zuchwil (SO_1) steht aber in Zusammenhang mit einer sehr grossen Abnahme der Wärmelieferungen, bedingt durch die Schliessung der Papierfabrik Biberist. Die neue Anlage in Bern-Forsthaus (BE_1, Inbetriebnahme 2012) hat eine viel höhere Stromproduktion als die alte Anlage am Warmbächliweg, dafür aber eine tiefere Wärmeproduktion. Auch in Monthey (VS_3) und Winterthur (ZH_6) ist die Stromproduktion seit 2010 stark gestiegen, allerdings ohne Einbusse bei der Wärmeproduktion (siehe Abbildung 12 unten). Die neue Anlage Renergia in Perlen (LU_2) hat gegenüber der alten Anlage Ibach (LU_1) einen viel höheren energetischen Wirkungsgrad, das heisst sowohl eine höhere Stromproduktion als auch eine viel höhere Wärmeproduktion (vgl. Abbildung 11)

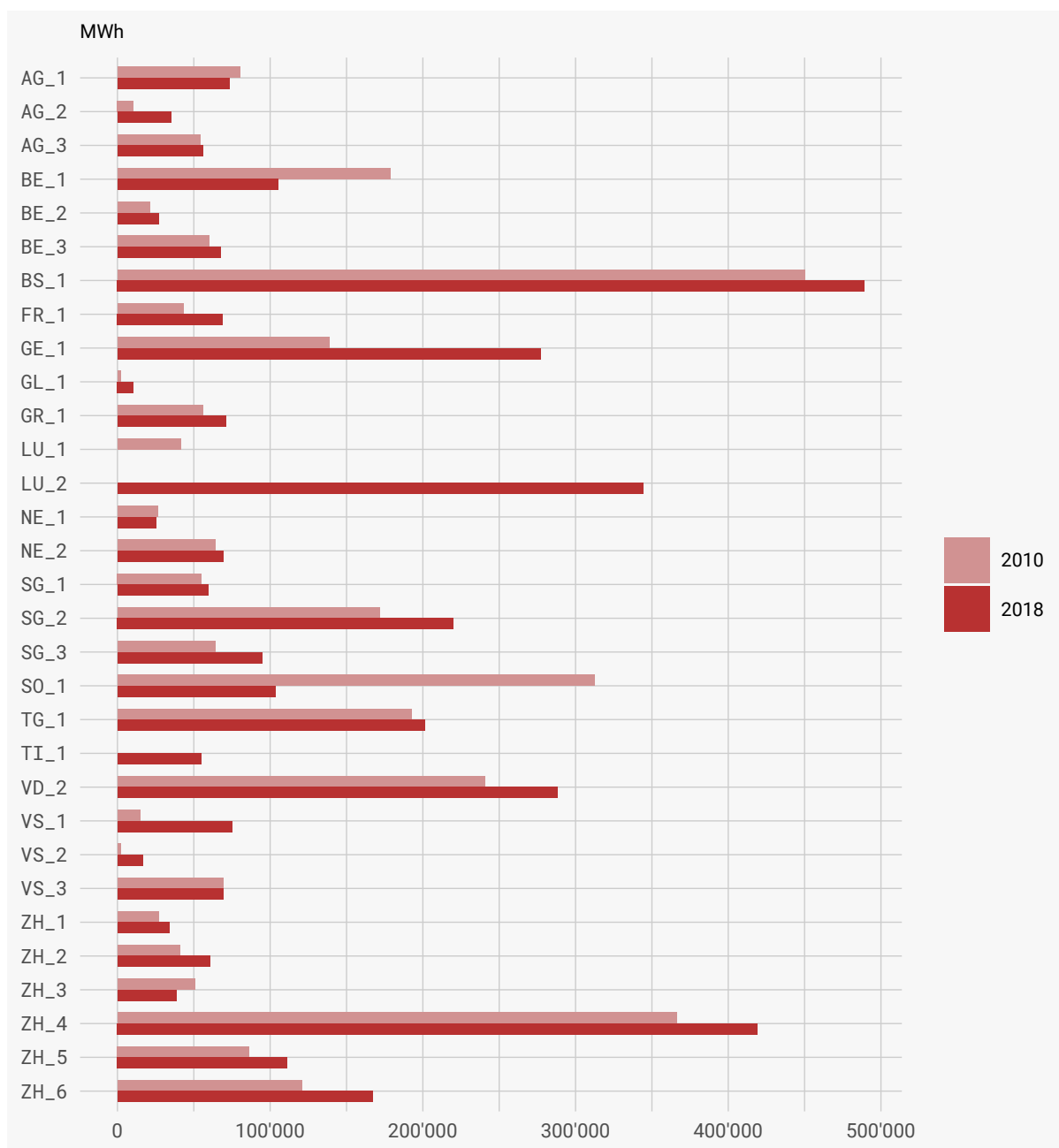


Abbildung 12 Wärmelieferungen an Dritte in MWh, pro Anlage für die Jahre 2010 und 2018.

Auch bei den Wärmelieferungen sind für den Zeitraum 2010–2018 beträchtliche Änderungen festzustellen. Die Wärmelieferung aus Zuchwil (SO_1) ist als Folge der oben erwähnten Schliessung der Papierfabrik Biberist eingebrochen. Dafür sind die Wärmelieferungen der neuen Anlage Renergia (LU_2) dank der Lieferung von Prozessdampf an die Papierfabrik Perlen viel höher als die Wärmelieferung aus der alten Anlage Ibach (LU_1). Die KVA Gamsen (VS_1) hat ebenfalls 2011 eine Dampfleitung zu den Lonza-Werken in Visp in Betrieb genommen und entsprechend mehr Wärme abgegeben.

In vielen Städten wurden die Fernwärmenetze ausgebaut. Die grösste Zunahme bei der Lieferung von Fernwärme ist bei der KVA Genf (GE_1) zu verzeichnen. Sankt-Gallen (SG_2), Lausanne (VD_2) und Zürich Hagenholz (ZH_4) haben ebenfalls ihre Wärmelieferungen nach Ausbau des Fernwärmenetzes markant gesteigert.

Die Steigerung der Wärmelieferungen der KVA Giubiasco ist bemerkenswert: 2010 hatte diese Anlage gar keine Wärme abgekoppelt und nur Strom produziert. In der Zwischenzeit wurde ein Fernwärmenetz Richtung Bellinzona erfolgreich aufgebaut. Eine ähnliche Entwicklung zeichnet sich ab bei der KVA Linth (GL_1) und Uvrier (VS_2).

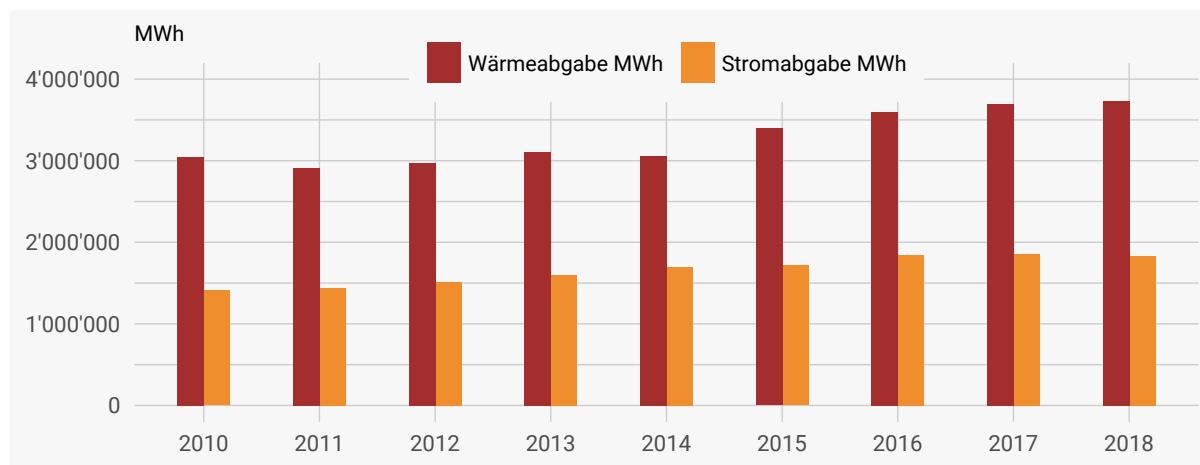


Abbildung 13 Lieferungen von Strom und Wärme aus den 30 KVA in MWh für die Jahre 2010 und 2018. Im Jahr 2018 war die Wärmeabgabe mit 3'731'800 MWh ca. 1 % leicht höher als 2017 und erreichte einen neuen Rekord, obwohl der Winter erneut sehr mild war. Die Stromabgabe ist aufgrund von lang andauernde Generatorenstörungen in mehreren Anlagen leicht gesunken (- 1.2 % gegenüber 2017) und betrug neu 1'830'600 MWh.

