

Resultate 2017

Einheitliche Heizwert- und Energiekenn- zahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren



Abbildung: KVA Horgen: 2017 ist erstes Jahr Vollbetrieb nach Umbau auf eine Ofenlinie und mit neuer Turbine (Quelle: ZVHO, © Public Voice, Adligenswil)



Datum: 19. April 2018

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Bundesamt für Umwelt BAFU
Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen VBSA

Auftragnehmer/in: Rytec AG



Ansprechpersonen :

BFE, Daniel Binggeli	daniel.binggeli@bfe.admin.ch	058 462 68 23
BAFU, Michael Hügi	michael.huegi@bafu.admin.ch	058 462 93 16
VBSA, Robin Quartier	quartier@vbsa.ch	031 721 61 61
Rytec AG, Curdin Christen – Energiezahlen	energieeffizienz@rytec.ch	031 724 33 33
Rytec AG, Raphael Fasko – Mengenzahlen	energieeffizienz@rytec.ch	031 724 33 33

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/401777-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Titelbild: © Public Voice, Adligenswil

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

EINLEITUNG

Im Rahmen des Projekts „Einheitliche Heizwert- und Effizienzberechnung Schweizer KVA“ wurden 2009 erstmals die energetischen Kennzahlen durch die Rytec ermittelt. Dadurch wurde die Vergleichbarkeit der energetischen Effizienz der KVA mittels einer standardisierten Berechnungsmethode erhöht. Aufgrund der positiven Resonanz der Anlagenbetreiber und des BAFU auf das Projekt wird die Erhebung jährlich nachgeführt.

Die Berechnungen enthalten Herleitungen von zentralen Grössen wie z.B. des Heizwertes des Abfalls (siehe Kapitel „Zentrale Formeln“) und basieren auf Messungen z.B. der Frischdampfmenge, welche Messungenauigkeiten aufweisen. Die Resultate sind somit als bester verfügbarer Vergleich zu verstehen.

Nachfolgend die Zusammenstellung der Resultate aus der Heizwert- und Effizienzberechnung für das Betriebsjahr 2017, teilweise im Vergleich mit den Werten der vergangenen Jahre.

Die Methodik der Berechnung und die Resultate 2009 können im Bericht „Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren“ (10.05.2011) auf der Seite des BFE abgerufen werden¹. Die komplette Übersicht der Resultate 2010-2017¹ befinden sich ebenfalls auf dieser Seite.

GLOSSAR

<i>AbfRRL</i>	<i>Abfallrahmenrichtlinie: Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle</i>
<i>BAFU</i>	<i>Bundesamt für Umwelt</i>
<i>BFE</i>	<i>Bundesamt für Energie</i>
<i>BREF</i>	<i>Die BREF Dokumente werden von der EU herausgegeben und beschreiben bzw. definieren den besten verfügbaren Stand der Technik innerhalb einer Branche</i>
<i>EKS</i>	<i>Entwässerter Klärschlamm, Trockensubstanz-Gehalt zwischen 22%-31%</i>
<i>ENE</i>	<i>Energetische Nettoeffizienz² analoge Berechnung zum R1-Faktor, jedoch bezogen auf die exportierte Energie der KVA (Netto-Abgabe)</i>
<i>EnV</i>	<i>Energieverordnung (Schweiz)</i>
<i>Hu</i>	<i>Unterer Heizwert</i>
<i>KEV</i>	<i>Kostendeckende Einspeisevergütung</i>
<i>KVA</i>	<i>Kehrichtverwertungsanlage</i>
<i>R1-Faktor</i>	<i>Verwerterstatus nach AbfRRL³</i>
<i>SNG</i>	<i>Stromnutzungsgrad</i>
<i>TRL</i>	<i>Tertiärregelleistung</i>
<i>VBSA</i>	<i>Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen</i>
<i>VVEA</i>	<i>Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen</i>
<i>WNG</i>	<i>Wärmenutzungsgrad</i>

¹ [Resultate 2009-2017](#)

² [Feststellung und Anwendung des „Standes der Technik“ für die Energienutzung in KVA](#)

³ [Leitlinie zur Auslegung der R1-Energieeffizienzformel für Verwertungsanlagen](#)



ABBILDUNGSVERZEICHNIS

<i>Abb. 1: Zusammenstellung Energiekennzahlen 2017 (kompakt)</i>	5
<i>Abb. 2: Zusammenstellung Energiekennzahlen 2017 (detailliert)</i>	6
<i>Abb. 3: Energienutzungsgrad nach EnV</i>	7
<i>Abb. 4: Heizwert 2017 und 2016</i>	8
<i>Abb. 5: R1- Faktor 2017 und 2016</i>	9
<i>Abb. 6: ENE 2017 und 2016</i>	10
<i>Abb. 7: Kesselwirkungsgrad 2017 und 2016</i>	11
<i>Abb. 8: Spezifischer Wärmeexport 2017</i>	12
<i>Abb. 9: Spezifischer Wärmebedarf 2017</i>	13
<i>Abb. 10: Spezifischer Stromexport 2017</i>	14
<i>Abb. 11: Spezifischer Strombedarf 2017</i>	15
<i>Abb. 12: Wärmenutzungsgrad 2017</i>	16
<i>Abb. 13: Stromnutzungsgrad 2017</i>	17
<i>Abb. 14: Energieflussdiagramm CH-KVA 2017</i>	18
<i>Abb. 15: Massenflussdiagramm CH-KVA 2017</i>	20
<i>Abb. 16: Angelieferte- und verbrannte Abfälle</i>	21
<i>Abb. 17: Verbrennungsrückstände und entnommene Metalle in 1'000 Tonnen</i>	21
<i>Abb. 18: Angelieferte Abfälle aufgeteilt nach Herkunft</i>	21
<i>Abb. 19: Verbrennungsrückstände und entnommene Metalle in % des verbrannten Abfalls</i>	21
<i>Abb. 20: Wasserfalldiagramm der Veränderung der angelieferten Abfallmengen von 2016 zu 2017</i>	22
<i>Abb. 21: Schema der Systemgrenzen des Stromeigenbedarfs</i>	26

Vergleichstabelle Energiekennzahlen CH- KVA 2017 (kompakt)

	Abfallinput		Effizienz-Kennzahlen				Energie-Verwertung				Fremdenergie
	Vehemte Abfallmenge [t/a]	Heizwert nach Standardmethode [GJ/t]	R ₂ nach ABRML []	Energetische Merkfähigkeit (E ₁₀) []	Wärmenutzungsgrad nach Eny [%]	Stromnutzungsgrad nach Eny [%]	Wärmeabgabe (exkl. Eigenbedarf) [MWh/a]	Stromabgabe (exkl. Eigenbedarf) [MWh/a]	Wärmegebedarf [MWh/a]	Stromgebedarf [MWh/a]	
01 AG Buchs (AG)	134'842	12.72	0.65	0.53	19.4%	16.2%	73'956	64'348	18'453	14'353	2'043
02 AG Oftringen ¹⁾	65'318	13.53	0.66	0.58	15.4%	20.5%	36'726	45'827	3'147	8'133	14'098
03 AG Turgi	124'411	11.49	0.77	0.62	20.0%	20.3%	64'480	64'470	15'118	16'216	141
04 BE Bern	136'110	12.90	0.81	0.69	26.2%	19.1%	124'754	72'863	3'139	19'928	0
05 BE Biel	47'470	12.71	0.52	0.41	17.4%	12.4%	25'432	15'438	3'707	5'869	498
06 BE Thun	145'018	9.69	0.71	0.62	17.8%	19.6%	64'545	64'382	5'257	13'677	2'474
07 BS Basel	224'630	11.55	1.04	0.92	64.9%	11.5%	461'165	54'964	7'257	28'385	2'308
08 FR Posieux	95'915	12.90	0.77	0.62	19.9%	20.7%	59'624	54'781	8'810	17'109	730
09 GE Genf	237'694	11.12	0.85	0.75	39.7%	15.2%	282'904	88'151	8'847	23'889	4'190
10 GL Niederurnen	114'189	11.55	0.64	0.49	4.8%	22.0%	5'020	64'183	12'488	16'348	0
11 GR Trimmis	110'399	11.91	0.74	0.59	26.1%	16.7%	79'466	46'295	15'921	14'594	8
12 LU Perlen	240'419	13.12	0.94	0.88	37.2%	19.3%	321'904	151'555	3'956	18'708	827
13 NE Colombier	36'318	10.61	0.73	0.57	27.4%	15.7%	26'494	11'899	2'803	5'167	209
14 NE La Chaux-de-Fonds	56'156	11.38	0.88	0.69	45.0%	13.9%	72'065	15'549	7'915	9'401	621
15 SG Bazenheid ¹⁾	86'750	12.53	0.72	0.54	24.0%	18.0%	56'029	41'019	16'507	10'450	9'876
16 SG Buchs (SG)	181'893	12.33	0.88	0.74	38.8%	16.3%	218'134	79'969	24'018	21'982	1'061
17 SG St. Gallen	74'324	10.96	0.80	0.62	42.9%	11.7%	80'572	18'095	16'545	9'917	503
18 SO Zuchwil	232'635	11.11	0.78	0.62	18.4%	21.3%	101'378	123'748	30'362	29'059	46
19 TG Weinfelden	146'033	12.36	0.82	0.69	44.1%	11.8%	205'823	41'327	15'329	17'897	194
20 TI Giubiasco	180'478	11.06	0.73	0.59	11.8%	22.5%	44'330	103'597	20'829	21'160	298
21 VD Lausanne	181'054	12.76	0.95	0.82	51.8%	13.4%	300'721	70'548	31'550	16'181	419
22 VS Gamsen	39'526	12.36	0.81	0.63	60.9%	4.9%	74'741	847	7'918	6'233	599
23 VS Sion ¹⁾	66'965	11.21	0.44	0.28	11.3%	14.9%	15'131	23'314	9'273	9'442	12'661
24 VS Monthey	170'259	10.91	0.89	0.72	18.3%	25.6%	73'063	107'423	21'393	24'862	58
25 ZH Dietikon	91'319	12.32	0.68	0.55	9.0%	21.5%	25'520	53'305	2'539	14'028	37
26 ZH Hinwil	188'989	12.61	0.65	0.55	9.4%	20.3%	57'644	112'274	4'901	22'181	27
27 ZH Horgen	36'729	12.28	0.87	0.77	33.0%	18.4%	40'791	18'954	624	4'234	166
28 ZH ZH Hagenholz	240'052	12.23	1.01	0.92	52.1%	15.6%	420'738	104'002	3'978	24'035	779
29 ZH ZH Josefstrasse	124'122	10.69	0.69	0.56	32.0%	12.3%	111'946	30'767	5'970	15'120	568
30 ZH Winterthur	201'009	12.11	0.84	0.72	27.0%	20.1%	171'022	108'547	11'790	27'185	50
Anlagen- Mittelwert *	133'701	11.901	0.78	0.64	28.9%	17.1%	123'204	61'748	11'345	16'191	1'850
CH-Mittelwert **		11.886	0.81	0.68	30.4%	17.6%					
CH-Mittelwert 2016 **		11.831	0.80	0.68	29.8%	17.6%					
CH- Summe	4'011'025						3'696'118	1'852'441	340'346	485'743	55'488
CH-Summe 2016	4'010'006						3'600'258	1'845'190	378'619	493'785	53'193
CH- Maximal	240'419	13.53	1.04	0.92	64.9%	25.6%	461'165	151'555	31'550	29'059	14'098
CH- Minimal	36'318	9.69	0.44	0.28	4.8%	4.9%	5'020	847	624	4'234	8

