



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Umwelt
Bundesamt für Energie BFE

Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren

SCHLUSSBERICHT

10. Mai 2011



Abfalltechnologie + Energiekonzepte
Beratungen Expertisen Projektmanagement Engineering



Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt

Worblentalstrasse 68
CH – 3063 Ittigen

Vertreten durch Herrn Michael F. Hügi

Tel 031 – 322 93 16
Fax 031 – 323 03 69

Bundesamt für Energie

Mühlestrasse 4
CH – 3063 Ittigen

Vertreten durch Herrn Daniel Binggeli

Tel 031 – 322 68 23
Fax 031 – 323 25 00

Auftragnehmer

Rytec AG

Alte Bahnhofstrasse 5
Postfach 1139
CH – 3110 Münsingen

Tel 031 – 724 33 33
Fax 031 – 724 33 35

Vertreten durch Herrn Urban Frei

<i>Version</i>	<i>Datum</i>	<i>Verfasser</i>	<i>Freigabe (/ ☑)</i>
01	10.05.2011	AR, CC, UF	☑

ZUSAMMENFASSUNG

Durch die Berechnung der energetischen Kennzahlen eines Grossteils der Schweizer KVA (aktuell 24, insgesamt voraussichtlich 26 teilnehmende Anlagen) mit ein und der selben standardisierten Berechnungsmethode wurde die Vergleichbarkeit der Anlagen untereinander erreicht.

Die Resonanz der Anlagenbetreiber auf das Projekt grundsätzlich und auf die Resultate war ausgesprochen positiv, was sich in der hohen Beteiligung der Anlage am Projekt und der guten Kooperation während der Bearbeitungsphase gezeigt hat.

Den grössten Einfluss auf die Heizwert-Berechnung hat die Feuerung, sämtliche betrachteten Anlagen haben jedoch eine Rostfeuerung. Bei den weiteren Verfahrensschritten (Entstaubung, Wäscher, und Entstickung) sind zum Teil Unterschiede vorhanden. Ausser einer Linie haben sämtliche Anlage einen Wäscher. Zur Entstaubung ist nur bei einer Anlage ein Gewebefilter in Betrieb. Die restlichen Anlagen nutzen hierfür einen E-Filter. Einzig bei der Entstickung kommen die drei Varianten SNCR, Rohgas- SCR und Reingas- SCR zum Einsatz. Dies hat vor allem einen Einfluss auf den Wärmeeigenbedarf.

Das Ziel der einheitlichen Berechnung und somit einer Vergleichbarkeit der Anlagen konnte erreicht werden, da mit der Berechnungsmethode sämtliche angetroffenen Anlagentypen abgedeckt werden konnten und keine Sonderfälle vorgefunden wurden, die das System gesprengt hätten.

Nach diesem erfolgreichen Start in eine einheitliche Berechnung und Erfassung der energetischen Kennzahlen der Schweizer KVA, ist im Interesse der Anlagenbetreiber und der zuständigen Behörden möglichst bald die Frage nach der zukünftigen Datenerfassung, sowie Plausibilisierung und Administration der Resultate zu klären.

GLOSSAR

AbfRRL	Abfallrahmenrichtlinie: Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle gleichzeitig noch bis Dezember 2010 gültig: Richtlinie 2006/12/EG
BAT (Best Available Technique)	Unter dem Begriff des „Bestverfügbaren Standes der Technik“ (BAT) wird im umweltbezogenen Sinn jener Umweltstandard verstanden, der in modernen Industrieanlagen üblicherweise realisiert werden kann [7]
BREF Dokumente (Best References)	Die BREF Dokumente wurden im Auftrag des Europäischen Büros für Integrierte Verschmutzungsvermeidung und -kontrolle (=EIPPC, European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau) in Zusammenarbeit mit der Europäischen Industrie erstellt und beschreiben bzw. definieren den Bestverfügbaren Stand der Technik innerhalb spezifischer Industriebranchen [7].
CEWEP	Confederation of European Waste-to-Energy Plants
E_{circ}	Eigenerzeugte Energie welche für den internen Prozess benötigt wird
E_{exp}	Gesamte exportierte Energie
E_f	Importierte Energie zur Dampferzeugung (z.B. Stützfeuerung)
E_{imp}	Importierte Energie nicht dampferzeugend (z.B. Rauchgaswiederaufwärmung mittels Gas,...)
E_p	Gesamte produzierte Energie
E_w	Energie aus Abfall
e	Elektrizität
h	Fernwärme
st	Dampf
EKS	Entwässerter Klärschlamm
EnV	Energieverordnung (Schweiz) [8]
EUGH C458/00 Rz. 34	Entscheid des europäischen Gerichtshofes bezüglich Verbringung von Abfällen in einen anderen Mitgliedstaat [3]: „Zum dritten ergibt sich aus dem Begriff „Hauptverwendung“ in R1 des Anhangs II B der Richtlinie, dass die Abfälle hauptsächlich als Brennstoff oder andere Mittel der Energieerzeugung verwendet werden müssen. Dies bedeutet, dass der größere Teil der Abfälle bei dem Vorgang verbraucht und der größere Teil der freigesetzten Energie zurückgewonnen und genutzt werden muss.“
FD	Frischdampf
H_u	Unterer Heizwert
KHKW	Kehrichtheizkraftwerk
PLS	Prozessleitsystem
R1	Verwertungsverfahren mit der Hauptverwendung als Brennstoff oder als anderes Mittel der Energieerzeugung [4]
SCR	Selective Catalytic Reduction
SVA	Schlammverbrennungsanlage

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	7
1.1. Ausgangslage und Ziele	7
1.2. Beteiligung der Anlagen	7
1.3. Projektorganisation	7
2. Vorgehen und Methodik	8
2.1. Vorgehen im Projekt	8
2.2. Berechnungsmethodik	8
2.2.1. Überblick	8
2.2.2. Verwendete Daten	8
2.2.3. Systemgrenzen	9
2.2.4. Hu-Formel	9
2.2.5. Wärme- / Stromnutzungsgrad nach EnV	11
2.2.6. Spezifischer Wärme- und Strombedarf	12
2.2.7. R1 Faktor	12
2.2.8. Besonderheiten	14
2.2.9. Berechnungstool	15
2.2.10. Eingabebblatt	15
2.2.11. Vorgehen	15
3. Resultate und Vergleich	17
3.1. Resultate und Vergleich aller berechneten Schweizer KVA	17
3.1.1. Beteiligung der Anlagen	17
3.1.2. Heizwert und Kesselwirkungsgrad	18
3.1.3. Energienutzungsgrad nach EnV	20
3.1.4. Spezifischer Strom- und Wärmebedarf	21
3.1.5. Spezifische Strom- und Wärmeabgabe	22
3.1.6. Wärmenutzungsgrad- und Strom – Anteile Eigenbedarf und Abgabe	23
3.1.7. R1 Faktor	25
4. Schlussfolgerungen und Zusammenfassung	26
4.1. Einschätzung der Resultate	26
4.1.1. Genauigkeit der Berechnung und Fehlerabschätzung	26
4.1.2. Genauigkeit der Datenerhebung	26
4.1.3. Unterschiede aufgrund unterschiedlicher Anlagenkonfigurationen	27
4.1.4. Wärmenutzungspotential	27
4.1.5. Vergleich mit den Betreiber-Angaben für die Fernwärmestatistik	27
4.2. Empfehlungen für die nächste Projektphase	28
4.2.1. Zukünftige Datenerhebung und –Administration	28
4.2.2. Zusammenführung verschiedener Datenerhebungen	28
4.2.3. Überlegungen zu Messprogrammen	28
5. Literaturverzeichnis	29
6. Anhang	30