Nach der starken Zunahme der Wärmelieferungen 2015 als Folge der Inbetriebnahme der Renergia Perlen (LU_2) konnte auch 2018 die Wärmeabgabe weiter erhöht werden, in erster Linie durch mehr Absatz in den Fernwärmenetzen. Die Wärmelieferungen aus KVA bewirken eine Emissionsminderung von über 837'000 t CO_{2-eq}. Aufgrund der geringen CO₂-Intensität des Schweizer Strommix sind die durch die Stromproduktion eingesparten Emissionen viel tiefer und betragen lediglich etwa 33'000 t CO_{2-eq} (Abbildung 14).

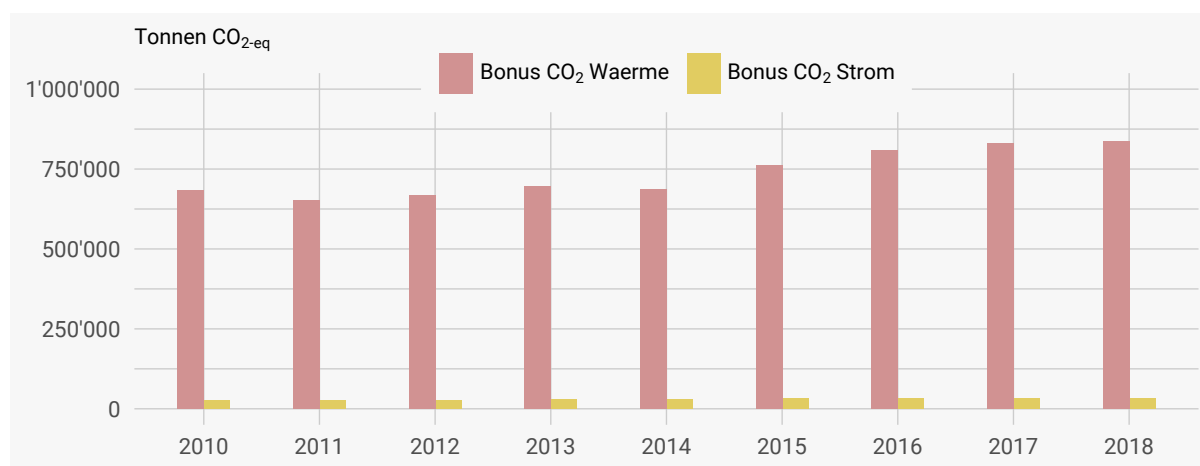


Abbildung 14 CO₂-Boni für Strom und Wärme in Tonnen CO_{2-eq}. Aufgrund des tiefen Emissionsfaktors für Strom, ist der CO₂-Bonus aus der Stromabgabe sehr klein.

2.5 Metallrückgewinnung und daraus resultierender CO₂-Bonus

Bei der Verbrennung einer Tonne Abfälle fallen ca. 0.21 t Schlacke an. Diese Schlacke enthält Metalle, die mit der geeigneten Technik aus der Schlacke extrahiert werden können. Die Extraktion von Eisenschrott erfolgt mit Magneten. Die Extraktion von weiteren, nicht magnetischen Metallen (auch Nicht-Eisenmetalle oder NE-Metalle genannt) wie Aluminium, Kupfer oder legierten Stählen erfolgt mittels Wirbelstromabscheider.



Abbildung 15 Rückgewinnung von Eisen (links) und Aluminium (rechts) aus Schlacke, in Tonnen pro Jahr für die Jahre 2010 und 2018. Aluminium wurde 2016 erstmals separat ausgewiesen. Es ist bei weitem die wichtigste Komponente der rückgewonnenen Nicht-Eisenmetall-Fraktion. Der Rückgang der Eisenmenge bei der KVA Basel (BS_1) ist auffällig. Die Schlacke dieser Anlage wurde 2017 nur teilweise entschrottet und zwischengelagert. 2018 wurde eine neue Schlackenaufbereitungsanlage auf die Deponie Elbisgraben (BL) in Betrieb genommen. Die Entschrottung der zwischengelagerten Schlacke hat 2018 angefangen.

Grosse Schwankungen beim Metallgehalt der Abfälle kommen vor. Abfälle aus Industrie und Gewerbe, insbesondere Anlieferungen aus der Bauwirtschaft, wie zum Beispiel ausgewechselte Fensterrahmen mit Schliessmechanismus, enthalten mehr Metalle als Abfälle aus Haushalten. Daher hat das Verhältnis zwischen Haushaltsabfällen einerseits und Industrie und Gewerbeabfällen andererseits einen Einfluss auf die Metallgehalte der Schlacke. Auch die aktuellen Metallpreise haben einen Einfluss: Wenn sie hoch sind, werden die Abfälle von den Abgebern tendenziell besser sortiert und weniger Metalle gelangen mit den Abfällen in die KVA.

Die Aufbereitung der Schlacke hat in den letzten Jahren einen grossen Innovationsschub erlebt. Dies zeigt sich an der massiven Steigerung bei der Rückgewinnung von Nicht-Eisen-Metallen. Diese hat sich von ca. 5'000 t in 2010 auf über 19'500 t in 2018 mehr als verdreifacht. Die Rückgewinnung von Eisenschrott steigt etwa in Gleichschritt wie die verbrannte Abfallmenge. Die Abnahme im letzten Jahr lässt sich mit der nur teilweise erfolgten Entschrottung der Schlacke aus der KVA Basel weitgehend erklären.

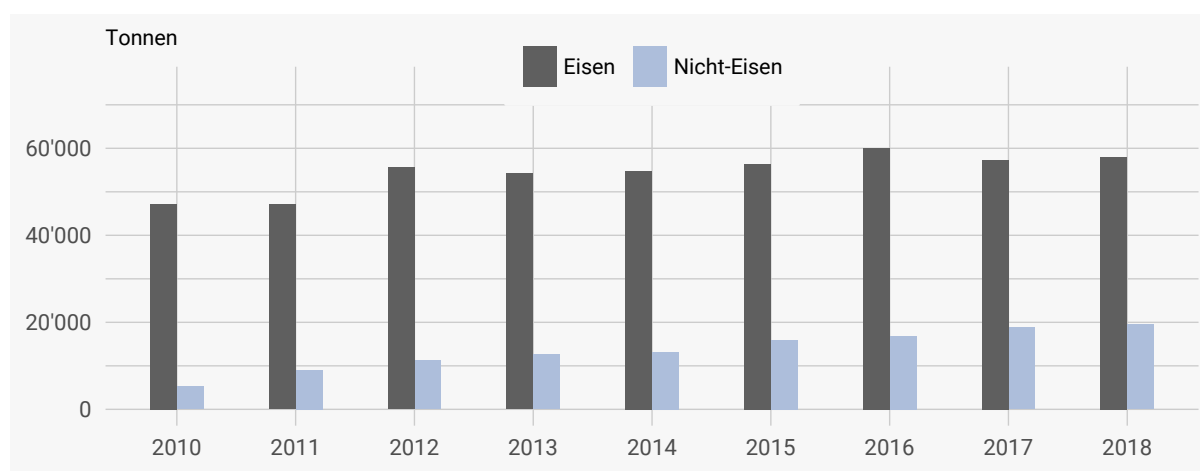


Abbildung 16 Eisen- und NE-Schrott aus Schlacke, in Tonnen für die Jahre 2010–2018. Im Jahr 2018 wurden 58'000 t Eisenschrott und 19'500 t Nichteisen-Schrott (davon 10'600 t Al) aus Schlacke rückgewonnen.

Die beim Verbrennungsprozess entstehenden Flugaschen werden in der Rauchgasreinigung ausgeschieden. Diese Flugaschen, ca. 0.021 t pro Tonne verbrannte Abfälle, enthalten ebenfalls Metalle, insbesondere Zink. Das Zink kann aus den Flugaschen extrahiert werden, indem diese Aschen mit einer sauren Lösung gewaschen werden. Dabei entstehen zinkreiche Hydroxyd-Schlämme, aus denen das Zink durch ein elektrochemisches Verfahren rückgewonnen wird. Allerdings ist die in den Flugaschen verfügbare Zinkmenge beschränkt, was die bescheidene Tonnage erklärt (Abbildung 17).

Die Metallrückgewinnung aus den Verbrennungsrückständen spart Ressourcen und Energie und wird entsprechend mit einem CO₂-Bonus honoriert (vgl. Absatz 1.3.2). Der starke Anstieg in 2016 erklärt sich dadurch, dass Aluminium zum ersten Mal separat ausgewiesen wird, und nicht wie bisher im generellen NE-Metallgemisch mit dem tieferen Emissionsfaktor.