* gemittelt über Anzahl Anlagen ¹⁾ nur KVA ohne Schlammverbrennungsanlage
 ** gemittelt über Abfallmenge bzw. Energieinput

höchster Wert
 tiefster Wert = 0

Abb. 1: Zusammenstellung Energiekennzahlen 2017 (kompakt)

Energienutzungsgrad CH- KVA 2017

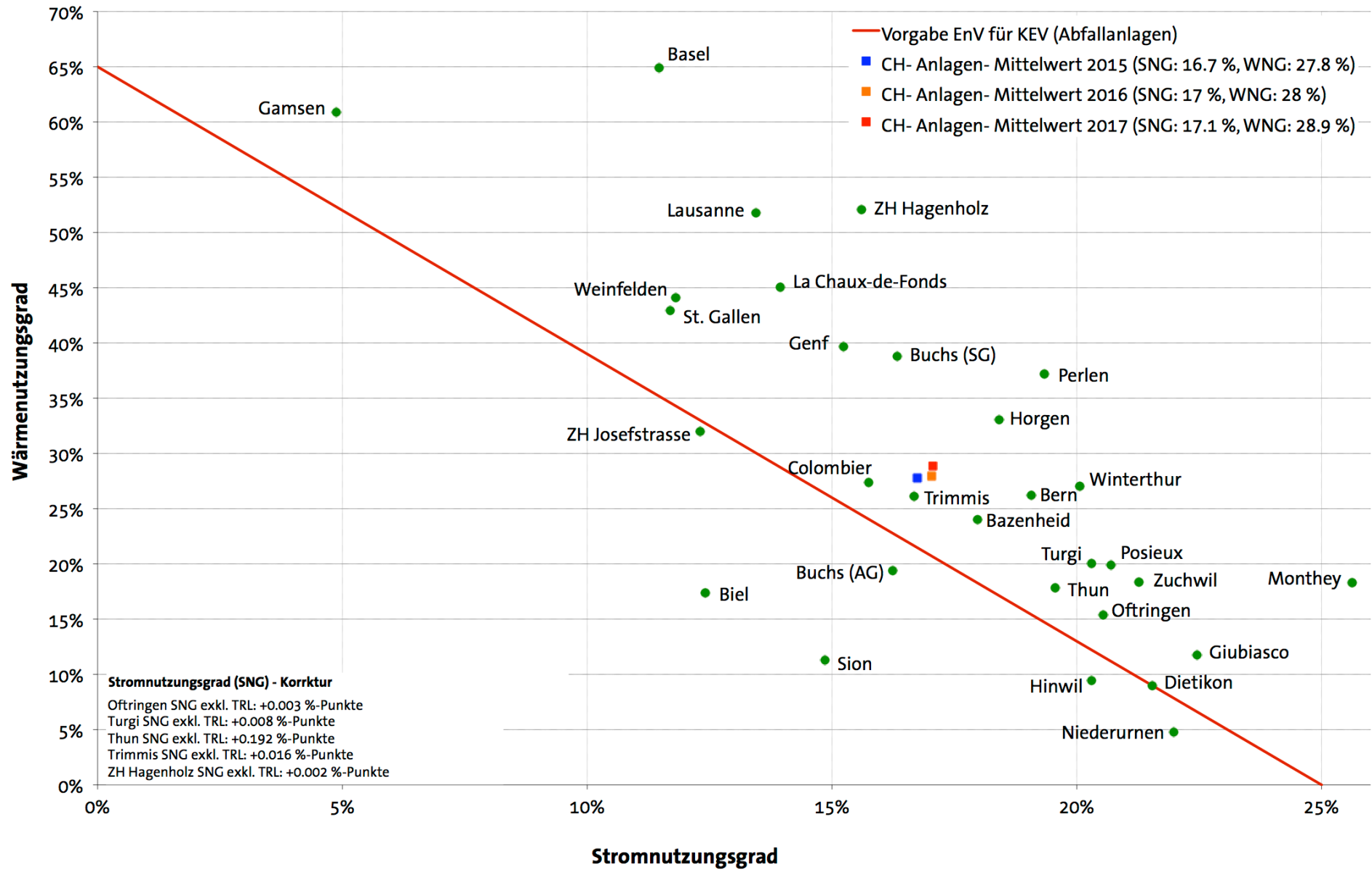


Abb. 3: Energienutzungsgrad nach EnV (anlagenspezifische Werte 2017 und Mittelwerte 2015, 2016 und 2017)