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Allgemeine Systemgrenze KVA mit KEV- Einspeisepunkt (nach Netto- Prinzip).....	9
Abbildung 2: Minimaler Gesamtenergienutzungsgrad nach EnV.....	12
Abbildung 3: Systemgrenze R1.....	13
Abbildung 4: Eingabeblatt (nur ein Auszug).....	15
Abbildung 5: Berechnung Kesselwirkungsgrad.....	16
Abbildung 6: Resultate	16
Abbildung 7: Berechnete Heizwerte der im Projekt betrachteten Anlagen und Mittelwert.....	18
Abbildung 8: Berechnete Kesselwirkungsgrade der im Projekt betrachteten Anlagen und Mittelwert	19
Abbildung 9: Berechnete Energienutzungsgrade der im Projekt betrachteten Anlagen	20
Abbildung 10: Spezifischer Strombedarf der im Projekt betrachteten Anlagen (in Bezug auf t_{Abfall} sowie MWh_{Input})	21
Abbildung 11: Spezifischer Wärmebedarf der im Projekt betrachteten Anlagen (in Bezug auf t_{Abfall} sowie MWh_{Input}).....	22
Abbildung 12: Wärmenutzungsgrad der im Projekt betrachteten Anlagen mit Darstellung der Anteile Eigenverbrauch und Export.....	23
Abbildung 13: Stromnutzungsgrad der im Projekt betrachteten Anlagen mit Darstellung der Anteile Eigenverbrauch und Export.....	24
Abbildung 14: Berechnete R1- Faktoren der im Projekt betrachteten Anlagen.....	25

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage und Ziele

Die Berechnung der energetischen Kennzahlen der Schweizer KVA einschliesslich des Heizwertes des jeweils verbrannten Abfalls mit derselben einheitlichen und standardisierten Berechnungsmethode soll vorrangig die Vergleichbarkeit der Anlagen untereinander gewährleisten.

Das Projekt der einheitlichen Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA hat das Ziel, den Anlagebetreibern eine verlässliche Aussage zu liefern, wie effizient ihre Anlagen die im Abfall enthaltene Energie umwandelt. Dem Anlagebetreiber soll gezeigt werden, wie effizient seine Anlage betrieben wird und ob sie den Nachweis als Verwerter erbringt.

Durch die Vereinheitlichung der Systemgrenzen und der Berechnungsart werden die Voraussetzungen für die Vergleichbarkeit der Anlagen (die mit dieser Methode berechnet werden) geschaffen.

Ein wichtiges Zwischenresultat der Berechnung ist der Heizwert des Abfalls. Weiter werden die Anlagenwirkungsgrade bezüglich Strom und Wärme nach Energieverordnung (EnV) ermittelt sowie der R1 Faktor nach Abfallrahmenrichtlinie bestimmt, der eine Einordnung der Anlagen in Hinblick auf europäische Vorgaben erlaubt. Ausserdem werden den Anlagebetreibern die Hilfsmittel gegeben, die Berechnungen für weitere Jahre selbst durchführen zu können. Somit wird gleichzeitig die vereinfachte Erfassung der Daten für öffentliche Ämter der Kantone und des Bundes (BAFU, BFE) ermöglicht.

1.2. Beteiligung der Anlagen

Das Angebot wurde von den Anlagebetreibern fast ausschliesslich positiv aufgenommen. Nach Abschluss aller Berechnungen werden sich voraussichtlich 26 der 30 Schweizer KVA am Projekt beteiligt haben (Details siehe 3.1.1).

1.3. Projektorganisation

Der Lenkungsausschuss für dieses Projekt hat sich einerseits aus den Vertretern der beiden Auftraggeber, Michael Hügi (BAFU) und Daniel Binggeli (BFE), sowie dem Geschäftsführer des VBSA, Peter Steiner, zusammengesetzt.

2. Vorgehen und Methodik

2.1. Vorgehen im Projekt

Mit den Anlagenbetreibern wurde jeweils Kontakt aufgenommen und bei einem Vor-Ort-Termin die Anlagenkonfiguration abgefragt. Um die für die Berechnung nötigen Kennzahlen zu sammeln, wurde von den Betreibern ein vorgegebenes Datenerfassungsblatt ausgefüllt.

Es folgte die Berechnung des jeweiligen Heizwerts des verbrannten Kehrichts, des Energienutzungsgrades sowie des R1 Faktors und im Anschluss die Plausibilisierung der Ergebnisse durch eine externe Stelle.

Falls notwendig wurde die Datenlage in Absprache mit den Betreibern ergänzt. Die Berechnungen wurden bei Bedarf bereinigt und aktualisiert.

Im gleichen Schritt wie die Berechnung erfolgte die Entwicklung eines anlagenspezifischen Eingabeblatts auf Excel-Basis, mit dem die Datenerfassung und Berechnungen der Folgejahre einfach und durch den Anlagenbetreiber selbst ausgeführt werden können.

Im Rahmen einer Präsentation wurden die Resultate der jeweiligen Anlage, Schlussfolgerungen daraus sowie das Eingabeblatt dem Anlagebetreiber vorgestellt und besprochen.

Der Betreiber erhält einen erläuternden Kurzbericht mit den detaillierten Resultaten seiner eigenen Anlage sowie den vorliegenden Schlussbericht mit dem Vergleich aller berechneten Anlagen.

2.2. Berechnungsmethodik

2.2.1. Überblick

Ziel dieser Bilanzierung ist es, folgende Kennzahlen der jeweiligen Anlagen zu ermitteln:

- Heizwert des verbrannten Materials H_u
- Kesselwirkungsgrad η_b
- Stromnutzungsgrad
- Wärmenutzungsgrad
- Kennzahl R1 zur energetischen Anlagenutzung nach europäischen Richtlinien (AbfRRL [4], EUGH C458/00 Rz. 34 [3] und BREF/BAT [7])
- weitere spezifische Kennzahlen für den Vergleich der Anlagen untereinander

2.2.2. Verwendete Daten

Es wurde die Kennzahlen für jeweils einen Betrachtungszeitraum von einem Jahr, meist 01.01. – 31.12.2009, ermittelt. Hierfür wurden die Jahresmittel bzw. –summen der Betriebsdaten des Betrachtungszeitraums verwendet. In Einzelfällen wurde wegen eines Neu- oder Umbaus der Anlage ein Betrachtungszeitraum kürzer als 1 Jahr oder das Jahr 2010 gewählt (Weinfelden, Giubiasco, Fribourg, siehe auch 3.1.1). In

2 Fällen liegt der Betrachtungszeitraum von Sommer bis Sommer (Niederurnen) bzw. Herbst bis Herbst (La Chaux-de-Fonds), da dies dem Bilanzjahr der Anlage entspricht.