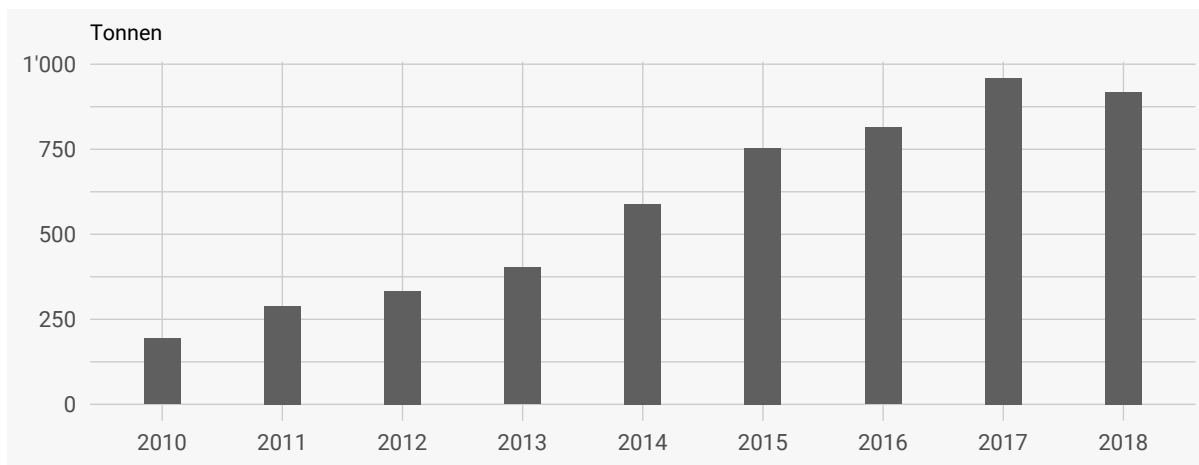


Abbildung 17 Zink aus Filteraschen, in Tonnen. 2018 wurden 919 t Zink aus Flugaschen rückgewonnen. Die Zink-Rückgewinnung hat im Jahr 2014 dank der Inbetriebnahme der FLUREC-Anlage in der KVA Zuchwil stark zugenommen.

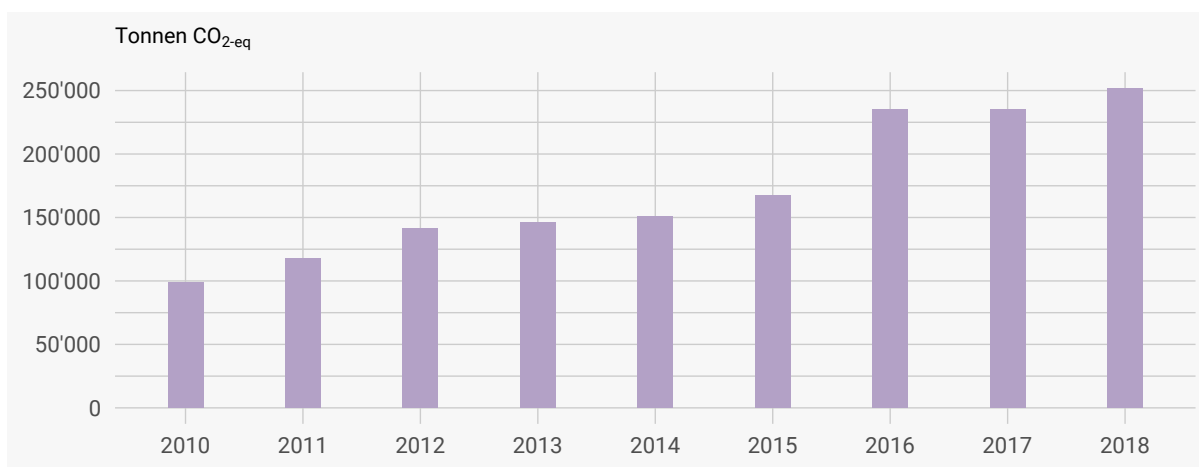


Abbildung 18 CO₂-Bonus für die Metalle-Rückgewinnung, in t CO₂-equ.

2.6 Netto CO₂-Emissionen

Die Netto-CO₂-Emissionen (vgl. Definition in Absatz 1.3.2) pro Anlage sind in der Abbildung 19 dargestellt.

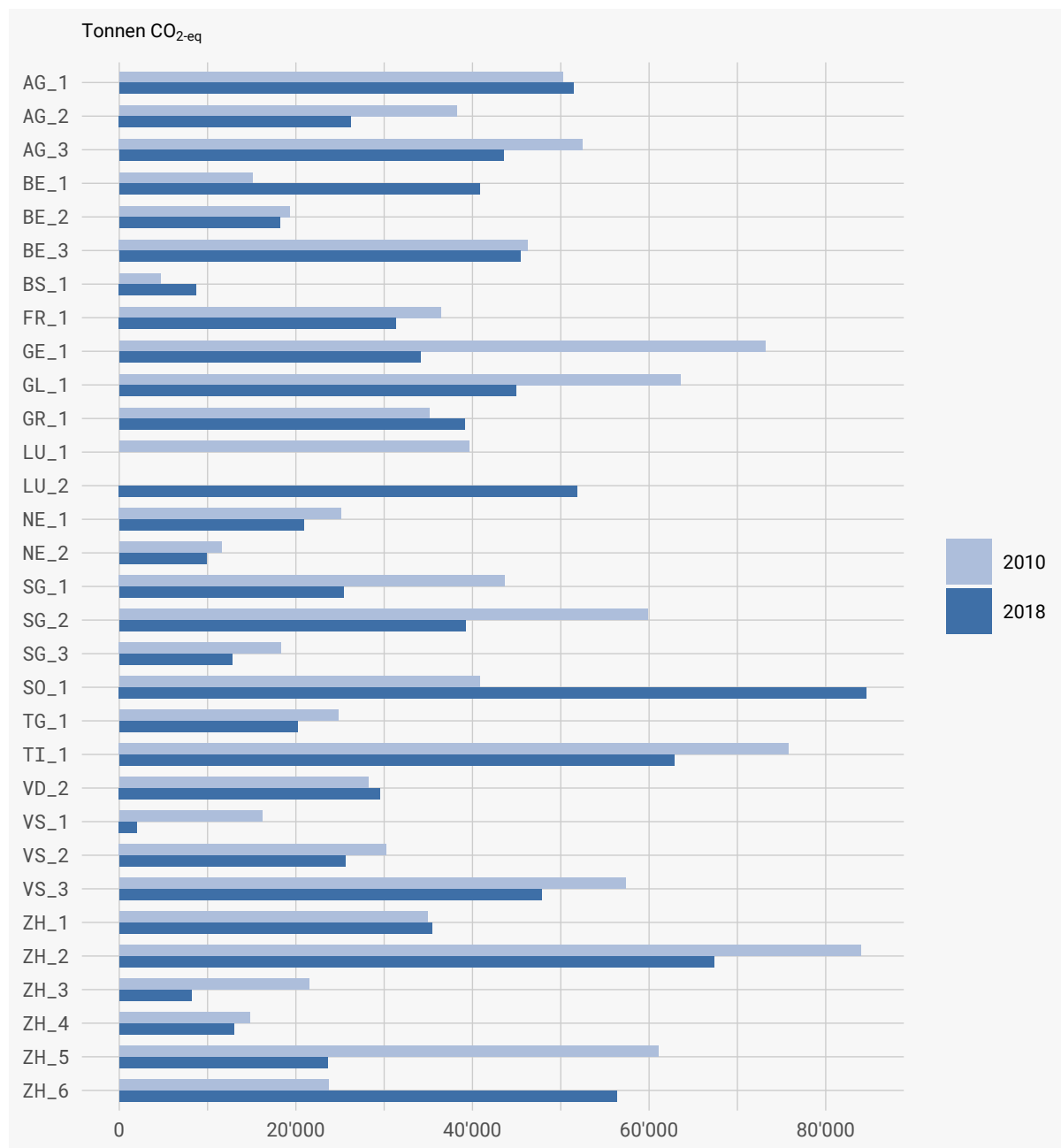


Abbildung 19 Netto-CO₂-Emissionen, in t CO₂-eq pro Anlage.

Es fällt auf, wie gross die Unterschiede zwischen Anlagen sind. Für das Jahr 2018 sind die Netto-Emissionen der KVA Basel (BS₁) mit 8'721 t CO₂-eq sehr klein, hingegen sind sie in Zuchwil (SO₁) zehnmal höher (84'614 t CO₂-eq), obwohl diese zwei Anlagen in etwa gleich viel Abfall verwerten (ca. 220'000t). Der Unterschied liegt in der Wärmenutzung, die in Basel einen Spitzenwert erreicht, dagegen in Zuchwil nach Schliessung der Papierfabrik verhältnismässig tief ist.