Heizwert nach Standardmethode 2017 und 2016

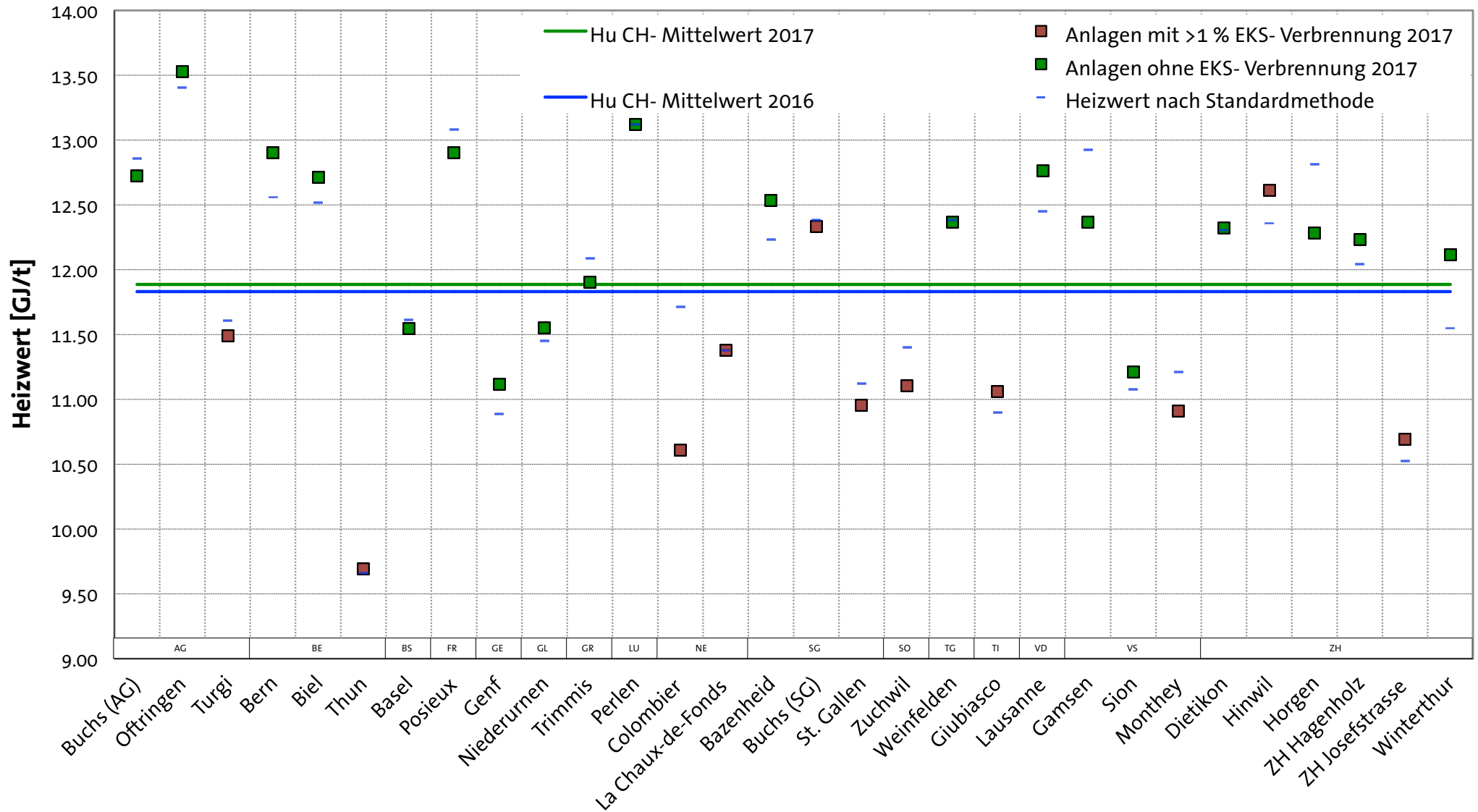


Abb. 4: Heizwert 2017 und 2016

R1- Faktor 2017 und 2016

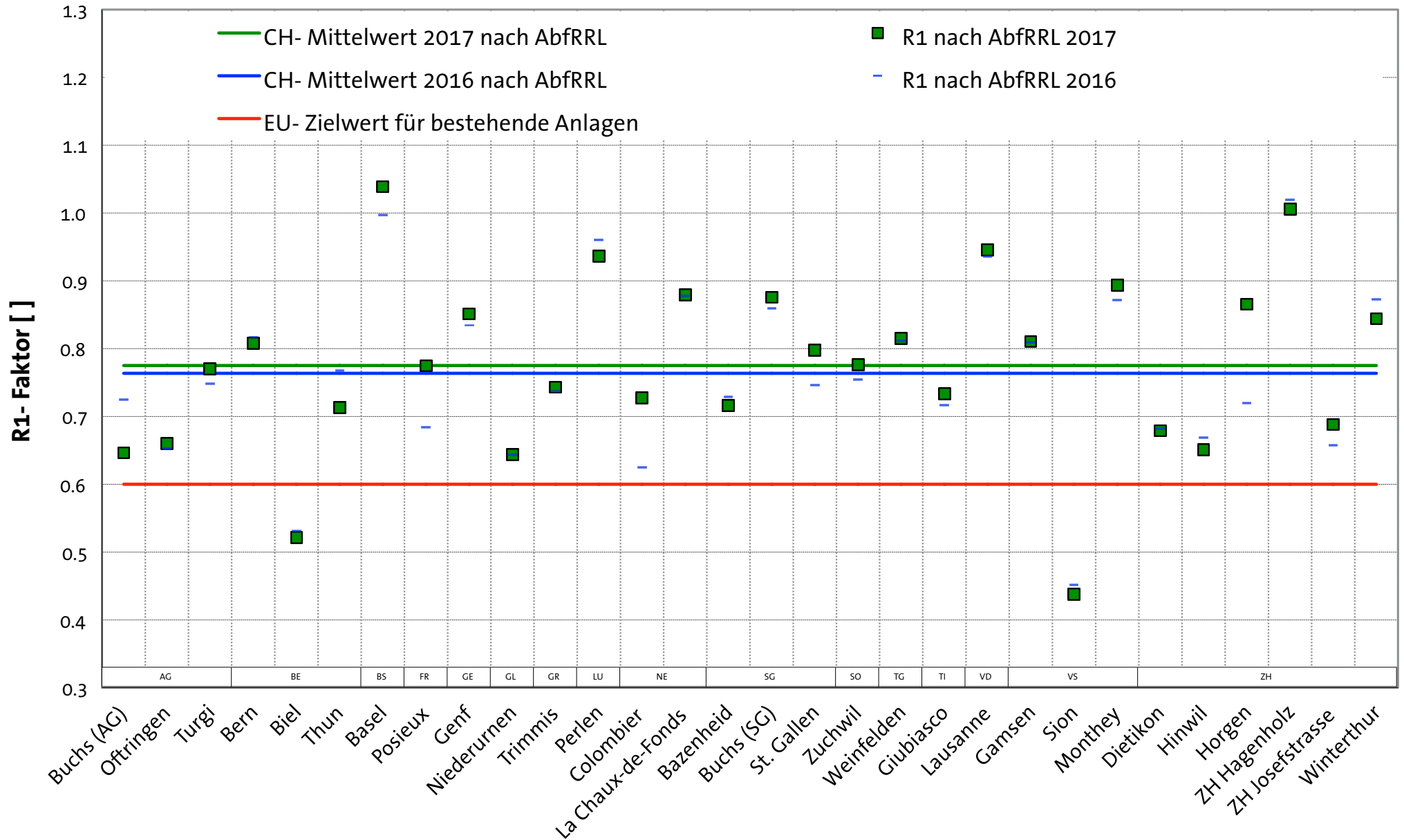


Abb. 5: R1- Faktor 2017 und 2016

Energetische Nettoeffizienz (ENE) 2017 und 2016

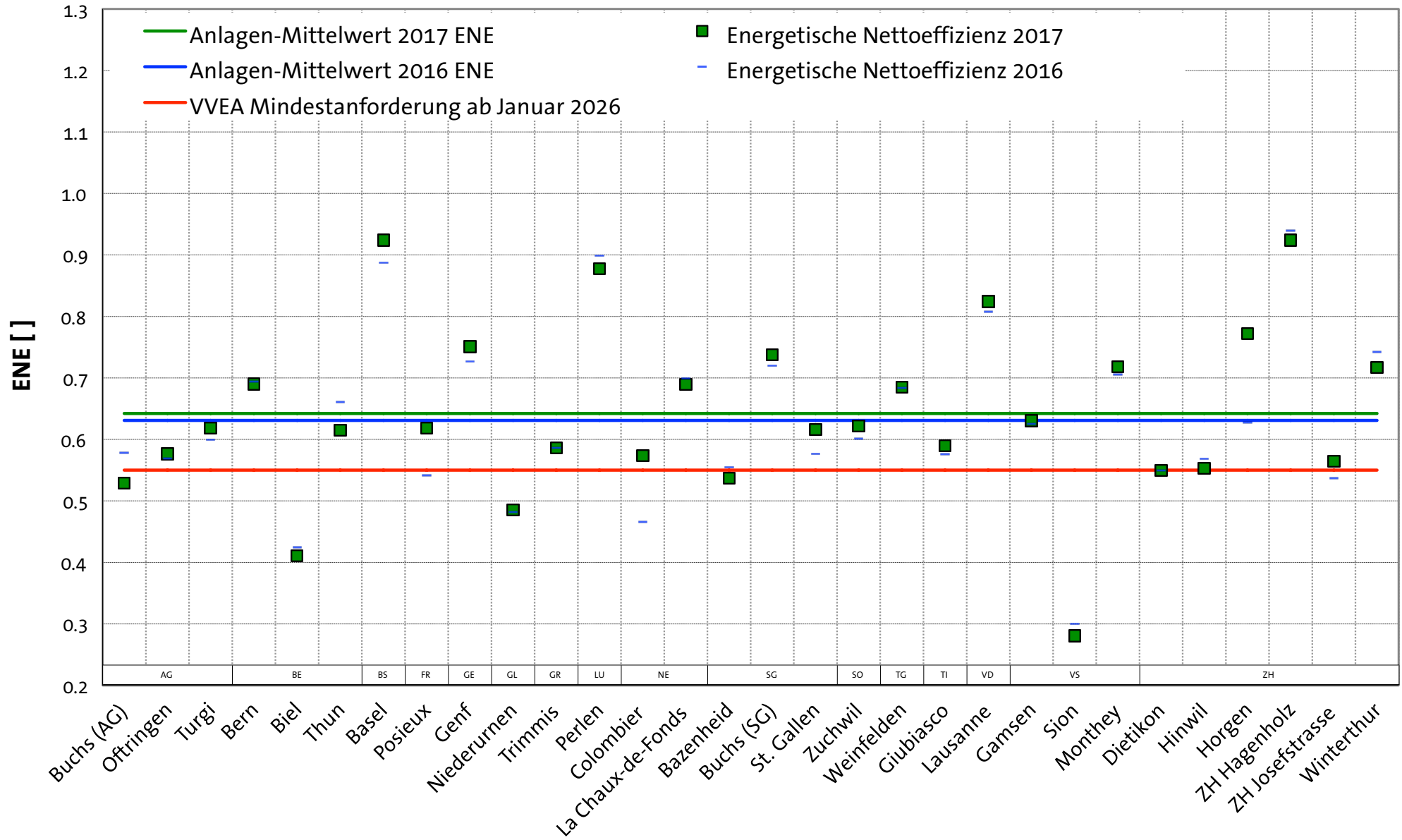


Abb. 6: ENE 2017 und 2016

Kesselwirkungsgrad 2017 und 2016

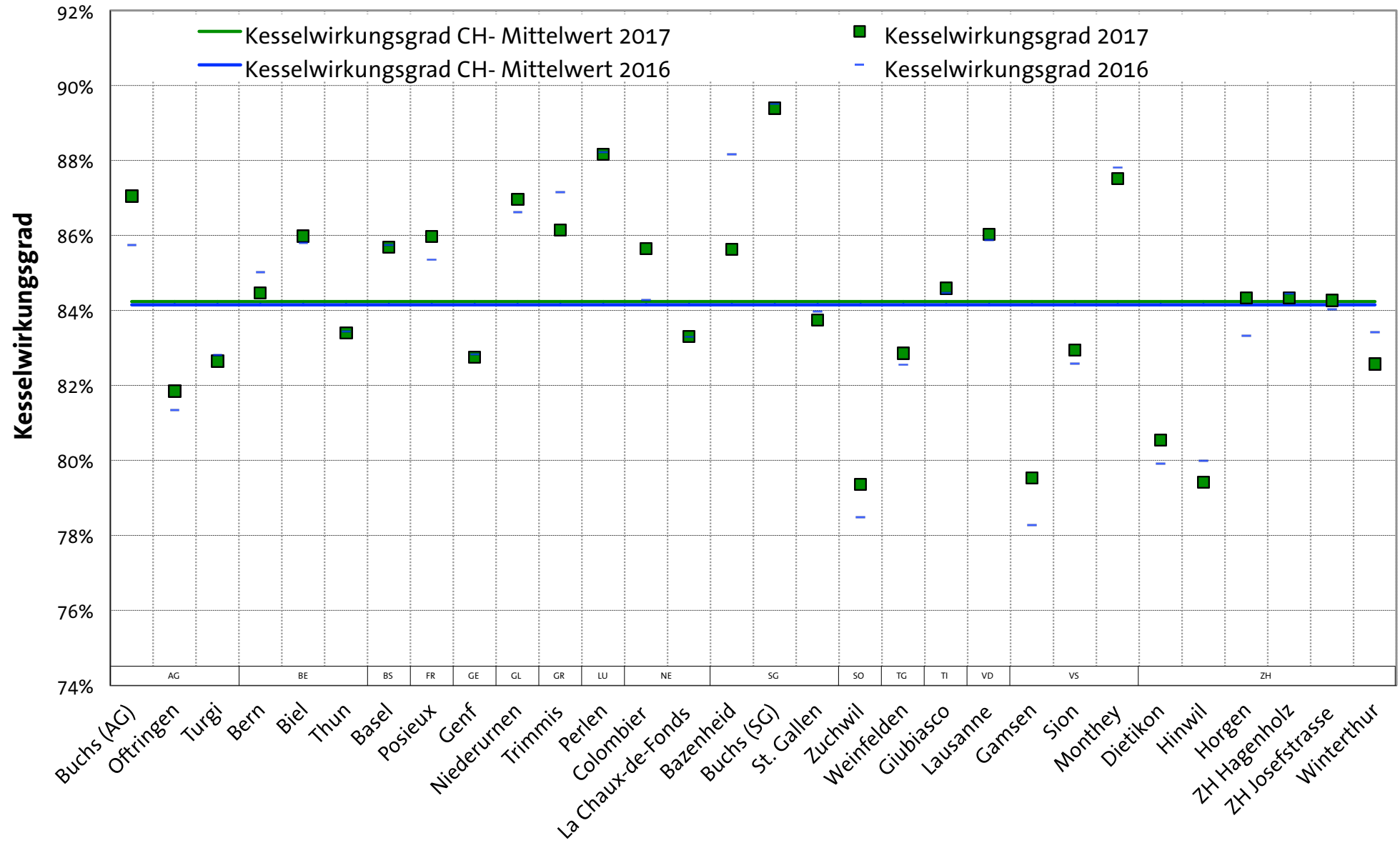


Abb. 7: Kesselwirkungsgrad 2017 und 2016

Spezifischer Wärmeexport 2017

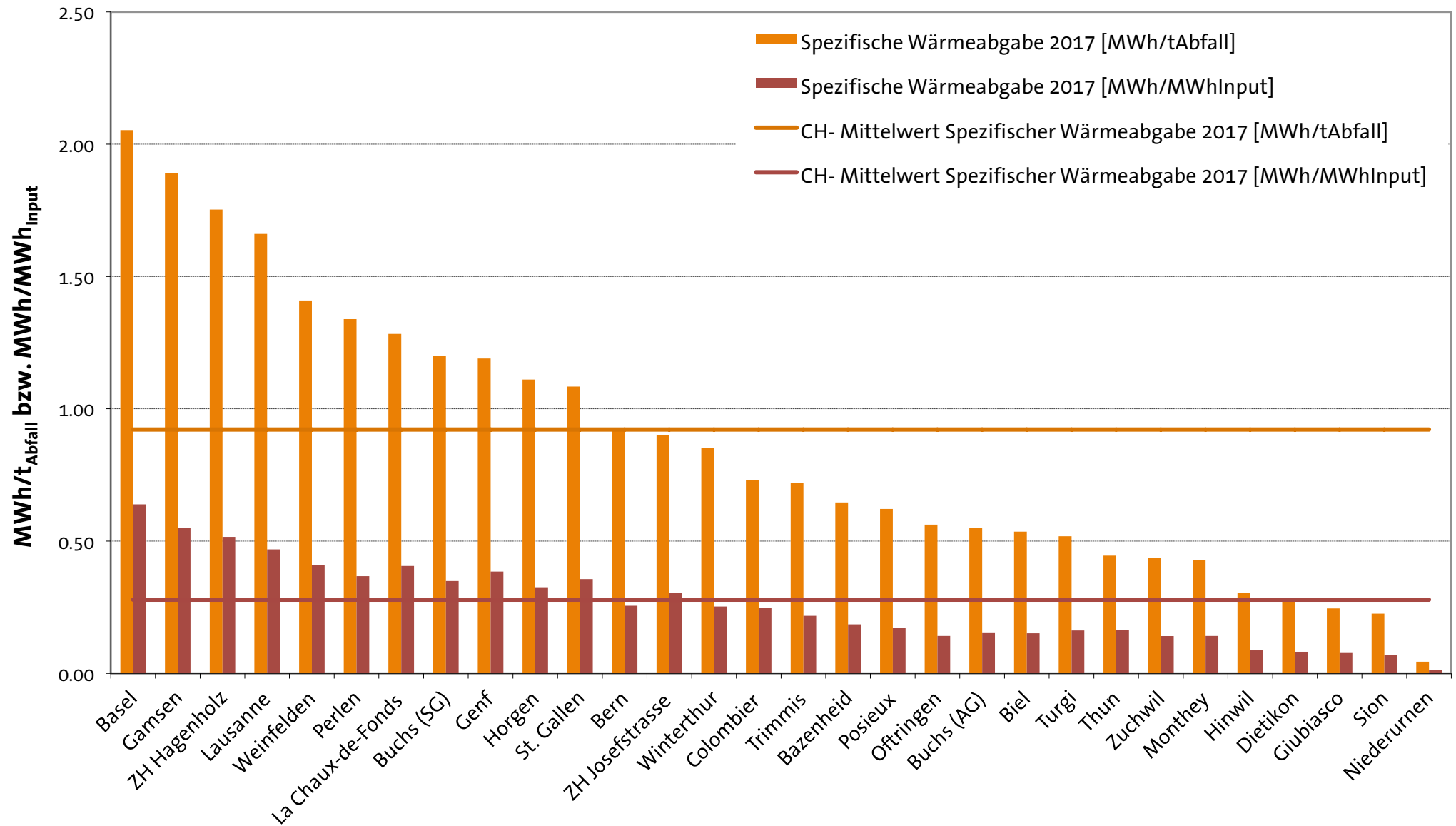