2.2.3. Systemgrenzen

Um eine vergleichbare Berechnung sicherstellen zu können, wurden als Erstes die Systemgrenzen für alle Berechnungen definiert. Wie Abb.1 zeigt, liegt diese Grenze rund um die Anlage, schliesst also sowohl die Verbrennung und die Energieumwandlung als auch sämtliche nachgeschalteten Prozesse mit ein.

Die Energieflüsse können grob in die drei Kategorien zufließende (Abfallenergie, Hilfsbrennstoffe für die Feuerung und weitere Zusatzenergien), abfließende und intern zirkulierende Energien (Eigenbedarf) aufgeteilt werden.

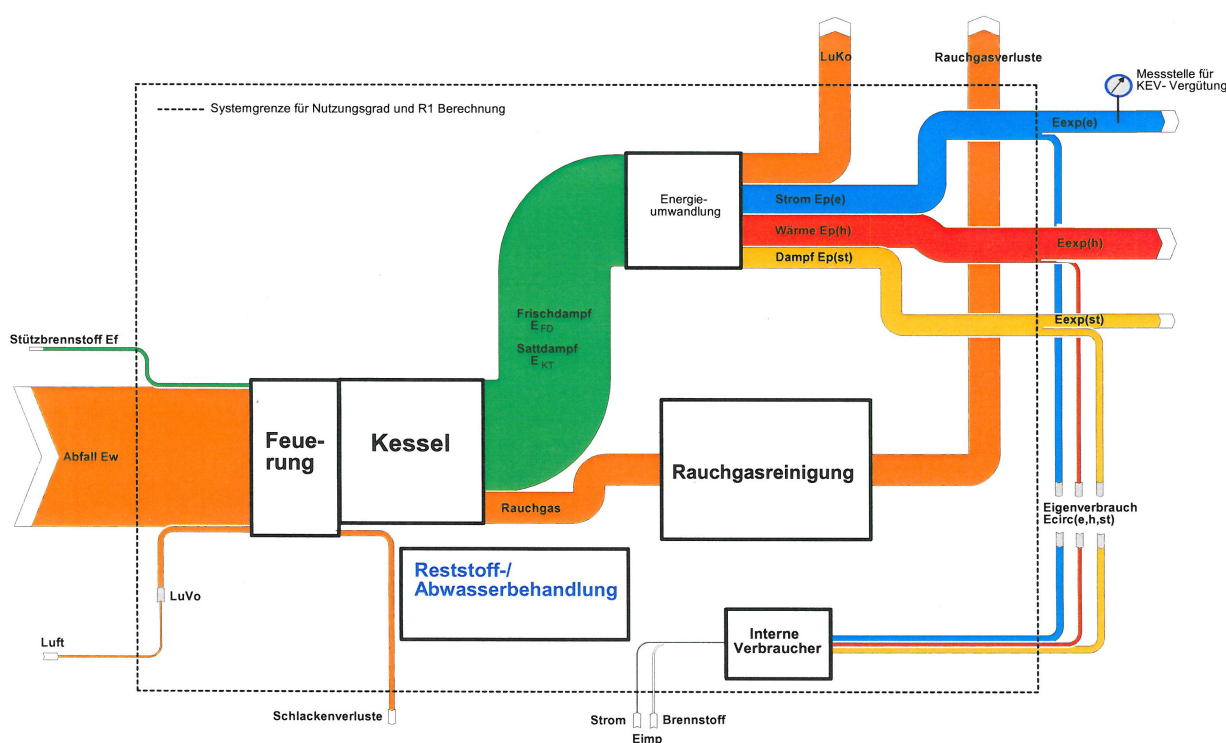


Abbildung 1: Allgemeine Systemgrenze KVA mit KEV- Einspeisepunkt (nach Netto- Prinzip)

2.2.4. Hu-Formel

Zur Bestimmung des Heizwertes des verbrannten Abfalls (H_u) wird das H_u -Berechnungsmodell nach BREF verwendet. Dieser Methode liegt folgende Formel zugrunde:

$$Hu = (1.133 * \frac{E_{FD} + E_{KT} \pm E_K}{m_W} + 0.008 * T_b) / 1.085$$

Als Eingangsgrössen werden alle Energieströme berücksichtigt, welche es erlauben, die für die Dampfproduktion massgebende Energiemenge zu quantifizieren:

- Dampferzeugende Brennstoffe (Abfall und fossile Stützbrennstoffe, welche in die Brennkammer eingedüst werden)
- Rückgeführte Energien in den Brennraum (Dampferwärmte Verbrennungsluft, Rezirkulation von Rauchgasen) sowie Wärmeabführung durch Rostkühlung
- Produzierte Dampfmenge (inklusive evtl. bereits vor dem Messpunkt entnommener Mengen Satt-dampf aus der Kesseltrommel)

In der Formel bedeuten:

H_u Heizwert für den jeweiligen Brennstoff [GJ/t]

E_{FD} Energie des Frischdampfes [GJ] (Δ zum Speisewasser)

E_{KT} Energie des Sattdampfes aus der Kesseltrommel vor der Dampfmengenzählung [GJ] (Δ zum Speisewasser)

m_w Gesamte verbrannte Abfallmenge [t]

T_b Rauchgastemperaturdifferenz nach Kessel [°C] bezogen auf 10°C

0.008 Spez. Energieinhalt im Rauchgas bei ϕ 5.7 Nm³Rauchgas/kg_{Abfall} (bei Abweichungen grösser +/- 10% wird dieser Wert angepasst) [GJ/t*K]

E_k Summe weiterer Energieströme (Korrekturterm) [GJ]

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

Die H_u -Berechnungsmethode sollte nur für bestehende Anlagen und nicht als Dimensionierungsgrundlage neuer Anlagen Anwendung finden. Die Formel gilt für eine Bandbreite von 4-12 % O₂ im Rauchgas, sofern die Anlage für eine O₂-Bandbreite von üblicherweise 7-9 % ausgelegt worden ist.

Korrekturterm E_k = Summe der untenstehenden Energieströme (Beispiele)

Energieströme	+	-	Bemerkung
Energie für die Luftvorwärmung		E_{LUVO}	zusätzlicher Energieeintrag in den Brennraum
Rostkühlung	E_{RK}		Energie, die durch Abfall bereitgestellt wird
Dampf für Ammoniakindüsung in Brennraum oder Rohgas		E_{SNCR} / E_{SCR}	zusätzlicher Energieeintrag
Ammoniakwasser vor Kesselende bzw. externem Eco		E_{SNCR}	durch ΔT Input – Kesselende meist negativer Wert, d.h. Energie, die durch Abfall bereitgestellt wird

Wassereindüsung in den Brennraum		E_{WE}	durch ΔT Input – Kesselende meist negativer Wert, d.h. Energie, die durch Abfall bereitgestellt wird
Kesselreinigung mit Wasser		E_{KR}	durch ΔT Input – Kesselende meist negativer Wert, d.h. Energie, die durch Abfall bereitgestellt wird
Stützbrennstoff		E_F	zusätzlicher Energieeintrag in den Brennraum; Brennstoffe für den Anfahrbetrieb werden zu 50% als dampfproduzierend = E_F betrachtet

Energieströme in den Kessel, bei deren Berechnung die Temperatur am Kesselende nicht berücksichtigt wird, müssen mit dem Kesselwirkungsgrad multipliziert werden, um Doppelzählungen beim Rauchgasverlust zu vermeiden.