Die Erhöhung der Wärmeabgabe ist der Hauptgrund für die Abnahme der Netto-Emissionen

bei den Anlagen in Gamsen (VS_1), Buchs (SG_2) und Genf (GE_1). Wenn die Wärmeabgabe gesteigert wird bei gleichzeitiger Abnahme der verbrannten Mengen ist der Effekt auf die Netto-Emissionen am grössten, wie zum Beispiel in Horgen (ZH_3) und in Josefstrasse (ZH_5). Starke Zunahmen der verbrannten Menge führen immer zu einer Steigerung der Netto-Emissionen, wie zum Beispiel in Winterthur (ZH_6).

Alle massgebenden Kenngrössen der Zielvereinbarung sind in der Abbildung 20 dargestellt. Die Wärmelieferungen sind für die Abzüge massgebend (Reihe „Bonus Wärme“), wobei der Beitrag der Metall-Rückgewinnung nicht vernachlässigbar ist. Die verschwindend kleine Gewichtung der Stromproduktion ist klar ersichtlich, wobei der vereinbarte Emissionsfaktor für Elektrizität (0.0183t CO₂/MWh) sehr tief ausgewählt wurde. Dabei wurde der Produktions-Strommix als Referenz gewählt. Der Schweizer Strommix hat sich in den letzten Jahren geändert. So ist der Emissionsfaktor des Produktions-Strommixes auf 0.0298t CO₂/MWh gestiegen, und derjenige des Lieferanten-Strommixes liegt mittlerweile bei 0.1494t CO₂/MWh³, also 8-Mal höher als der in der Branchenvereinbarung angenommene Emissionsfaktor. Auch wurden CO₂-Bescheinigungen aus Kompensationsprojekten verkauft⁴ und Emissionsminderungen im Rahmen von selbst durchgeführten Projekten geltend gemacht. Der entsprechende Malus (2018: 38'200 t CO_{2-eq}) ist relativ klein, aber immerhin vergleichbar mit dem Bonus für die Stromproduktion (33'500 t). Dies zeigt einmal mehr die starke Gewichtung der Wärmeproduktion gegenüber der Stromproduktion.

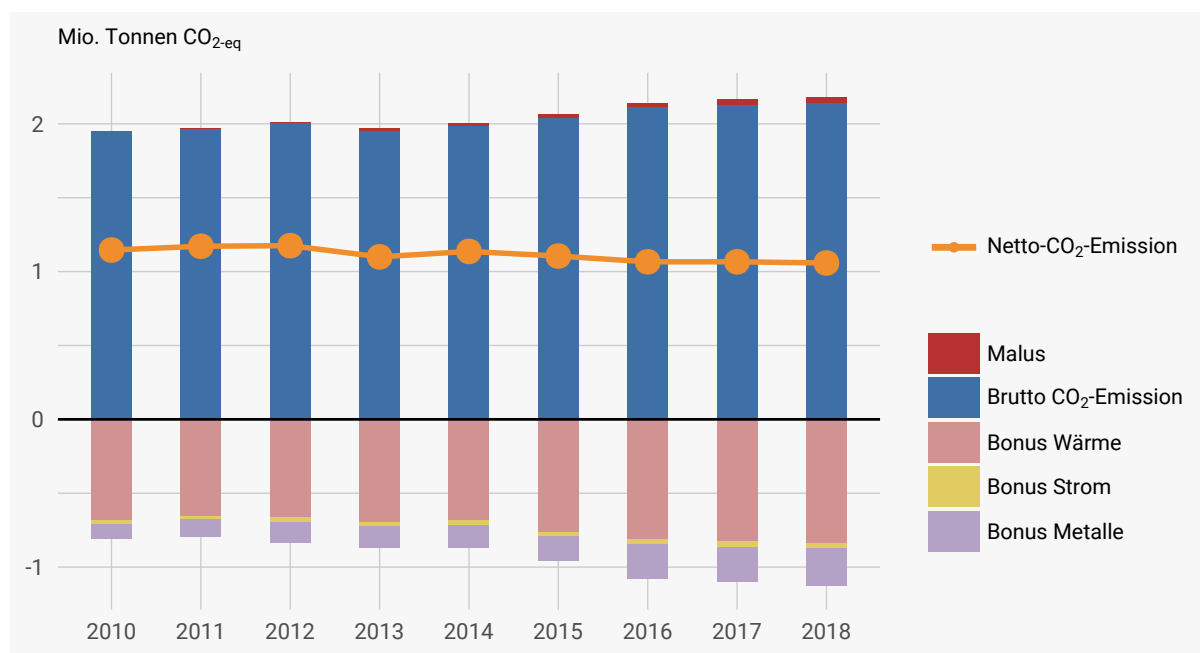


Abbildung 20 Netto-CO₂-Emissionen in Tonnen CO₂-Equivalent (CO_{2-eq}). Die orangenen Punkte zeigen die Netto-Emissionen, d.h. die Differenz zwischen den fossilen Brutto-CO₂-Emissionen (vgl. Abbildung 10) und den Malus für veräusserte Bescheinigungen und weitere Kompensationsprojekte ausserhalb der Branchenvereinbarung (über der horizontalen Achse, > 0), und die addierten Boni für Wärme, Strom und Metalle (unterhalb der horizontalen Achse, < 0). Die Netto-Emissionen sind gegenüber 2017 um gut 15'000 t CO_{2-eq} gesunken und betragen 2018 rund 1'058'200 t CO_{2-eq}.

³Daten aus <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/klimawandel--fragen-und-antworten.html#1369861967>, besucht am 09.10.2019

⁴Daten zu den veräusserten Emissionsbescheinigungen werden aus der Excel-Datei „registrierte Kompensationsprojekte“, verfügbar auf der Adresse <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/klimapolitik/kompensation-von-co2-emissionen/kompensationsprojekte-in-der-schweiz.html>, entnommen.

3 Zielerreichung und Prognose

Für das Jahr 2018 liegen die Emissionen über dem vereinbarten Zielpfad. Die Abweichung beträgt rund 78'000 t CO₂-eq.

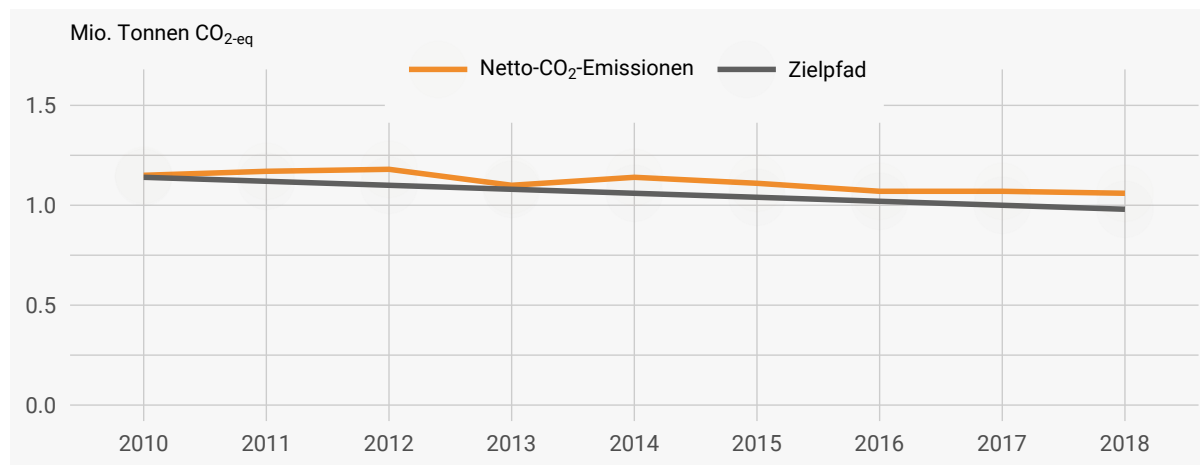


Abbildung 21 Vergleich zwischen Zielpfad (grau) und Netto-Emissionen (orange): Die Netto-Emissionen sind 2018 leicht gestiegen und verlaufen parallel zum Zielpfad. Die Abweichung zum Zielpfad erklärt sich hauptsächlich durch den Einmaleffekt der Schliessung der Papierfabrik Biberist (Steigerung von 58'000t CO₂-eq zwischen 2010 und 2012) sowie durch die sehr milden Winter, die sich nachteilig auf die Wärmeabgabe ausgewirkt haben. Ausserdem sind die verbrannten Abfallmengen, und damit die Brutto-Emissionen, über die Betrachtungsperiode stark gestiegen.