Abb. 8: Spezifischer Wärmeexport 2017

Spezifischer Wärmebedarf 2017

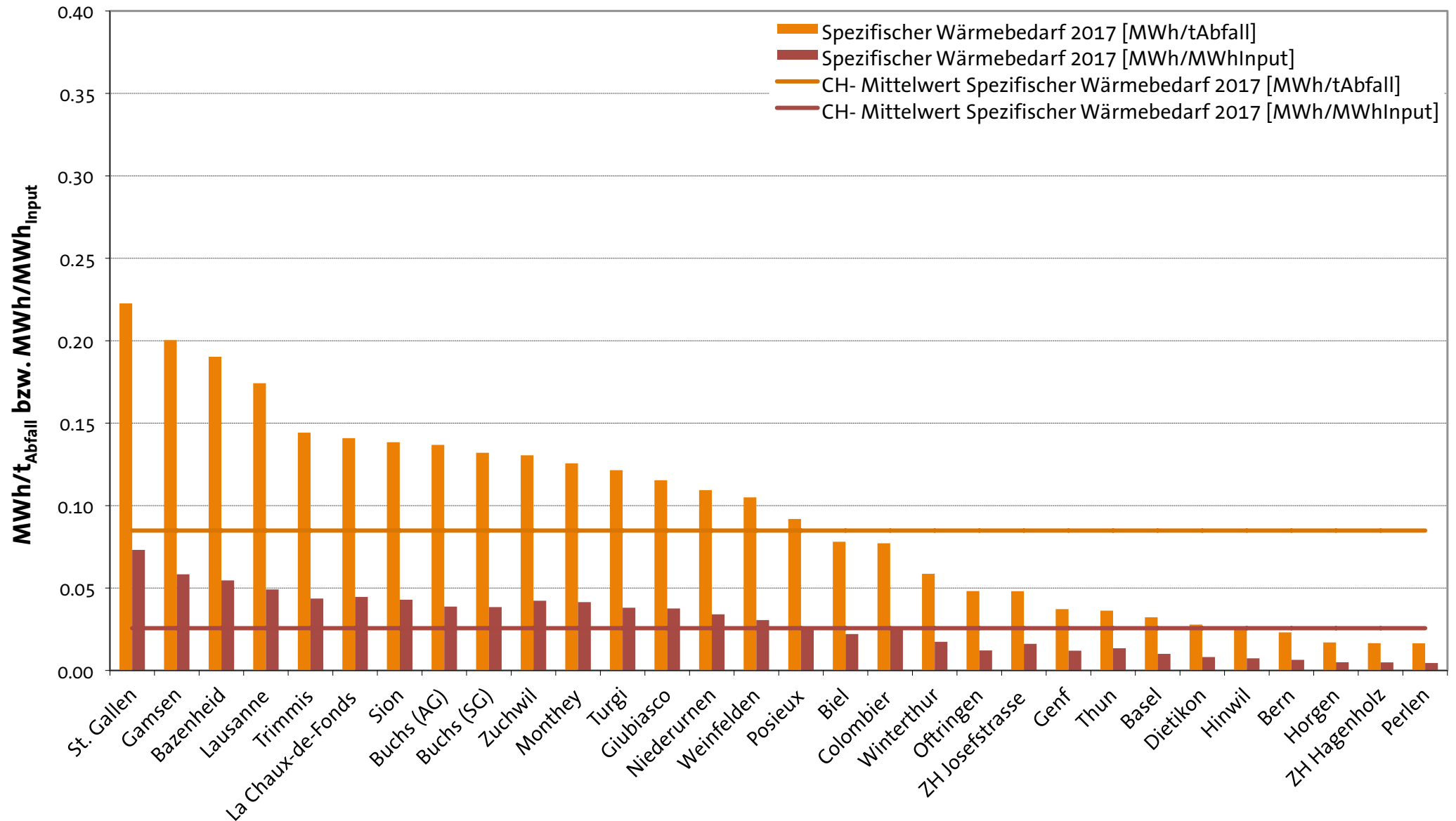


Abb. 9: Spezifischer Wärmebedarf 2017

Spezifischer Stromexport 2017

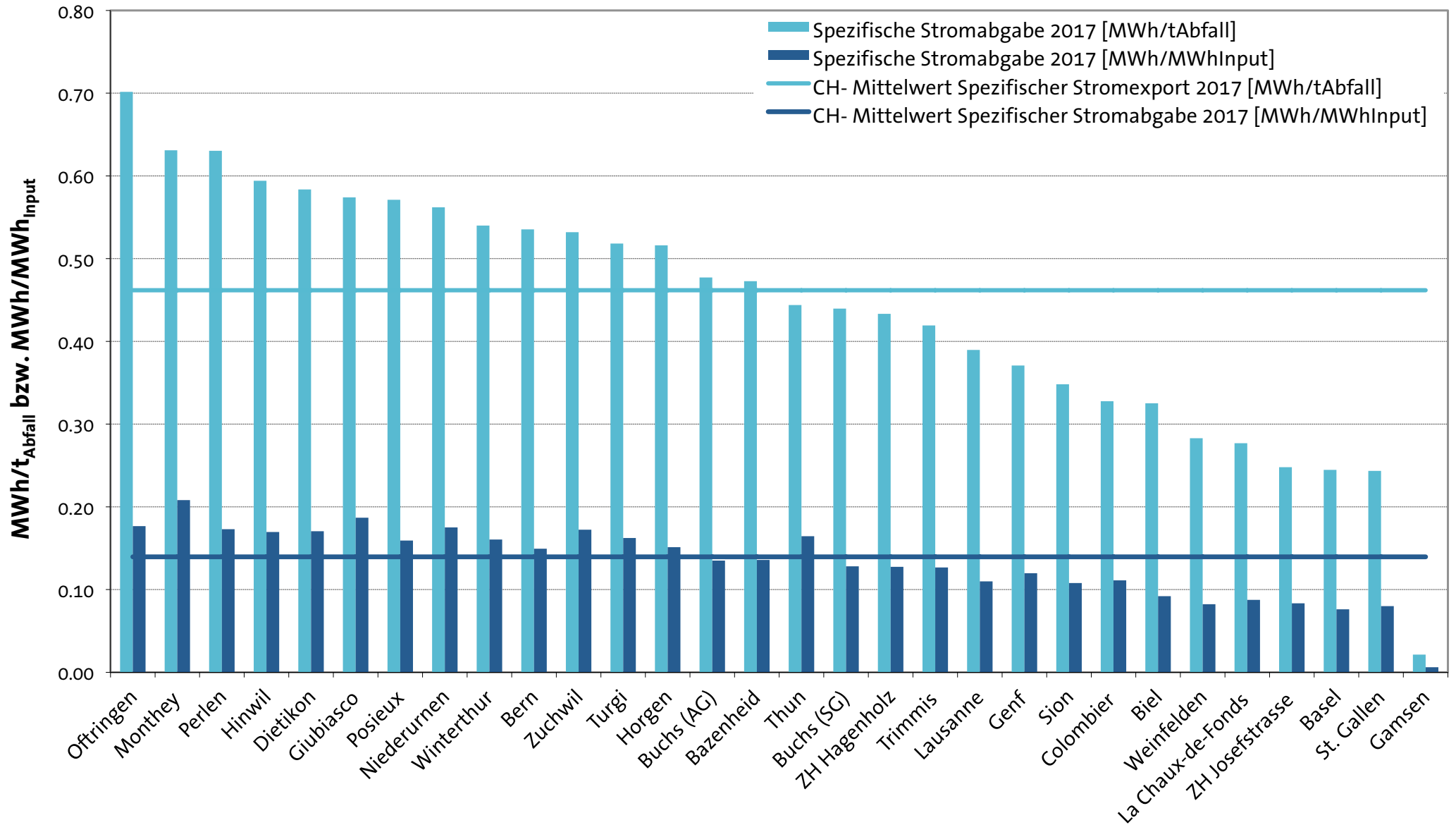


Abb. 10: Spezifischer Stromexport 2017

Spezifischer Strombedarf 2017

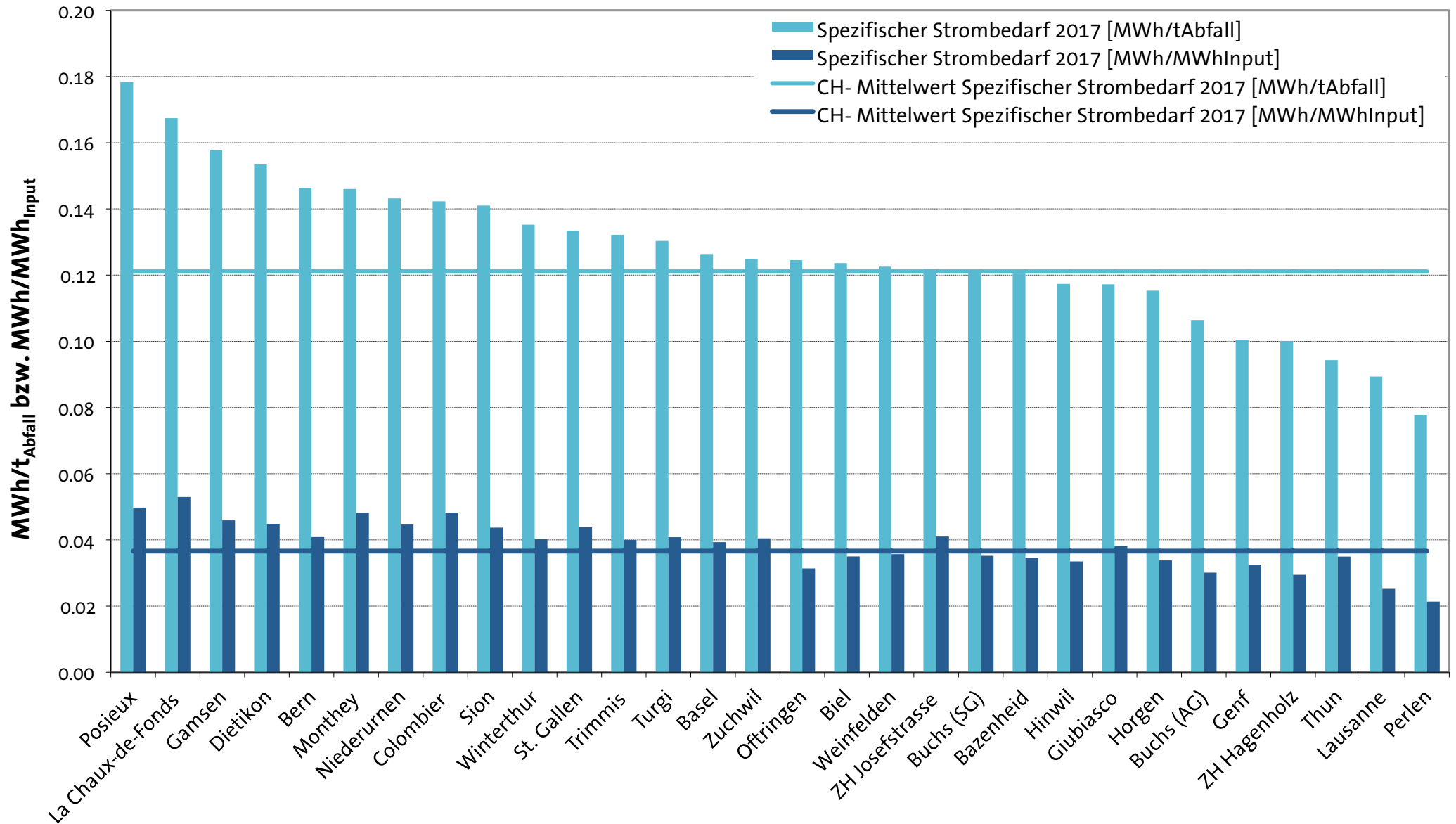


Abb. 11: Spezifischer Strombedarf 2017

Wärmenutzungsgrad 2017

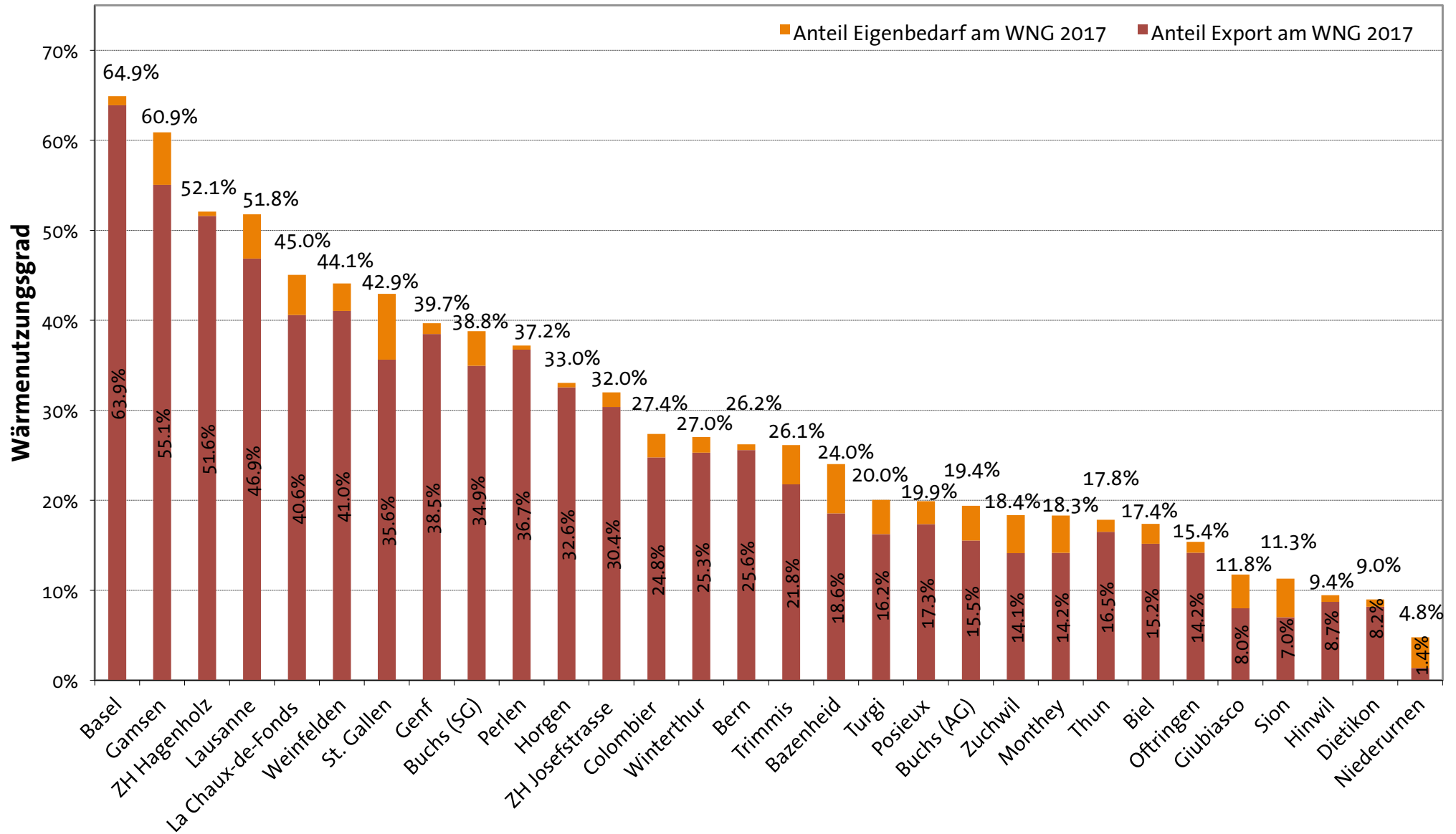


Abb. 12: Wärmenutzungsgrad 2017

Stromnutzungsgrad 2017

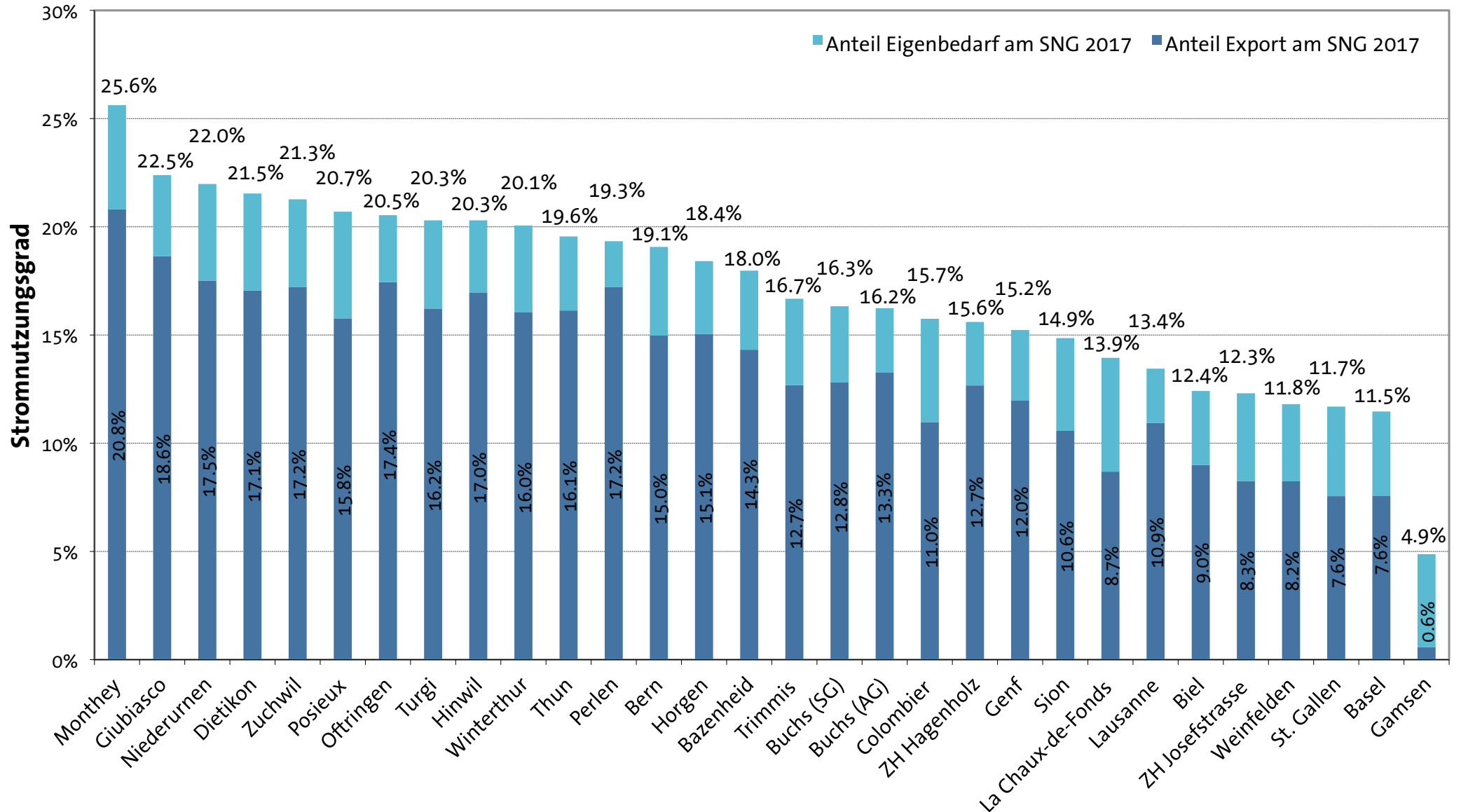


Abb. 13: Stromnutzungsgrad 2017