Um den Kesselwirkungsgrad η_b zu ermitteln, wird eine iterative Methode in (mindestens) drei Schritten genutzt:

1. H_u -Berechnung mit einem angenommenen Kesselwirkungsgrad von 80%
2. Berechnung effektiver Kesselwirkungsgrad, indem das Verhältnis der gesamten produzierten Dampfmenge durch die Summe der Energien aus Abfall, Stützfeuerung und weiteren Energieinputs gebildet wird
3. zweite H_u -Berechnung mit ermitteltem Kesselwirkungsgrad
4. neue Iteration (Schritt 2), falls erforderlich

Der errechnete Heizwert H_u stellt den Heizwert des gesamten Inputs einschliesslich evtl. spezifischer Fraktionen dar (Mischheizwert).

2.2.5. Wärme- / Stromnutzungsgrad nach EnV

Die Energieverordnung (EnV) [8] sieht die Einordnung der Kehrrechtverbrennungsanlagen über den Wärmesowie den Stromnutzungsgrad vor. Es ist die Gesamtenergieeffizienz definiert, die überschritten werden muss, um von der Einspeisevergütung profitieren zu können.

Zwei Formeln geben Auskunft über den Strom- bzw. Wärmennutzungsgrad:

$$\text{Stromnutzungsgrad} = \frac{Ep_e}{(E_W + E_F)} * 100 [\%]$$

$$\text{Wärmennutzungsgrad} = \frac{Ep_{h,st}}{(E_W + E_F)} * 100 [\%]$$

Die Werte werden auf einem Diagramm eingezeichnet, auf dem eine Gerade definiert ist. Die Gerade schneidet die Ordinate (für den Wärmenutzungsgrad) bei 65% und die Abszisse (für den Stromnutzungsgrad) bei 25%. Gemäss EnV muss der Energienutzungsgrad der Anlage diese Gerade überschreiten, um Fördermittel aus dem KEV-Fonds zu erhalten.

Erreicht z.B. eine Anlage ohne Stromproduktion einen Wärmenutzungsgrad von 65%, so erfüllt sie ein (erstes) Kriterium um die Einspeisevergütung zu erhalten.

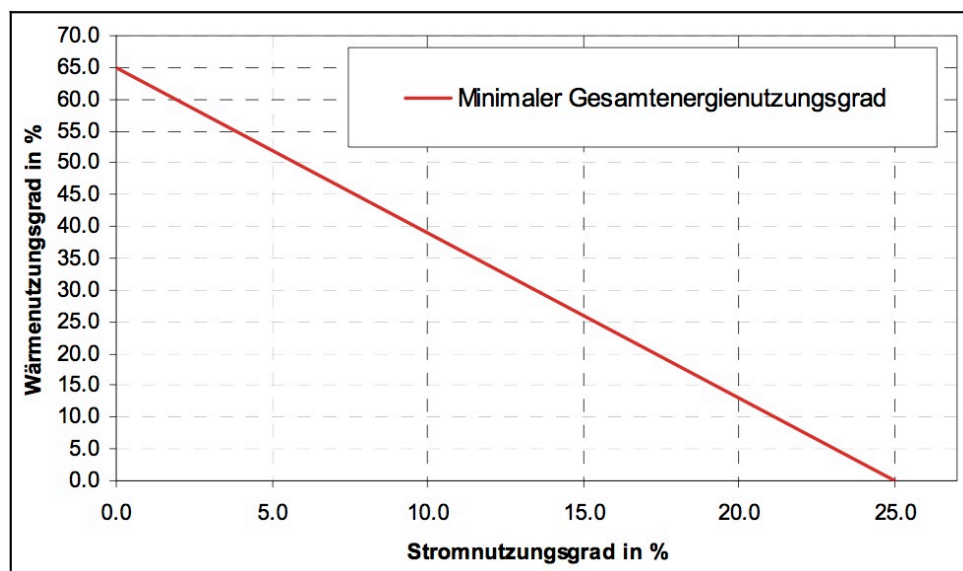


Abbildung 2: Minimaler Gesamtenergienutzungsgrad nach EnV

2.2.6. Spezifischer Wärme- und Strombedarf

Der spezifische Wärmebedarf gibt an, wie viel Wärme der Entsorgungsprozess pro Tonne verbrannter Abfall bzw. pro MWh Energieinput in die Verbrennung benötigt. Als Vergleichswert mit anderen Anlagen und im Jahresvergleich der eigenen Anlage zeigt er auf, wie effizient die Anlage im Wärmebereich betrieben wurde.

Analog zum oben beschriebenen spezifischen Wärmebedarf bezeichnet der spezifische Strombedarf die Strommenge, welche für die Entsorgung benötigt wird (bezogen auf eine Tonne verbrannter Abfall bzw. pro MWh Energieinput in die Verbrennung). Dieser Wert kann ebenfalls für Vergleiche sowie für Optimierungsüberlegungen herangezogen werden.

2.2.7. R1 Faktor

2.2.7.1 Bedeutung

Der R1 Faktor ist eine Zahl, welche aufgrund politischer Diskussionen entstanden ist, jedoch auf physikalischen Grundlagen basiert.

„Verwertungsverfahren R1 - Hauptverwendung als Brennstoff oder als anderes Mittel der Energieerzeugung.“ Die Kennzahl ist entsprechend den Angaben im Referenzdokument zu den besten verfügbaren Techniken für die Abfallverbrennung zu ermitteln [7].

Im Anhang II der Novelle der Abfallrahmenrichtlinie [4] werden als Verwertungsverfahren zur Energieerzeugung (R1) die Anlagen bezeichnet, deren Wert mindestens 0.6 (Altanlagen) bzw. mindestens 0.65 (Neuanlagen) beträgt.

Der R1 Faktor dient also der Unterscheidung zwischen Anlagen, die Abfälle thermisch verwerten, und Anlagen, die diese „nur“ entsorgen.