3.1 Einfluss der Witterung auf die Netto-CO₂-Emissionen

Die KVA speisen Wärme in Fernwärmenetze ein. Wieviel Wärme aus Fernwärmenetzen bezogen wird, hängt hauptsächlich von der Art und Anzahl der angeschlossenen Kunden und von der Witterung ab. Die Zielwerte der Vereinbarung enthalten keine Witterungskorrektur. In diesem Abschnitt wird zur Illustration der Einfluss der Witterung quantifiziert. Insbesondere wird folgende Frage untersucht:

Frage:

Wieviel Wärme hätten die KVA abgesetzt, wenn alle Jahre gleich viele Heizgradtage wie das Referenzjahr 2010 gehabt hätten?

Es ist zu vermerken, dass das Referenzjahr 2010 im langjährigen Vergleich aussergewöhnlich kalt war, wie die Abbildung 22 zeigt.

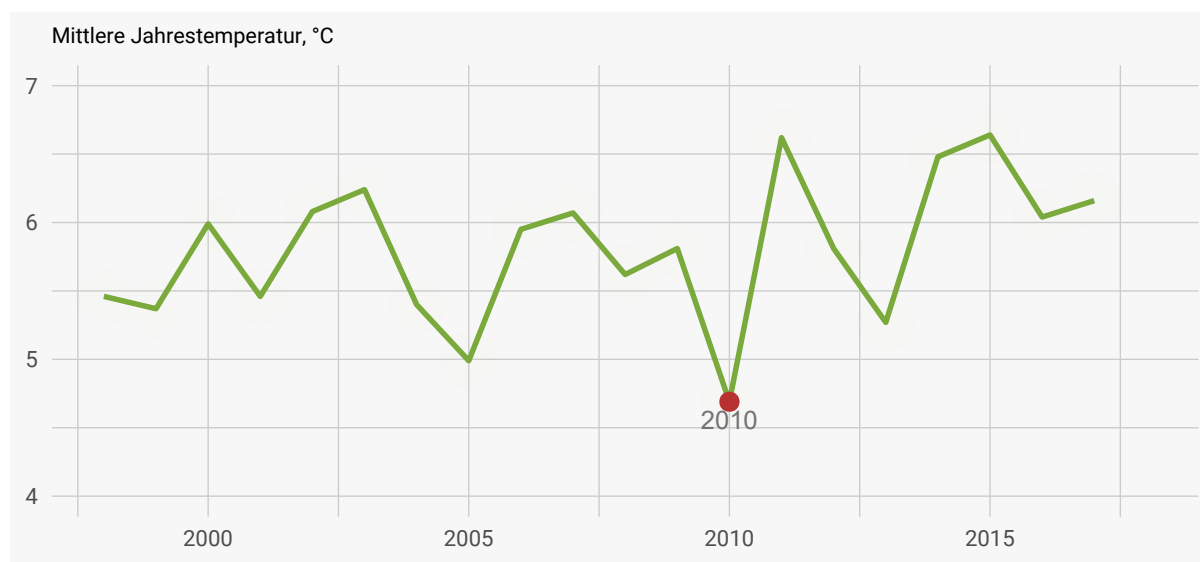


Abbildung 22 Die mittlere Temperatur in der Schweiz ab dem Jahr 1998. Quelle: Begert M, Frei C. Area-mean temperatures of Switzerland. DOI: 10.18751/Climate/Timeseries/CHTM/1.0, 10.05.2018

Die Anzahl Heizgradtage ist für die Schweiz aggregiert und wird der Gesamtenergiestatistik des Bundesamts für Energie entnommen⁵.

Tabelle 3 Aggregierte Heizgradtage (HGT) nach Gesamtenergiestatistik des BFE (vorläufige Zahl für das Jahr 2018, da GES 2018 noch nicht erschienen ist). Die zweite Zeile zeigt die indexierten Werte auf Basis Jahr 2010 = 100 %

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
HGT	3'586	2'938	3'281	3'471	2'782	3'075	3'281	3'233	2'891
HGT, indexiert	100	81.9	91.5	96.8	77.6	85.8	91.5	90.2	80.6

In Absprache mit dem Bund wurde folgender Modellierungsansatz gewählt:

Die von den KVA abgegebene Wärme lässt sich in zwei Anteile aufteilen:

- Witterungsunabhängiger Anteil: Dieser Anteil hängt *nicht* von der Anzahl Heizgradtage ab. Er besteht hauptsächlich aus industrieller Prozesswärme und aus der Wärme, die zur Produktion von Warmwasser in den ans Fernwärmenetz angeschlossenen Gebäuden verbraucht wird.
- Witterungsabhängiger Anteil: Das ist der Anteil, der zum Beheizen von Gebäuden verbraucht wird.

Annahme:

Der witterungsabhängige Anteil der abgegebenen Wärme hängt linear von der Anzahl Heizgradtage ab.

Der VBSA hat das Beratungsunternehmen Rytec AG beauftragt, die Aufteilung zwischen HGT-abhängiger und HGT-unabhängiger Wärmeabgabe zu schätzen. Dazu wurde ein Bottom-up Ansatz gewählt: für jede Anlage und jedes Jahr zwischen 2009 und 2015 wurde die prozentuale

⁵Gesamtenergiestatistik, jährliche Ausgabe durch das Bundesamt für Energie, Tabelle T43A

Aufteilung zwischen HGT-abhängiger und HGT-unabhängiger Wärmelieferungen gerechnet. Daraus wurde ein gesamtschweizerischer Mittelwert gerechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4 Erhobene Wärmeabgabe und berechneter witterungsunabhängiger Anteil für die Jahre 2010–2015.

	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Wärmeabgabe gesamt, GWh	3'041	2'910	2'972	3'105	3'055	3'395
Davon HGT-unabhängig (%)	52	55	56	55	55	56

Aus Tabelle 4 wird ersichtlich, dass über 50 % der Wärme als witterungsunabhängige Wärme abgegeben wird. Der Anteil an witterungsunabhängiger Wärme variiert zwischen 52 und 56 % und wird von der Nachfrage der Industriekunden (Papierfabriken, Raffinerie, Chemieindustrie, Grosswäschereien, Kläranlagen, usw.) nach Prozesswärme gesteuert. Die angegebene prozentuale Aufteilung ist eine relativ grobe Schätzung. Für die weitere Modellierung wird daher folgender vorsichtiger Wert (im Sinne einer unteren Grenze) für die Jahre 2010 bis 2015 angenommen:

Annahme:

HGT-unabhängiger Anteil der Wärmeabgabe: 60 % (konstant)

Die Aufteilung zwischen witterungsabhängiger und witterungsunabhängiger Wärmeabgabe lässt sich nach dieser Annahme einfach berechnen (Tabelle 5).

Tabelle 5 Erhobene Wärmeabgabe und witterungsabhängiger Anteil für die Jahre 2010–2018.

Wärmeabgabe, GWh	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Wärmeabgabe gesamt	3'041	2'910	2'972	3'105	3'055	3'395	3'600	3'696	3'732
HGT-abhängig, 40%	1'216	1'164	1'189	1'242	1'222	1'358	1'440	1'478	1'493
HGT-unabhängig, 60%	1'825	1'746	1'783	1'863	1'833	2'037	2'160	2'218	2'239

Mit den zwei oben eingeführten Annahmen zum HGT-unabhängigen Anteil sowie zur Linearität kann die Wärmeabgabe für jedes Jahr in einer Grafik dargestellt werden.

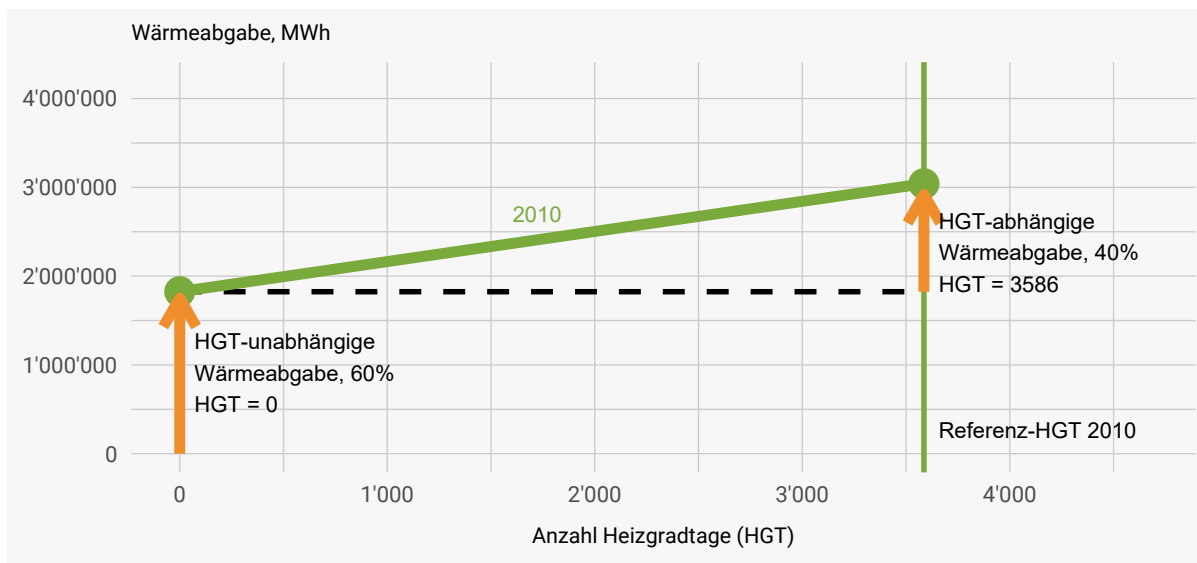


Abbildung 23 Wärmeabgabe der 30 KVA (Summe) als lineare Funktion der Anzahl Heizgradtage für das Referenzjahr 2010. Der Intersektionspunkt mit der vertikalen Achse (Anzahl Heizgradtage = 0) ist die HGT-unabhängige Wärmeabgabe. Der zweite Punkt hat als X-Koordinate die Anzahl Heizgradtage im Jahr 2010 und als y-Koordinate die Wärmeabgabe 2010.