Energiefluss CH-KVA 2017

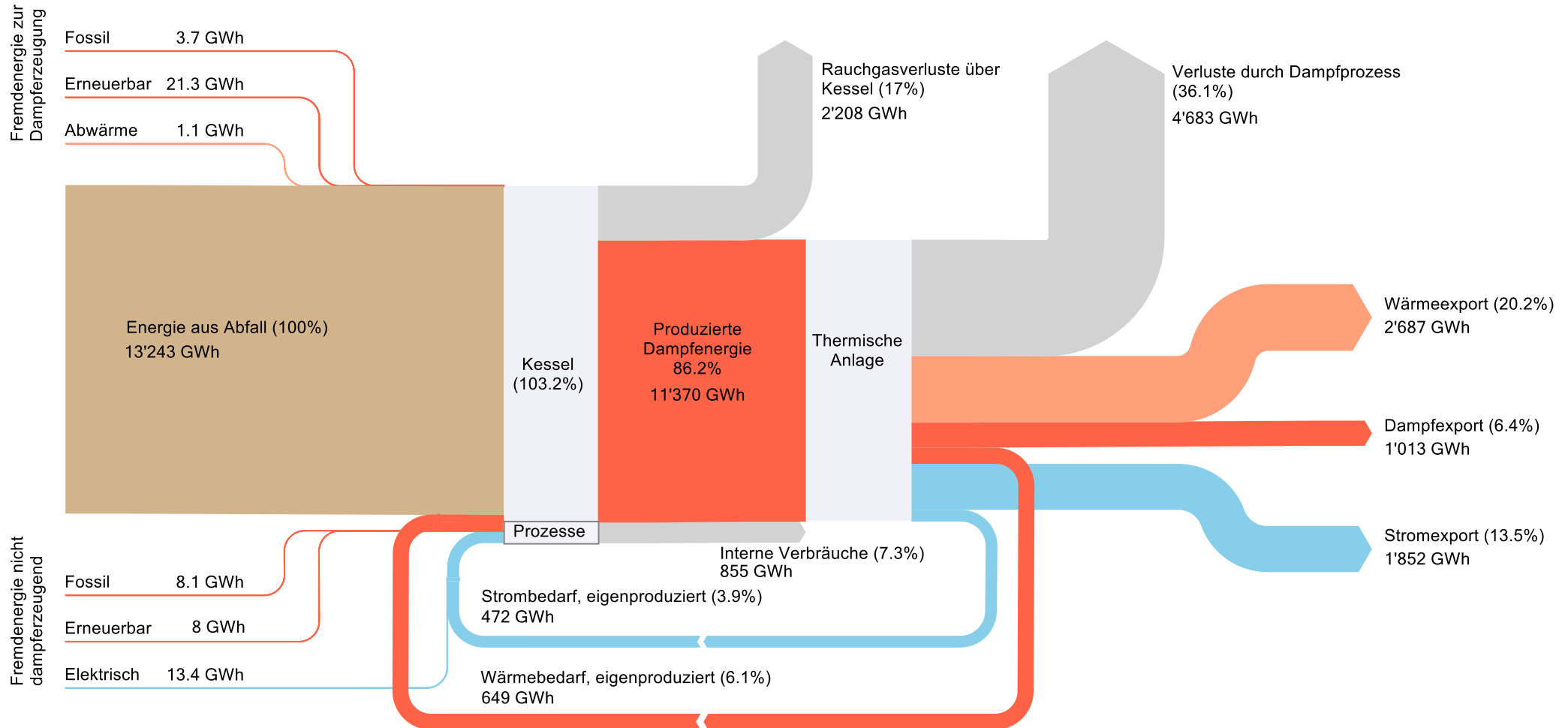


Abb. 14: Energieflussdiagramm CH-KVA 2017

BEMERKUNGEN ZU DEN ENERGIEKENNZAHLEN 2017

Im Vergleich zu den letztjährigen Energiekennzahlen ergaben nur geringfügige Veränderungen.

- Der **Energieinput in den Kessel** ist praktisch gleich geblieben (+ 0.5 %). Die Gründe dafür sind eine praktisch konstante Menge verbrannten Abfalls (<+ 0.1%) und eine minimale Steigerung des Heizwertes (+ 0.5 %).