2.2.7.2 Berechnung

R1 nach AbfRRL: Verhältnis der in der Anlage **netto produzierten Energie** (d.h. abzüglich aller **von extern zugeführten Energie**) zur gesamten für die Dampfproduktion nutzbaren Energie (aus **Abfall** und **Stützbrennstoff**), korrigiert um **Schlacken- und Abstrahlungsverluste**.

$$R1_{\text{AbfRRL}} = \frac{(E_{p,e,h,st} - (E_f + E_{\text{imp}}))}{0.97 \times (E_w + E_f)} = \frac{\text{Netto produzierte Energie}}{\text{Nutzbare Energie Dampfprod.}}$$

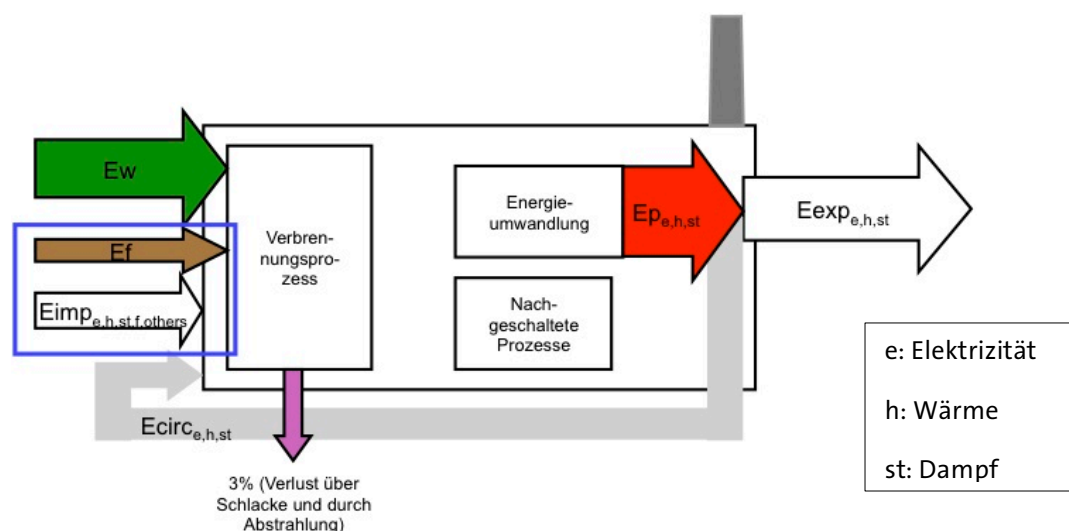


Abbildung 3: Systemgrenze R1

E_w	=	Energie aus Abfall
E_f	=	Importierte Energie zur Dampferzeugung (Stützfeuerung)
E_{imp}	=	Importierte Energie nicht dampferzeugend (RG Wiederaufwärmung,...)
E_p	=	Produzierte Energie, genutzt
E_{exp}	=	Exportierte Energie
E_{circ}	=	Eigenerzeugte Energie (intern verbraucht)

2.2.7.3 Äquivalenzfaktoren

Für die Berechnung des R1 Faktors werden Äquivalenzfaktoren verwendet, um unterschiedliche Wertigkeiten der Energien (Strom ist höherwertig als Wärme) zu berücksichtigen und vergleichbar zu machen.

Für die Berechnung werden folgende Konstanten verwendet:

- Äquivalenzfaktor für Strom: 2.6316 bzw. 2.6¹ ergeben sich unter Zugrundelegung eines externen energetischen Wirkungsgrades von 38% für ausschliessliche Stromerzeugung in thermischen Kraftwerken.
- Äquivalenzfaktoren für Heisswasser / Fernwärme: 1.0989 bzw. 1.11 ergeben sich unter Zugrundelegung eines externen energetischen Wirkungsgrades von 91% für ausschliessliche Heizwerke.

D.h. alle Energieströme werden mit den entsprechend oben aufgeführten Faktoren multipliziert. Dadurch ist es möglich, dass auch R1 Faktoren grösser eins resultieren können.

2.2.8. Besonderheiten

Folgende Besonderheiten in der Berechnung wurden im Laufe des Projekts festgelegt und bei allen Anlagen konsequent angewendet:

- Berechnung der in der Anlage räumlich getrennten Verbrennung von Kehricht und Klärschlamm als ein geschlossenes System (Drehrohröfen zur Klärschlammverbrennung KVA Oftringen und UTOVS Uvriar), da sich bei diesen die Abgrenzung der Systeme so schwierig darstellt, dass die getrennte Berechnung zu ungenau würde. Sobald die Anlagen mit ausreichend genauen Messungen an den Schnittstellen zwischen SVA und KVA ausgerüstet sind, wäre auch eine gesonderte Berechnung möglich.
- Berücksichtigung von Fernwärme, die aus anderen Anlagen als der KVA stammt (Notkessel, Gaskessel, o. ä.): Handelt es sich um lediglich kleine Mengen (Überbrückung von Ausfallzeiten mit Notölkessel, etc.) wird die gesamte Fernwärme als produzierte, exportierte Energie berücksichtigt, die Energie, die mit Hilfe des Notkessels erzeugt wurde, wird beim Wärmenutzungsgrad als Fremdenergie (E_F) berücksichtigt. Handelt es sich um kontinuierliche (parallele) Fernwärmeerzeugung mit zusätzlichen Anlagen, wird diese Energiemenge von der produzierten, exportierten Energie abgezogen und in den Berechnungen nicht berücksichtigt.
- In der Heizwertberechnung wird Energie aus Abstrahlungswärme, die in den Brennraum z. B. über Sekundärluft eingetragen wird, nicht gesondert berücksichtigt, da sie in den Faktoren der H_u -Berechnungsformel bereits enthalten ist.
- Energieeintrag über warme Luft wird erst ab einer Temperatur grösser 25°C (Referenztemperatur) berücksichtigt.
- Für die Berechnung der Rauchgasverluste wird für alle Anlagen von einer durchschnittlichen Ausstemperatur von 10°C ausgegangen.

¹ Die Werte bei der Berechnung AbfRRL (Abfall Rahmenrichtlinie) 2.6 bzw. 1.1 ergeben sich durch Auf- und Abrundung und dienen zur Vereinfachung, um in der EU-Gesetzgebung nicht mit mehrstelligen Zahlen arbeiten zu müssen.

2.2.9. Berechnungstool

2.2.10. Eingabeblatt

Für die Berechnung müssen sämtliche für die Anlage relevanten Betriebsdaten im Eingabeblatt eingetragen werden. Diese werden darin automatisch ausgewertet und liefern am Ende des Blattes die Resultate, die für den Betreiber somit umgehend ersichtlich sind.

Die Felder haben unterschiedliche Farben, welche folgende Bedeutung haben:

- Gelbe Felder: Durch den Betreiber jährlich auszufüllende Betriebsdaten.
- Grüne Felder: Durch den Betreiber zu kontrollierende Felder (normalerweise stabil).
- Blaue Felder: Aufgrund der gelben Felder berechnete Werte.
- Hellblaue Felder: Messstellenbezeichnung der jeweiligen Betriebsdaten (als Hilfestellung für den Betreiber beim Ausfüllen).

Hu- und Effizienzberechnung

Gelbe Felder sind durch den Betreiber auszufüllen		Anlage	KHKW
Grüne Felder sind durch den Betreiber zu kontrollieren		Eigentümer	
Blaue Felder sind berechnete Werte		Anschrift	
Hellblaue Felder sind Messstellen der jeweiligen Werte		Ansprechpartner	
		Telefon	
		Fax	
		E-mail	
		Messstelle	Einheit
Bilanzzeitraum		Wert	Wert
Art der Energienutzung		2009	2010
		WKK	WKK
Anzahl Linien:		2	2
Betriebsstunden Linie 1		[h/a]	8'050
Betriebsstunden Linie 2		[h/a]	0
Betriebsstunden Turbine		[h/a]	
Verbrannter Abfall		Abfallmenge	[t/a]
		Davon spezieller Abfall (Klärschlamm,...)	[t/a]
Mittlere Temperatur im Rauchgas nach Kessel:		[°C]	200
Linie 1		Rauchgastemperatur nach Kessel 1	[°C]
Linie 2		Rauchgastemperatur nach Kessel 2	[°C]

Abbildung 4: Eingabeblatt (nur ein Auszug)

2.2.11. Vorgehen

Als erstes müssen sämtliche gelben Felder durch den Betreiber ausgefüllt werden.