Die gleiche Grafik kann für jedes Jahr gemacht werden und anschliessend durch eine lineare Extrapolation zur Referenz-HGT aus dem Jahr 2010 ergänzt werden, damit man für jedes Jahr die fiktive Wärmemenge berechnen kann, die abgegeben worden wäre, wenn das betroffene Jahr gleich viele Heizgradtage gehabt hätte wie das Referenzjahr 2010. In der Abbildung 24 stellt man fest, dass die HGT-korrigierte Wärmeabgabe um einiges höher liegt als die tatsächlich im Jahr 2018 abgegebene Wärme. Weiter kann man beobachten, dass die Steigung der Gerade für das Jahr 2018 grösser ist als für 2010. Dies bildet der starke Aufbau der Fernwärmenetze, der in den letzten Jahren stattgefunden hat, ab.

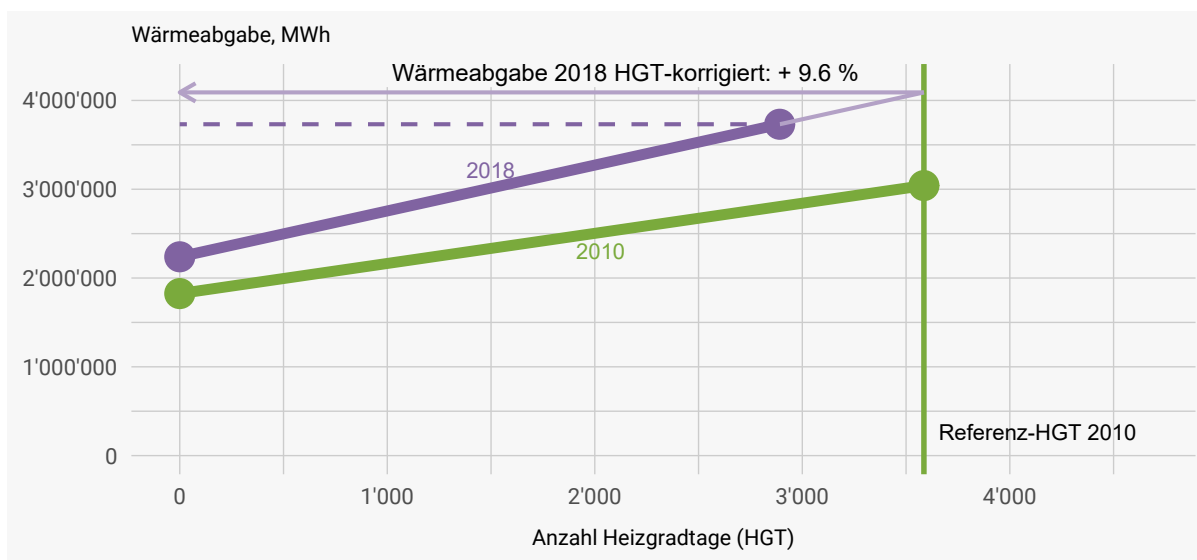


Abbildung 24 Wärmeabgabe als lineare Funktion der Anzahl Heizgradtage für die Jahre 2010 und 2018. Der Schnittpunkt der dünnen violetten mit der vertikalen grünen Linie (2018 HGT-korrigiert) zeigt die Wärmemenge, die 2018 abgegeben worden wäre, wenn 2018 gleich viele Heizgradtage wie 2010 gehabt hätte, nämlich 4'090'703 MWh

Berechnet man für jedes Jahr die nach Anzahl Heizgradtagen korrigierte abgegebene

Wärmemenge, ergeben sich folgende Ergebnisse:

Tabelle 6 Wärmeabgabe in GWh mit (HGT-korrigiert) und ohne witterungsbedingter Korrektur (Gesamt) sowie die Differenz in Prozent bezüglich 'Gesamt'

Wärmeabgabe, GWh	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Gesamt	3'041	2'909	2'971	3'105	3'055	3'395	3'600	3'696	3'731
HGT-korrigiert	3'041	3'166	3'082	3'146	3'408	3'620	3'734	3'857	4'090
Differenz (%)	0	8.8	3.7	1.3	11.6	6.7	3.7	4.4	9.6

Setzt man die HGT-korrigierte Wärmeabgabe anstelle der unkorrigierten Wärmeabgabe in der Berechnung der Netto-CO₂-Emissionen ein, ergibt sich folgende Situation:

Tabelle 7 Netto-CO₂-Emissionen in Mio.t CO₂-eq: Zielpfad gemäss Vereinbarung (Zielpfad), unkorrigierte Netto-CO₂-Emissionen (Netto-Em.) und HGT-korrigierte Netto-CO₂-Emissionen (Netto-Em, HGT-korr.).

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Zielpfad	1.14	1.12	1.10	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00	0.98
Netto-Em.	1.15	1.17	1.18	1.10	1.14	1.11	1.07	1.07	1.06
Netto-Em., HGT-korr.	1.15	1.11	1.15	1.09	1.06	1.05	1.04	1.03	0.98

Es fällt auf, dass die HGT-korrigierten Netto-Emissionen mit Ausnahme des Jahres 2012 nur geringfügig über dem Zielpfad liegen. Die Ergebnisse aus Tabelle 6 sind in Abbildung 25 graphisch dargestellt.

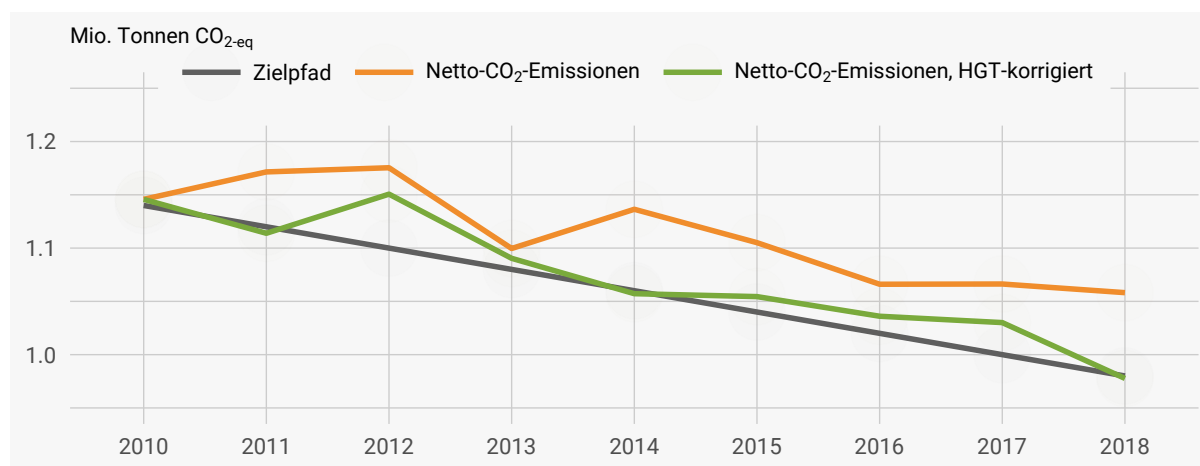


Abbildung 25 Netto-CO₂-Emissionen als Mio.t CO₂-eq: Zielpfad, unkorrigierte und HGT-korrigierte Netto-CO₂-Emissionen.

Aus der obigen Darstellung stellt man fest, dass die Witterung, insbesondere die Anzahl Heizgradtage, einen grossen Einfluss auf die Wärmeabgabe und damit auf die Netto-CO₂-Emissionen hat. Wird eine Korrektur für die Anzahl Heizgradtage einberechnet, würden die vereinbarten Ziele fast eingehalten werden können. Ohne Berücksichtigung der ausserordentlich milden Winter 2011, 2014 und 2015 und 2018 weichen die Netto-Emissionen signifikant vom vereinbarten Zielpfad ab.