- Die **Wärmeabgabe** hat um 2.7 % zugenommen (+ 96 GWh). Die Steigerung ist auf den Verkauf von Wärme (im Gegensatz zu Dampf +/- 0 %) zurückzuführen. Die Heizgradtage 2017 (\emptyset Schweiz) waren in etwa gleich wie im Vorjahr. Es sind keine Sondereffekte bekannt, ein kontinuierlicher Ausbau der Fernwärme wird angenommen.
- Die **Stromabgabe** hat um 0.4 % zugenommen (+ 7 GWh). Dies entspricht in etwa der Reduktion des Stromeigenbedarfs der Anlagen.

Massenfluss der Schweizer KVA 2017

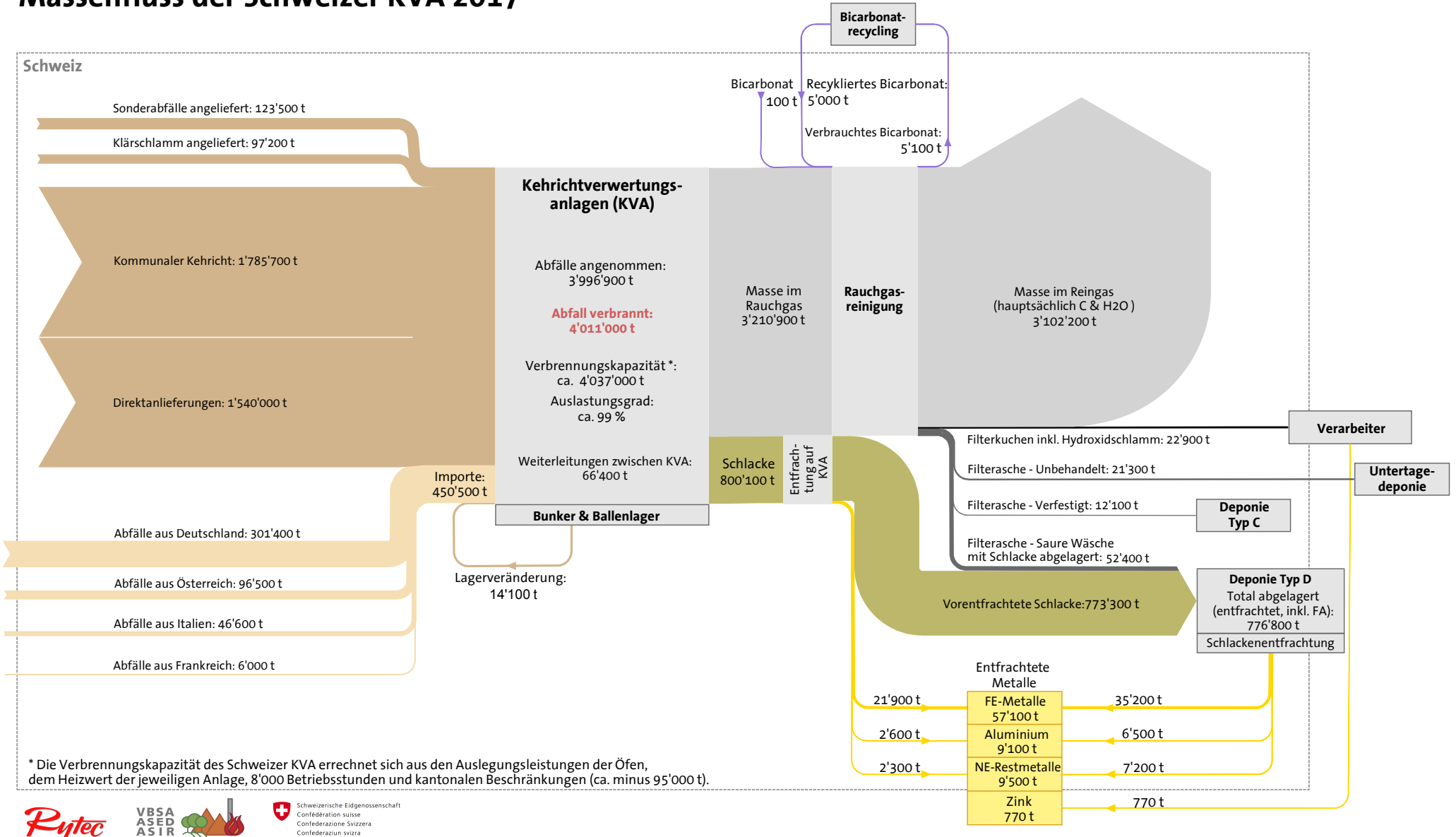


Abb. 15: Massenflussdiagramm CH-KVA 2017

Angelieferte- und verbrannte Abfälle [kt]