Ein Makro (Quelle: www.x-eng.com) berechnet aufgrund der Dampf- und Wasserparameter sämtliche Enthalpien.

Weiter wird ein Heizwert ermittelt. Einige Faktoren in der Heizwertformel werden mit dem Kesselwirkungsgrad multipliziert. Da der Kesselwirkungsgrad wiederum vom Heizwert abhängig ist, ist hierfür ein iteratives Vorgehen erforderlich.

Als erste Annahme wird im gelben Feld in Zeile 175 gemäss Abb. 5 ein Wert von 80% eingesetzt. Daraus errechnet sich ein bestimmter Heizwert in Zeile 179. Aufgrund dieses Wertes wird der Kesselwirkungsgrad

in Zeile 181 berechnet. Falls sich diese Zahl von derjenigen in Zeile 175 unterscheidet, muss der Wert aus Zeile 181 in das gelbe Feld eingetragen werden. Dies wiederholt man bis beide Felder den selben Wert aufweisen. Dies ist normalerweise nicht mehr als zweimal notwendig.

175	Kesselwirkungsgrad eingesetzt:		82.5%	82.0%	82.7%	82.6%	82.4%
176	(Als Anfangswert 80% einsetzen und anschliessend immer wieder den Wert aus Zeile F181 einsetzen, bis sich dieser nicht mehr ändert.)						
177							
178	Resultate:						
179	Heizwert nach Reimann:	[GJ/t]	12.870	12.637	12.879	12.752	13.006
180							
181	Kesselwirkungsgrad gerechnet:		82.5%	81.9%	82.9%	83.1%	82.3%

Abbildung 5: Berechnung Kesselwirkungsgrad

Sobald diese Werte stabil sind, ändern sich die weiteren Resultate ebenfalls nicht mehr. Die folgende Abbildung zeigt die Tabelle mit den Resultaten.

178	Resultate:						
179	Heizwert nach Reimann:	[GJ/t]	12.870	12.637	12.879	12.752	13.006
180							
181	Kesselwirkungsgrad gerechnet:		82.5%	81.9%	82.9%	83.1%	82.3%
182							
183	R1 nach AbfRRL: Zielwert 0.6 für bestehende Anlagen und 0.65 für Neuanlagen	[]	0.77	1.05	0.67	0.80	0.87
184							
185	Nutzungsgrad KVA XY: Punkt in Diagramm muss Kurve Nutzungsgrad überschreiten						
186	Wärmenutzungsgrad nach EnV:		35.1%	48.5%	41.9%	36.4%	46.6%
187	Stromnutzungsgrad nach EnV:		14.0%	19.0%	7.6%	14.8%	13.1%
188							
189	Energieinput in Kessel	[MWh/a]	357'495	315'918	393'514	371'921	343'224
190							
191	Wärmebedarf:	[MWh/a]	15'305	15'283	14'879	15'517	14'883
192	Spezifischer Wärmebedarf:	[MWh/t _{abst}]	0.153	0.170	0.135	0.148	0.157
193	Spezifischer Wärmebedarf:	[MWh/MWh _{requ}]	0.043	0.048	0.038	0.042	0.043
194							
195	Strombedarf:	[MWh/a]	10'000	10'500	10'100	9'800	11'000
196	Spezifischer Strombedarf:	[MWh/t _{abst}]	0.100	0.117	0.092	0.093	0.116
197	Spezifischer Strombedarf:	[MWh/MWh _{requ}]	0.028	0.033	0.026	0.026	0.032
198							
199	Fremdenergiebedarf:	[MWh/a]	1'203	1'173	1'126	1'267	1'107
200	Spezifischer Fremdenergiebedarf:	[MWh/t _{abst}]	0.012	0.013	0.010	0.012	0.012
201	Spezifischer Fremdenergiebedarf:	[MWh/MWh _{requ}]	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003
202							
203	Wärmeabgabe:	[MWh/a]	110'000	138'000	150'000	120'000	145'000
204	Spezifische Wärmeabgabe:	[MWh/t _{abst}]	1.100	1.533	1.364	1.143	1.526
205	Spezifische Wärmeabgabe:	[MWh/MWh _{requ}]	0.308	0.437	0.381	0.323	0.422
206							
207	Stromabgabe:	[MWh/a]	40'000	45'000	35'000	42'000	50'000
208	Spezifische Stromabgabe:	[MWh/t _{abst}]	0.400	0.500	0.318	0.400	0.526
209	Spezifische Stromabgabe:	[MWh/MWh _{requ}]	0.112	0.142	0.089	0.113	0.146

Abbildung 6: Resultate

Ebenfalls wird im Blatt „Energienutzungsgradkurve“ der Strom- und Wärmenutzungsgrad des jeweiligen Betrachtungszeitraumes dargestellt.

Weiter kann aus den Daten für jede Anlage ein Energieflussdiagramm (sog. Sankey) des gewünschten Betriebsjahr erzeugt werden. Sämtliche Sankey-Diagramme der berechneten Anlagen finden sich im Anhang.

3. Resultate und Vergleich

3.1. Resultate und Vergleich aller berechneten Schweizer KVA

3.1.1. Beteiligung der Anlagen

Im Vergleich dargestellt sind die Anlagen, deren Kennzahlen im Rahmen diese Projekts berechnet wurden (24 Stück). Sämtliche Resultate der Berechnungen finden sich in Tabellenform im Anhang und sind aus den folgenden Abbildungen ersichtlich.

Die Resultate der folgenden Anlagen liegen momentan noch nicht vor:

- KVA Winterthur: die Berechnung erfolgt nach Abschluss der Erneuerung
- KVA Bazenheid: die Berechnung soll erst ab dem Jahr 2010 durchgeführt werden.

Die Anlage ICTR Giubiasco ist erst seit Anfang 2010 in Regelbetrieb, weshalb für die Berechnung die Betriebsdaten 2010 herangezogen wurden.

Die UIOM Fribourg wurde bis Mitte 2010 umgebaut (Errichtung einer unabhängigen Rauchgasreinigung für die Schlammverbrennungsanlage), weshalb für die Berechnung die Betriebsdaten der zweiten Jahreshälfte 2010 herangezogen wurden.

In der KVA Weinfelden wurde im Laufe des Jahres 2009 die Turbine ersetzt, weshalb für die Berechnung nicht das gesamte Betriebsjahr 2009 betrachtet wurde.

Die folgenden Anlagen haben am Projekt nicht teilgenommen:

- KVA Luzern
- KVA Biel
- KVA Gamsen
- KVA Horgen

Den Bundesämtern für Energie und Umwelt liegen für diese vier Anlagen folglich nur die von den Betreibern selbst ermittelten Angaben zu Energieinput, Strom- und Wärmeproduktion vor.