3.2 Prognose

3.2.1 Szenarien

Wie oben dargestellt, haben externe Faktoren, wie zum Beispiel die Witterung, einen sehr grossen Einfluss auf die Netto-CO₂-Emissionen und damit auf die Zielerreichung. Weitere Faktoren, die die Zielerreichung massgebend beeinflussen, sind die Entwicklung der verbrannten Abfallmenge und die Verbesserung der Metall-Rückgewinnung. Diese zwei Faktoren können im Monitoring-Tool variiert werden. Damit können verschiedene Szenarien gerechnet werden.

Zwei Szenarien wurden aufgrund der folgenden Annahmen gerechnet.

Szenario 1 (pessimistisch):

- Die Abfallmenge nimmt jährlich um 0.5 % zu.
- Die Technologie zur Metall-Rückgewinnung verharrt auf dem Stand 2018 (Einstellung «Minimal», im Monitoring-Tool, Blatt «Main»).

Szenario 2 (optimistisch):

- Die Abfallmenge nimmt leicht ab, um -0.5% pro Jahr. Die inländische Abfallproduktion bleibt konstant aber die Importe gehen zurück
- Die Technologie zur Rückgewinnung der Metalle verbessert sich sprunghaft ab 2019 auf die beste verfügbare Technologie. (Einstellung «Potential» im Monitoring-Tool, Blatt «Main»).

Weitere Annahmen, die für beide Szenarien gelten:

- Die oben dargestellte Klima-Korrektur wird wie in der Vereinbarung vorgesehen nicht berücksichtigt.
- Per Annahme bleibt die Wärmeabgabe der einzelnen Anlagen konstant, obwohl die Fernwärmenetze weiter aufgebaut werden.
- Bei den Anlagen, die einen Ausbau bereits geplant und bekannt gegeben haben, und wo eine quantitative Abschätzung möglich ist, wird dies in der Prognose berücksichtigt.

Die zwei abgebildeten Szenarien zeigen ganz klar, dass die Zielerreichung sehr stark von der Entwicklung der verbrannten Abfallmenge abhängt. Allerdings ist die in Szenario 1 angenommene Zunahme kaum realistisch, weil die für 2020 gerechnete Abfallmenge die verfügbare Verbrennungskapazität übersteigen würde. Die aktuelle Auslastung ist tatsächlich bereits sehr hoch und kaum noch zu steigern.

Die Abbildung 26 zeigt auch, dass die Zielerreichung massgebend von der Qualität der Metall-Rückgewinnung abhängt:

- Nach Szenario 1 wird das vereinbarte Reduktionsziel knapp verfehlt.
- Nach Szenario 2 wird das absolute Reduktionsziel übertroffen. Die kumulierte Emissionsreduktion, die in Abbildung 26 nicht ersichtlich ist, liegt bei Szenario 2 mit 0.747 Mio. um 0.253 Mio. Tonnen tiefer als die vereinbarten 1 Mio. Tonnen. Das Ziel der kumulierten Emissionsreduktion wäre damit nicht erreicht.

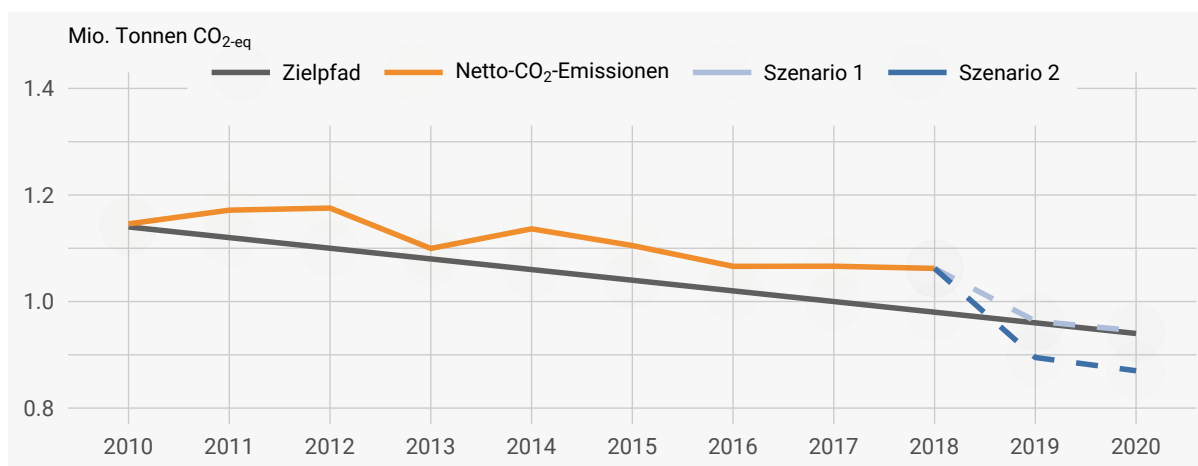


Abbildung 26 Verlauf der Netto-CO₂-Emissionen als Mio.t CO₂-eq: Zielpfad, Szenario 1 und Szenario 2. Nach Szenario 1 wird das Ziel verfehlt. Nach Szenario 2 wird hingegen das Ziel erreicht. Die Witterungskorrektur ist nicht abgebildet und in den Szenarien nicht integriert.

Die sprunghafte Verbesserung in Szenario 2 erklärt sich einerseits durch die angenommene Abnahme der Abfallmenge (-0.5%), andererseits durch die Verbesserung der Metalle-Rückgewinnung, wobei letztere eine eher optimistische Annahme darstellt. Die seit 2010 realisierte Fortschritte bei der Schlacke-Aufbereitung und der anschliessenden Metallrückgewinnung sind aber beträchtlich und lassen die Hoffnung auf eine weitere starke Verbesserung zu, vor Allem wenn die Metallpreise wieder ansteigen.

Ausserdem werden alle anderen Aufbereitungsanlagen gemäss den neuen Anforderungen der Abfallverordnung optimiert. Seit dem 01.01.2016 darf nämlich der Restgehalt an NE-Metallen in der deponierten Schlacke nur noch 1 Gew.% betragen (statt früher 1.5 Gew.%). Die Optimierungen wurden aber noch nicht überall gemacht.

3.2.2 Projekte mit erheblichem Emissionsminderungspotential

Die KVA sind alle bestrebt, ihre Energieeffizienz zu steigern, insbesondere durch den weiteren Ausbau von Fernwärmenetzen und die Gewinnung von neuen Abnehmern für Prozessdampf. In den meisten Fällen erfolgt dieser Ausbau in kleinen Schritten.

Die folgende Aufzählung ist daher beschränkt auf wenige grosse Projekte mit einem **Emissionsminderungspotential > 5'000 t CO₂-eq**, die nach 2018 realisiert werden.

- KVA St. Gallen (SG_3): Am 27. 11. 2017 wurde das Projekt "Ausbau des städtischen Fernwärmenetzes, 2. Ausbauphase" vom Stimmvolk der Stadt St. Gallen angenommen. Die Investitionssumme beträgt über 60 Mio. CHF. Durch dieses Projektes soll die Wärmeabgabe der KVA (2017: 80'572 MWh) bis 2022 verdoppelt werden. Wieviel von der resultierenden Emissionsminderung als Emissionsbescheinigung im Rahmen eines Kompensationsprojektes oder vom Kanton im Rahmen des Förderprogramms geltend gemacht werden, ist allerdings ein grosser, noch unbekannter Unsicherheitsfaktor
- KVA Linth (GL_1): Bau einer Fernwärmeleitung bis zum Eternit-Werk, mit diversen Anschlüsse auf dem Weg. Die Inbetriebnahme erfolgte im Frühjahr 2018. Die Wärmeabgabe könnte mit dem weiteren Ausbau des Netzes bis um 20'000 MWh in 2020 steigen. Wieviel von der resultierenden Emissionsminderung als Emissionsbescheinigung im Rahmen

eines Kompensationsprojektes oder vom Kanton im Rahmen des Förderprogramms geltend gemacht werden, ist allerdings ein grosser, noch unbekannter Unsicherheitsfaktor.