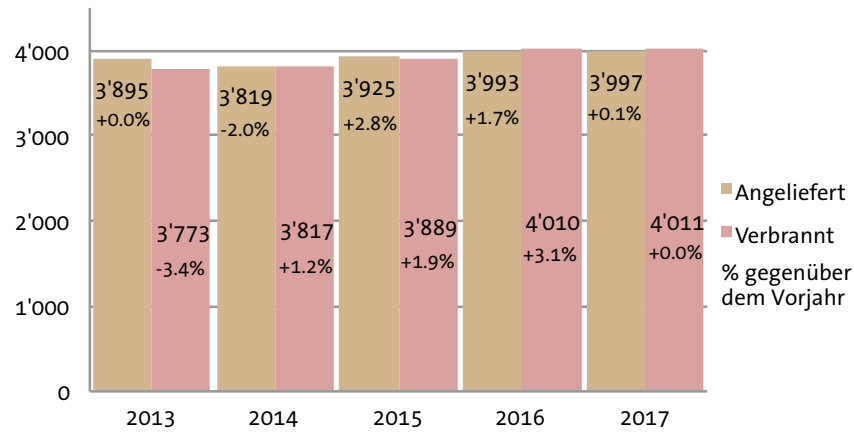


Abb. 16: Angelieferte- und verbrannte Abfälle (Differenz ist Lagerveränderung)

Rückstände und entnommene Metalle [kt]

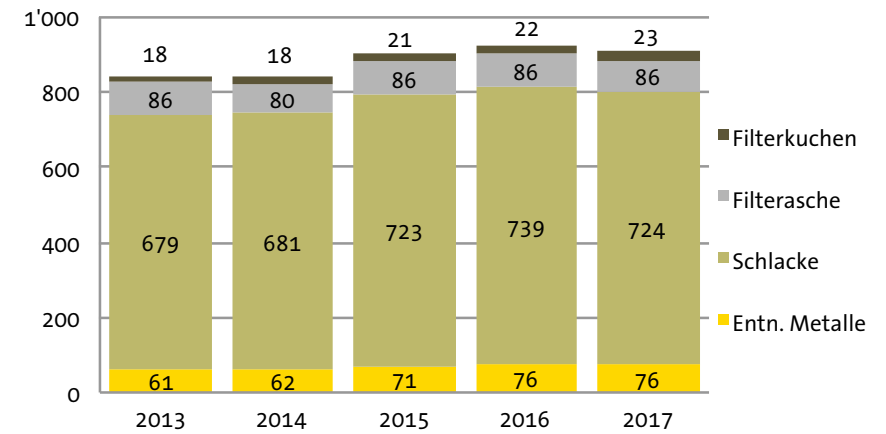


Abb. 17: Verbrennungsrückstände und entnommene Metalle in 1'000 Tonnen

Angelieferte Abfälle [kt]

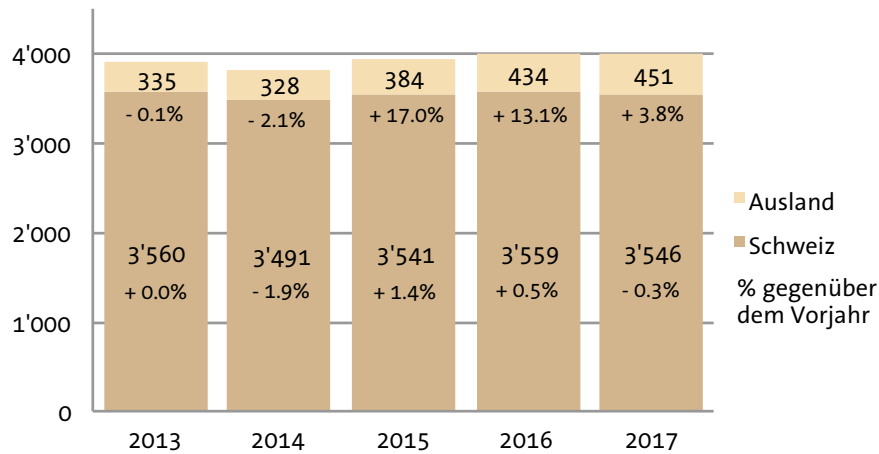


Abb. 18: Angelieferte Abfälle aufgeteilt nach Herkunft (In- und Ausland)

Rückstände und entnommene Metalle [%]

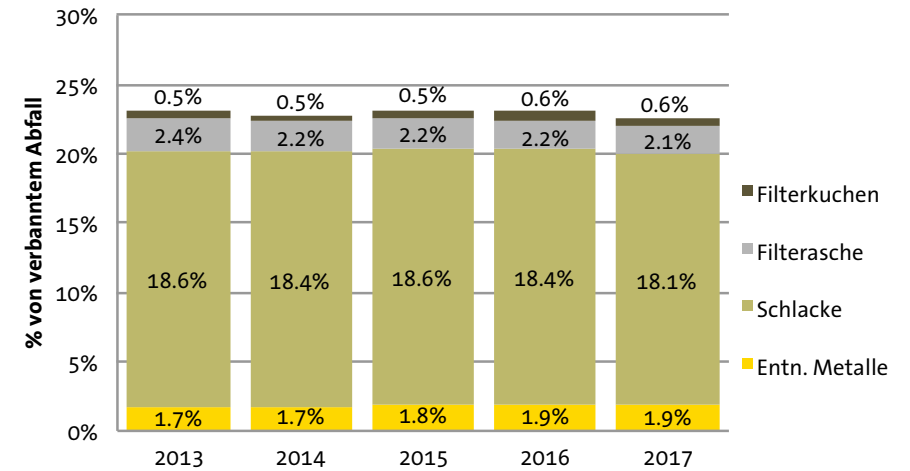


Abb. 19: Verbrennungsrückstände und entnommene Metalle in % des verbrannten Abfalls

Veränderung der angelieferten Abfallmengen 2016/17 [kt]

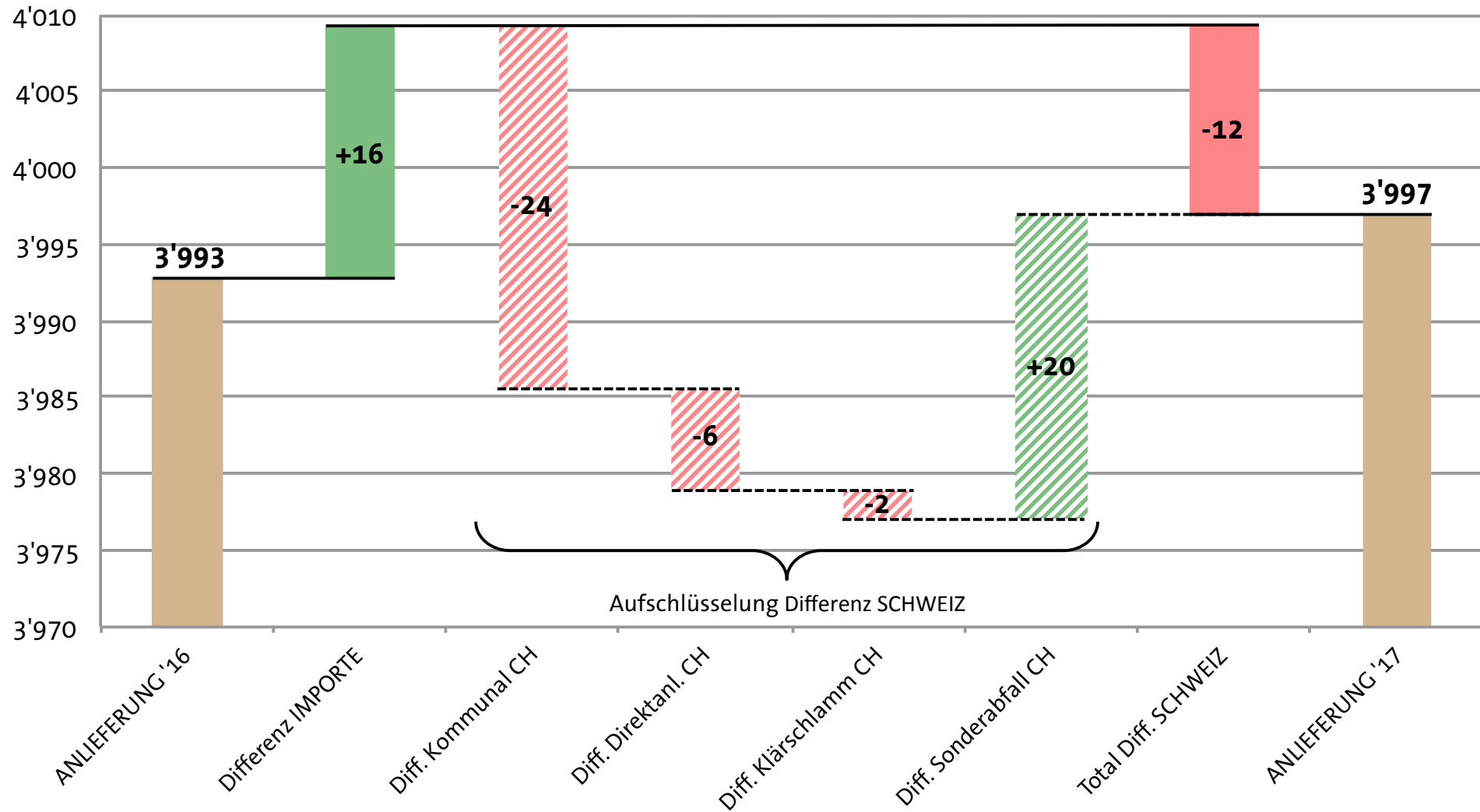


Abb. 20: Wasserfalldiagramm der Veränderung der angelieferten Abfallmengen von 2016 zu 2017

BEMERKUNGEN ZU DEN MENGENZAHLEN 2017

Der **angelieferte Abfall** nahm um **4'000 t (+ 0.1 %) zu**, dazu geführt haben:

- Importe (DE, AT, FR, IT): + 16'000 t (+ 0.4 %-Punkte, Veränderung zum Vorjahr)
- Inlandanlieferungen: - 12'000 t (- 0.3 %-Punkte, Veränderung zum Vorjahr)

Die **verbrannte Menge** Abfall nahm um **1'000 t (+ 0.0 %) zu**, dazu geführt haben:

- Angelieferte Abfälle: + 4'000 t (+ 0.1 %-Punkte, Veränderung zum Vorjahr, siehe oben)
- Leerung von Bunkern und Lagern: - 3'000 t (- 0.1 %-Punkte, Veränderung zum Vorjahr)

Anlieferzahlen:

- **Sonderabfall:** + 20'000 t (+ 19.1 %): Teile des Altholzes gelten seit 23.3.16 als Sonderabfall – Anpassung der Verordnung des UVEK über die Liste zum Verkehr mit Abfällen (LVA). 2017 ist das zweite Jahr der Bereinigung der Annahmehaltung bei den Anlagen (2016 waren es + 8'000 t).
- **Klärschlamm:** - 2'000 t (-1.7 %): Keine aussergewöhnlichen, bekannte Gründe.
- **Kommunale Anlieferungen:** - 24'000 t (- 1.3 %): Keine aussergewöhnlichen, bekannte Gründe. Genereller Trend von Haushaltskochabfällen zu Take-Away, Einführung Grüngutsammlung Region Bern.
- **Direktanlieferungen:** - 6'000 t (- 0.4 %): ca. - 20'000 t Altholz zu Sonderabfall plus Direktanlieferungszunahme aus nicht näher bekannten Gründen (z.B. Reduktion Abfallexport, Zunahme Take-Away-Abfälle u.a.)