3.1.2. Heizwert und Kesselwirkungsgrad

Für die 24 betrachteten Anlagen wurden Heizwerte zwischen minimal 9.32 GJ/t und maximal 13.51 GJ/t ermittelt, der Mittelwert liegt bei 11.56 GJ/t (siehe auch Abbildung 7).

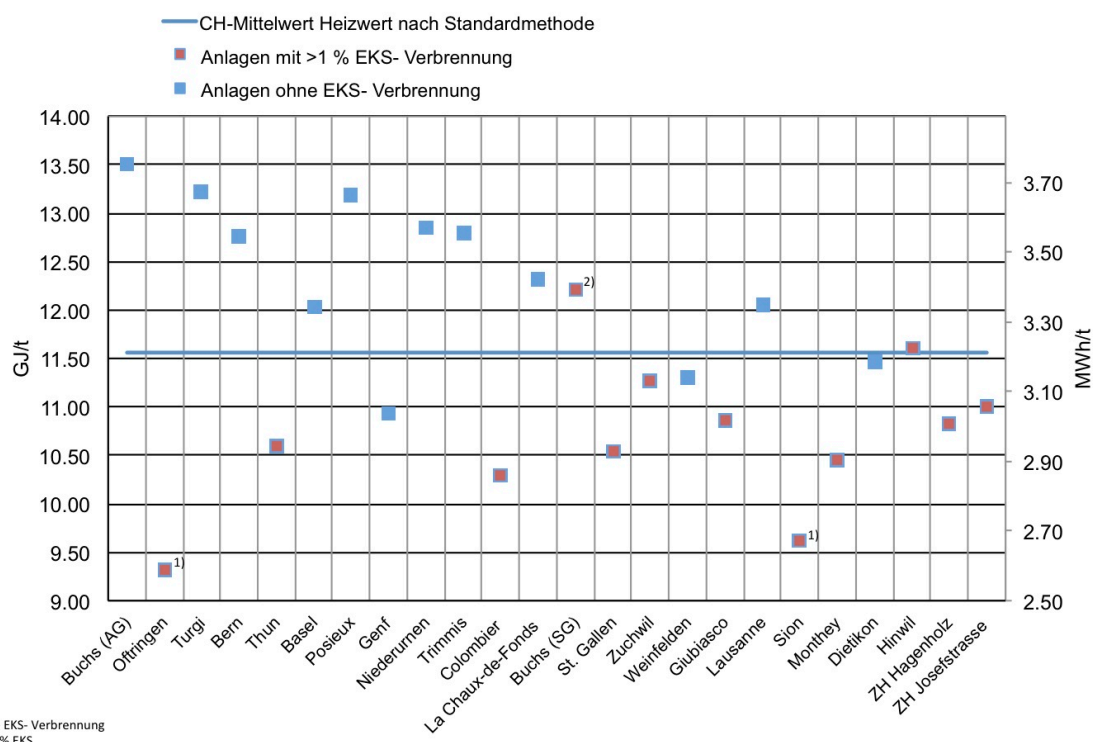


Abbildung 7: Berechnete Heizwerte der im Projekt betrachteten Anlagen und Mittelwert

Es ist zu beachten, dass der berechnete Heizwert jeweils den Mischheizwert aller verbrannten Fraktionen darstellt. Unterschiede im Heizwert entstehen also auch dadurch, dass spezifische Fraktionen wie entwässerter Klärschlamm (niedriger Heizwert) oder Industrie- und Gewerbeabfall (eher hoher Heizwert) mitverbrannt werden und somit Einfluss auf den Mischheizwert des gesamten verbrannten Abfalls haben.

Die ermittelten Kesselwirkungsgrade liegen zwischen minimal 76.4% und maximal 87.7%, der Mittelwert bei 82.8% (siehe auch Abbildung 8).

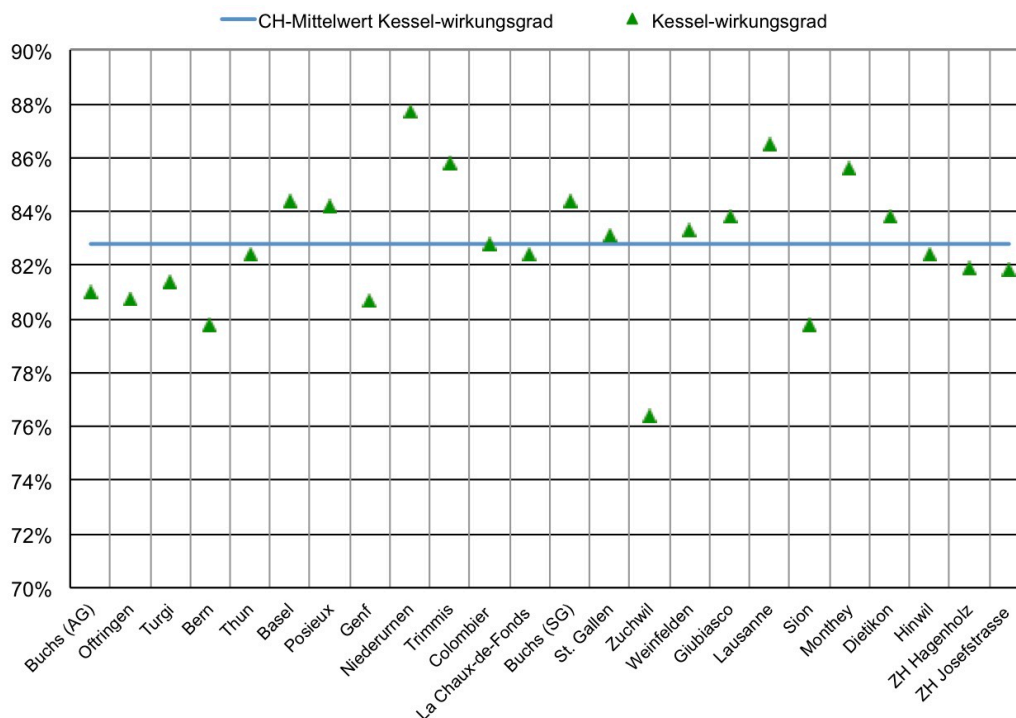


Abbildung 8: Berechnete Kesselwirkungsgrade der im Projekt betrachteten Anlagen und Mittelwert

3.1.3. Energienutzungsgrad nach EnV

Für die 24 betrachteten Anlagen wurden Wärmenutzungsgrade zwischen minimal 4.1% und maximal 64.8% ermittelt, der Mittelwert liegt bei 25.1% (siehe auch Abbildung 9).

Die ermittelten Stromnutzungsgrade liegen zwischen minimal 8.0% und maximal 23.0%, der Mittelwert bei 16.5% (siehe auch Abbildung 9).

Es gibt sowohl Anlagen, die einen hohen Wärmenutzungsgrad bei gleichzeitig niedrigem Stromnutzungsgrad als auch Anlagen, die einen hohen Stromnutzungsgrad bei gleichzeitig niedrigem Wärmenutzungsgrad aufweisen, sowie Anlagen, die bei beiden Werten im mittleren Bereich liegen.