- Monthey (VS_3): Bau einer Dampfleitung zwischen KVA und CIMO (2021) mit einem geschätzten Emissionsminderungspotential ca. 50'000 t CO₂-eq. Der Bau verzögert sich, ist aber immer noch beabsichtigt. Wieviel von dieser Emissionsminderung als Emissionsbescheinigung im Rahmen eines Kompensationsprojektes geltend gemacht werden, ist allerdings ein grosser, noch unbekannter Unsicherheitsfaktor.
- Perlen (LU_2): Ausbau Fernwärmenetz Rontal und Transportleitung Perlen-Emmen (Inbetriebnahme Herbst 2018). Emissionsminderungspotential schwer abschätzbar, wahrscheinlich über 10'000 t CO₂-eq. Wieviel von dieser Emissionsminderung als Emissionsbescheinigung im Rahmen eines Kompensationsprojektes geltend gemacht werden, ist allerdings ein grosser, noch unbekannter Unsicherheitsfaktor.
- Josefstrasse (ZH_5): Schliessung der Anlage im Frühling 2021. Die Abfallmenge, die hauptsächlich aus Deutschland importiert wird, wird nicht mehr importiert. Emissionsminderungspotential ca. 25'000 t CO₂-eq. Die Fernwärmeversorgung wird durch den Bau einer Heisswasserleitung Hagenholz-Josefstrasse gewährleistet, was zu Emissionsminderungen bei der KVA Hagenholz (ZH_4) führen wird. Das Emissionsminderungspotential ist noch nicht quantifizierbar.
- Ausbau Fernwärmenetz Limmattal. Nach einem rechtskräftigen Beschluss der Trägergemeinden zu einem Investitionskredit von 100 Millionen soll sich der Wärmeabsatz der KVA Dietikon (ZH_1) bis 2030 versechsfachen. Wieviel von diesem Projekt bis 2020 realisiert wird, und wieviel von den erzielten Emissionsminderung als Emissionsbescheinigung im Rahmen eines Kompensationsprojektes geltend gemacht werden, ist zur Zeit nicht abschätzbar.
- UTO Uvrier (VS_2): Die Walliser KVA strebt ein gesetzkonformes Wirkungsgrad von 55% und hat mit einem massiven Ausbau des Fernwärmenetztes angefangen. Im Jahresbericht 2017 wird 100'000MWh als Zielwert für den Wärmeabsatz erwähnt (gegenüber 16'548 MWh in 2018). Wieviel von diesem Potential bis 2020 realisiert wird, ist schwer abschätzbar.

3.2.3 Exogene Faktoren, die die Zielerreichung beeinflussen

Klimaerwärmung: Ob die ausserordentlich milden Winter 2013/2014 und 2014/2015 unmittelbar auf die globale Klimaerwärmung zurückzuführen sind, ist eine Frage, die den Rahmen dieses Berichts sprengt. Es ist aber eine Tatsache, dass diese zwei Winter sehr mild waren, und dass die Zielvereinbarung die Wärmeabgabe sehr stark gewichtet. Es wurde oben gezeigt, dass die Wärmelieferungen der KVA stark witterungsabhängig sind. Bleiben die Winter bis 2020 so mild wie diejenigen der letzten Jahre, wird dies die Zielerreichung massiv erschweren.

Bruttoinlandprodukt BIP: Die produzierte Abfallmenge wächst tendenziell mit dem individuellen wirtschaftlichen Wohlstand, mit der Bevölkerung und mit der Industrieproduktion. Diese drei Grössen fliessen in die Berechnung des Bruttoinlandprodukts ein. Für die Periode 2010-2018 ist zwar keine unmittelbare Koppelung des BIP mit der verbrannten Abfallmenge zu erkennen (vgl. Abbildung 4). Im mehrjährigen Trend kann man aber sagen, dass eine Zunahme des BIP zu einer Zunahme der Abfallmenge führt. Die weiterhin gute Verfassung der Schweizer Wirtschaft und die anhaltende Zunahme der Wohnbevölkerung deuten auf eine künftige Zunahme der Abfallmenge. Die Abfallmenge hat einen sehr grossen Einfluss auf die Zielerreichung. Daher

wird das vorhergesagte BIP-Wachstum (KOF-Konjunkturprognose von Juni 2019: +1.6 % für 2019, +2.3 % für 2020) die Zielerreichung erschweren. Insbesondere das Wachstum des Warenimportes ist relevant, denn die importierte Waren werden einmal zum Abfall. Für 2019 prognostiziert die KOF einen Anstieg des Warenimports von 3.9%.

Starker Franken: Einfluss auf industrielle Produktion: Einige KVA liefern ihre Wärme fast zu 100 % als Prozessdampf an Industriekunden. Es sind insbesondere die KVA Gamsen (VS_1, Lieferungen an die Lonza AG), die KVA Weinfeld (TG_2, Lieferungen an die Papierfabrik Model) und die KVA Perlen (Renergia, LU_2, Lieferung an die Perlenpapier). Insbesondere die zwei Papierfabriken sind nach der Aufhebung des Mindestkurses einem stärkeren internationalen Konkurrenzdruck ausgesetzt. Die Schliessung eines dieser zwei Werke würde die Zielerreichung stark erschweren.

Kapazitätsengpass bei der Abfallverbrennung in Europa: In der EU sind die Deponien zunehmend voll. Ausserdem wird das Deponieverbot für brennbare Abfälle immer konsequenter durchgesetzt. Der 2016 beobachtete europaweite Kapazitätsengpass für die thermische Verwertung von brennbaren Abfällen hält immer noch an. Als Folge davon bleiben die Annahmepreise der Verbrennungsanlagen in der EU auf einem hohen Niveau und der Druck, Abfälle in der Schweiz zu exportieren, bleibt sehr gross.

Kunststoffsammlung in der Schweiz führt zu mehr Abfallimporten: Die in der Schweiz gesammelten Kunststoffabfälle werden exportiert und in grossen Sortieranlagen in Deutschland oder Österreich sortiert. Diese Sortieranlagen produzieren sehr viel Sortierreste, hauptsächlich aus der Sortierung von deutschen oder österreichischen Abfällen (Gelber Sack). Die Transportunternehmen bringen Kunststoffabfälle aus der Schweiz und nehmen Sortierreste aus Deutschland und Österreich auf dem Rückweg. Diese Sortierreste werden zum Teil in der Zementindustrie, aber hauptsächlich in den Schweizer KVA verbrannt. Weil die ausländischen Sortierreste eine höhere Dichte als die Schweizer Kunststoffabfälle aufweisen, führt diese Optimierung der Logistik zu einer überproportionalen Zunahme der Abfallimporte in der Schweiz.

Neue Abfallverordnung: Seit dem 01.01.2016 ist die revidierte Abfallverordnung in Kraft. Diese schreibt vor, dass 55 % des Energiegehalts des Abfalls ausserhalb der Anlage genutzt werden müssen (VVEA Art. 32 Abs. 2 Bst. a). Zur Erreichung dieses Ziels räumt die VVEA eine Übergangsfrist bis 01.01.2026 ein. Insbesondere in den KVA Sion (VS_2), Biel (BE_2) und Linth (GL_1) werden sehr grosse Investitionen getätigt werden müssen. Dieser Handlungsdruck wirkt grundsätzlich vorteilhaft auf die Erreichung der vereinbarten Emissionsziele. Dieser Effekt ist aber schwer quantifizierbar, weil der Zeitpunkt der Realisierung von Energieeffizienzmassnahmen unbestimmt ist und zwischen 2020 und 2026 liegen könnte. Wenn ausserdem die gewählten Massnahmen auf die Erhöhung der Stromproduktion zielen, werden diese wegen der tiefen Stromgewichtung kaum einen Einfluss auf die Netto-CO₂-Emissionen haben.

3.3 Fazit

Obwohl Millionen in den Aufbau von Fernwärmenetzen und in die Aufbereitung der Schlacke investiert wurden, konnten die Netto-CO₂-Emissionen zwar gesenkt werden, liegen aber über dem vereinbarten Zielpfad. 2018 beträgt die Ziellücke 82'000 t CO₂-eq. Die Gründe für diese Abweichung sind folgende:

- Starkes Wachstum der Abfallmenge: Seit 2010 ist die Bevölkerung um 9.7%, das BIP

um ganze 15.55% und die verbrannte Abfallmenge um 8.29% gewachsen. Ein derartiges Wachstum war bei der Unterzeichnung der Branchenvereinbarung nicht absehbar.

- Mehrere sehr milde Winter: 2018 gab es 20% weniger Heizgradtage als im Referenzjahr 2010, was ein grosser Einfluss auf den Wärmeabsatz hat. Der Abstand zum Zielpfad verkleinert sich deutlich, wenn die Witterungskorrektur berücksichtigt wird (vgl. Abbildung 25).
- Unerwarteter Erfolg der Kompensationsprojekte: Eine Emissionsreduktion von 38'203 t CO₂-eq musste 2018 abgezogen werden, bzw. konnte nicht zur Zielerreichung zugerechnet werden. Dabei ist zu vermerken, dass die KVA-Betreiber in der Regel nicht Projekteigner sind und die entsprechende Bescheinigungen nicht selber veräussern. Bei der Unterzeichnung der Branchenvereinbarung war ein derartiger Erfolg von Kompensationsprojekte nicht absehbar.