Zentrale Formeln

Heizwert

Der Energiegehalt / Heizwert jeder gelieferten Charge Abfalls ist unterschiedlich. So variiert auch der mittlere Heizwert pro Anlage und Jahr und ist mittels Stichprobenmessungen praktisch nicht bestimmbar. Zur Näherung des Heizwertes des verbrannten Abfalls (H_u) wird das H_u -Berechnungsmodell nach BREF verwendet:

$$Hu [GJ/t] = (1.133 * \frac{E_{FD} \pm E_K}{m_w} + 0.008 * T_b) / 1.085$$

E_{FD}	Energie des Frischdampfes [GJ] (Δ zum Speisewasser)
E_K	Summe diverser Energieströme in oder aus der Brennkammer (z.B. Stützfeuerung E_f , Energie für Primärluft, Rostkühlung, Dampf für Ammoniakendüsung, Wassereindüsung, vor der Frischdampfmesung entnommener Dampf, ...)
H_u	Heizwert für den jeweiligen Brennstoff
m_w	Gesamte verbrannte Abfallmenge [t]
T_b	Rauchgastemperaturdifferenz nach Kessel [°C] bezogen auf 10°C

Die 0.008 [GJ/t*K] sind der spez. Energieinhalt im Rauchgas bei ϕ 5.7 Nm³ Rauchgas/kg_{Abfall} (bei Abweichungen grösser +/- 10% wird dieser Wert angepasst).

Die Faktoren 1.133 bzw. 1.085 [] der H_u -Berechnungsformel sind aus einer Regressionsrechnung entstanden. Sie sind Näherungsgrössen für die Heizwertberechnung, die sich aufgrund des Vergleichs der Variablen mit einer Vielzahl nach DIN ermittelten Heizwerten ergeben haben.

Speziell zu erwähnen ist die Frischdampfmesung als Grundlage für E_{FD} . Sie weist eine Messgenauigkeit in der Grössenordnung von \pm 5% auf. Für eine gute Näherung des Heizwertes ist eine kalibrierte Frischdampfmesstelle zentral.

Stromnutzungsgrad

Der Stromnutzungsgrad ist der Quotient aus der am Generator produzierten elektrischen Energie (inkl. Eigenbedarf) dividiert durch die in den Kessel eingebrachte Energie:

$$\text{Stromnutzungsgrad [\%]} = \frac{E_p}{(E_w + E_f)} * 100$$

E_f	Importierte Energie zur Dampferzeugung (z.B. Stützfeuerung, externe Rauchgase, ...)
E_p	Gewonnene Energie, genutzt (e = electricity, h = heat, st = steam)
E_w	Energie aus Abfall

Wärmenutzungsgrad

Der Wärmenutzungsgrad ist der Quotient aus der genutzten Wärme dividiert durch die in den Kessel eingebrachte Energie:

$$\text{Wärmenutzungsgrad [\%]} = \frac{E_{p_{h,st}}}{(E_w + E_f)} * 100$$

R1-Faktor

Der R1- Faktor wird in Anhang II der Abfallrahmenrichtlinie (AbfRRL) der EU definiert. Er ist ein Mass der Nutzung des Energieinhaltes im Abfall in Anlagen, deren Zweck die Behandlung fester Siedlungsabfälle ist. Die Energieformen werden dabei gewichtet: Strom mit dem Faktor 2.6 und Wärme und Dampf mit 1.1. Anlagen gelten dann als Verwertungsanlage, wenn ihr R1-Faktor mindestens folgende Werte erreicht:

- 0.6 für in Betrieb befindliche Anlagen, die vor dem 1. Januar 2009 genehmigt wurden
- 0.65 für Anlagen, die nach dem 31. Dezember 2008 genehmigt wurden

Nur Anlagen mit dem Verwertungsstatus dürfen Abfall aus dem Ausland importieren und verwerten.

$$R1 = \frac{(2.6 * E_{p_e} + 1.1 * E_{p_{h,st}}) - (E_f + E_{imp})}{0.97 * (E_w + E_f)}$$

E_{imp} Importierte Energie nicht dämpferzeugend (Z.B. Strom, Gas zur Wiederaufwärmung von Rauchgasen, ...), die Energieträger müssen gewichtet werden (2.6 * e, 1.1 * h, st, 1 * Primärenergieträger)

ENE – Energetische Nettoeffizienz

Die energetische Nettoeffizienz ist der in der Schweiz verwendete Indikator für die Energieeffizienz von KVA. Er wird grundsätzlich analog zum R1-Faktor berechnet, jedoch wird nur die exportierte Energie der KVA (Netto-Abgabe, ohne Eigenbedarf) angerechnet.

- Gemäss VVEA Art.32 müssen KVA-Inhaber/innen ihre Anlage so betreiben, dass ab 1. Januar 2026 “mindestens 55% des Energiegehalts ausserhalb der KVA genutzt wird“. Die Richtlinie, welche die Erreichung dieser Anforderung definieren wird, ist noch in Erarbeitung. Eine ENE von 0.55 ist als Kriterium in Diskussion.

$$ENE = \frac{(2.6 * E_{exp_e} + 1.1 * E_{exp_{h,st}}) - (E_f + E_{imp})}{0.97 * (E_w + E_f)}$$

E_{exp} Exportierte Energie

Systemgrenzen Stromeigenbedarf

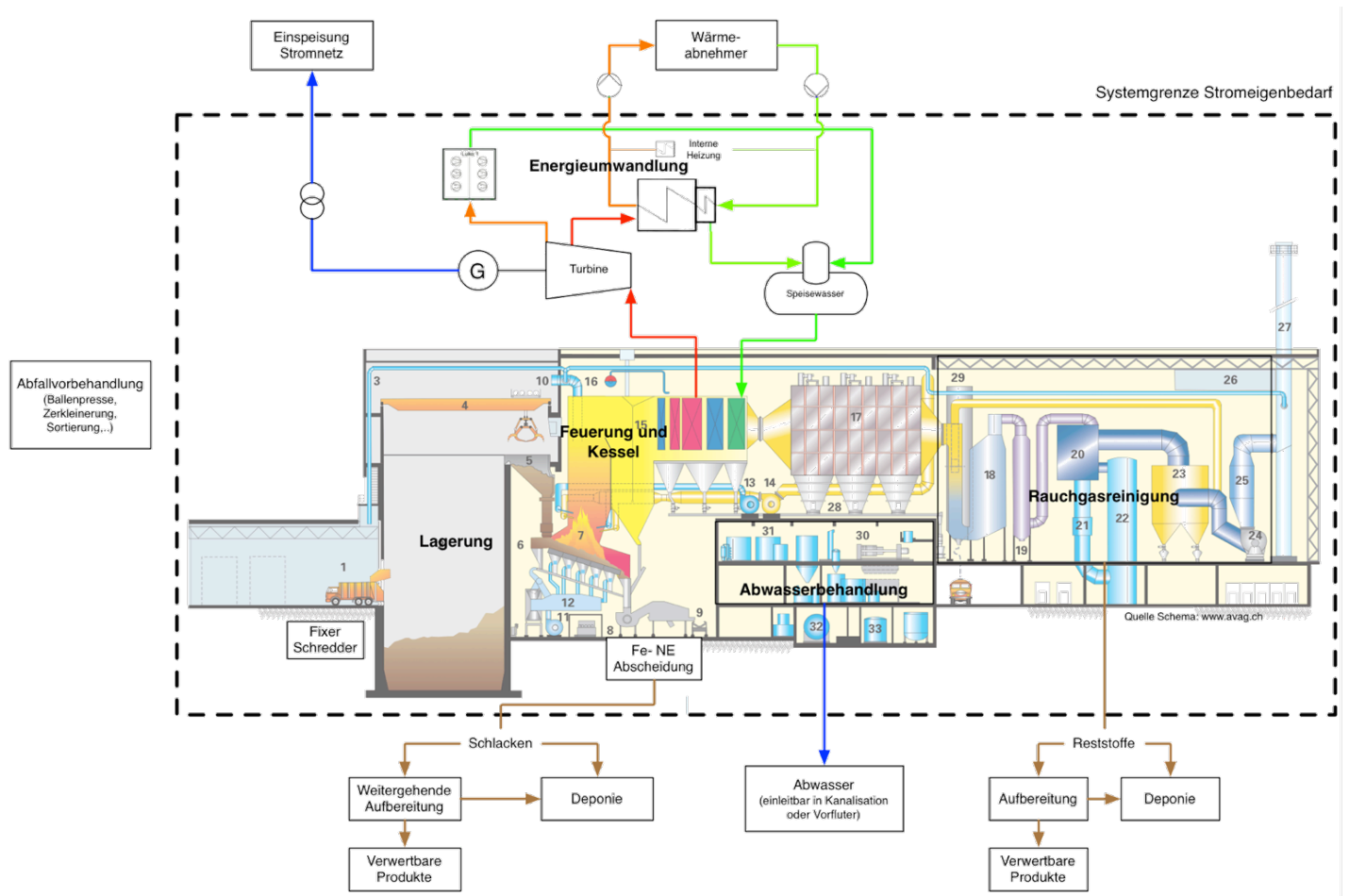


Abb. 21: Schema der Systemgrenzen des Stromeigenbedarfs