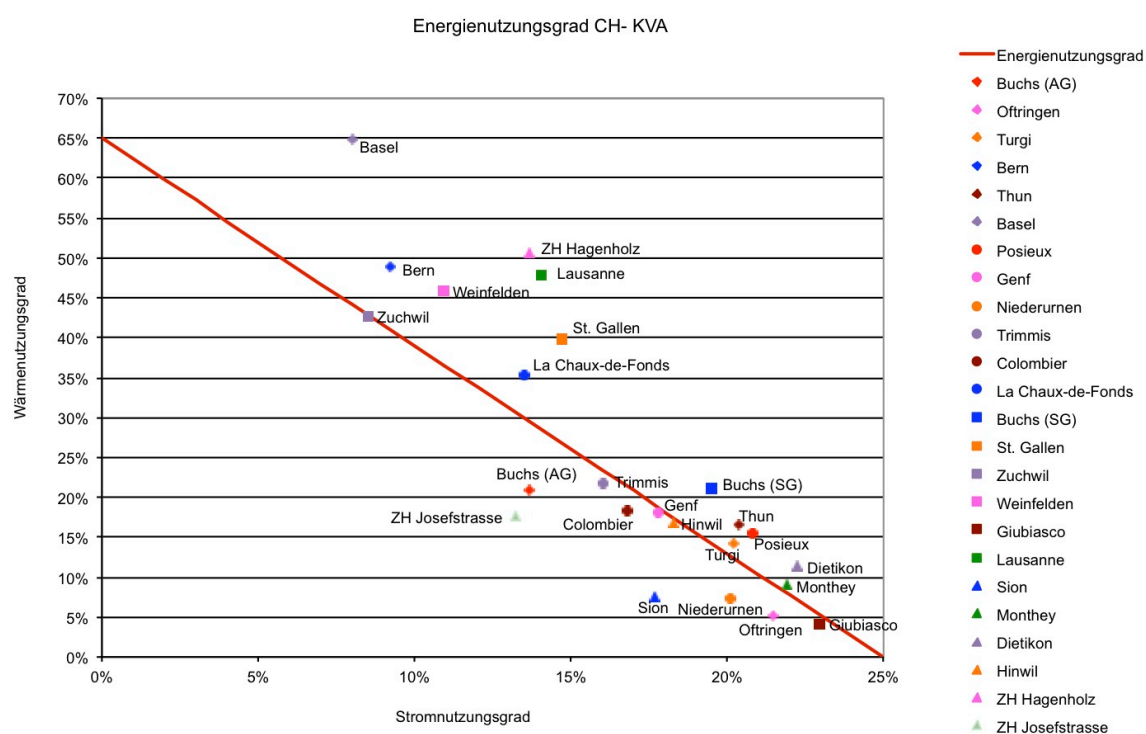


Abbildung 9: Berechnete Energienutzungsgrade der im Projekt betrachteten Anlagen

Insgesamt liegen 13 der betrachteten 24 Anlagen über der von der Energieverordnung vorgegebenen Nutzungsgradkurve, 11 darunter.

3.1.4. Spezifischer Strom- und Wärmebedarf

Der spezifische Eigenbedarf der Anlagen an Strom- sowie Wärme wurde jeweils sowohl in Bezug auf Tonnen Abfall als auch auf MWh Input (aus Abfall und ggf. Fremdenergie) betrachtet.

Der spezifische Strombedarf liegt zwischen minimal 0.093 bis maximal 0.209 MWh/t_{Abfall}, im Mittel liegt er bei 0.132 MWh/t_{Abfall}. In Bezug auf die Inputenergie liegt er zwischen minimal 0.033 bis maximal 0.061 MWh/MWh_{Input}, im Mittel liegt er bei 0.041 MWh/MWh_{Input}.

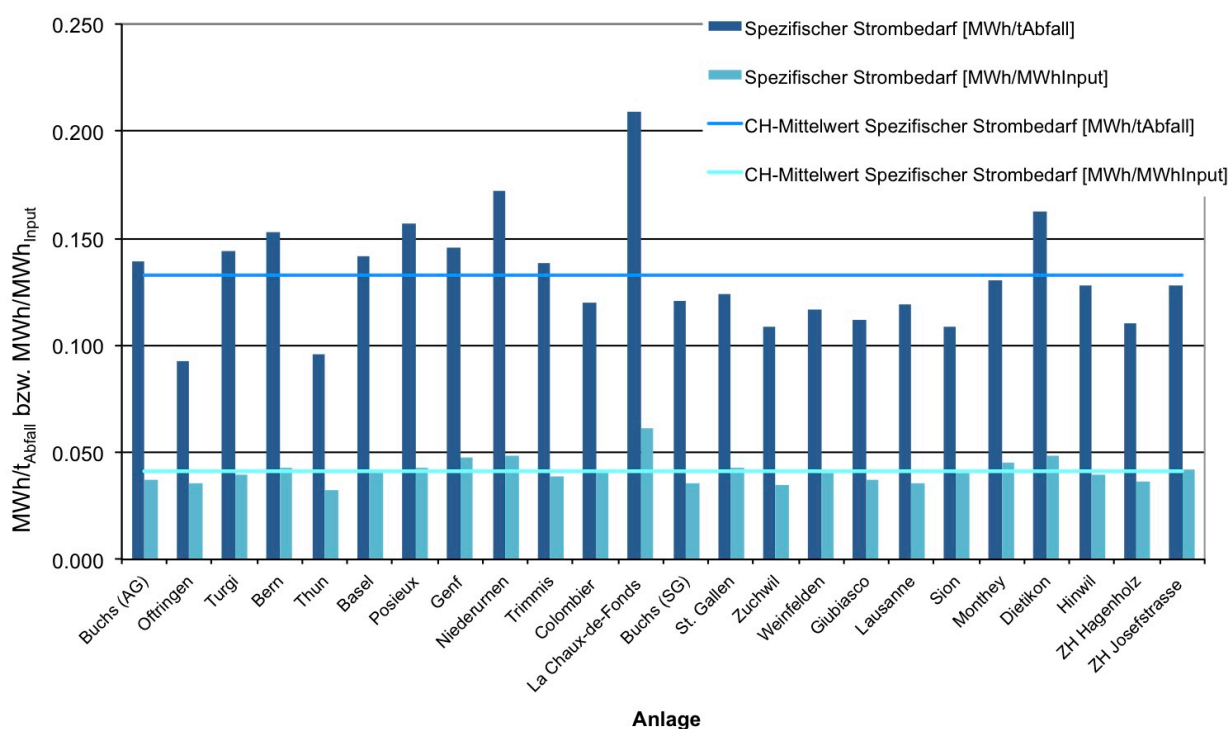


Abbildung 10: Spezifischer Strombedarf der im Projekt betrachteten Anlagen (in Bezug auf t_{Abfall} sowie MWh_{Input})

Der spezifische Wärmebedarf liegt zwischen minimal 0.023 bis maximal 0.407 MWh/t_{Abfall}, im Mittel liegt er bei 0.146 MWh/t_{Abfall}. In Bezug auf die Inputenergie liegt er zwischen minimal 0.008 bis maximal 0.126 MWh/MWh_{Input}, im Mittel liegt er bei 0.045 MWh/MWh_{Input}.

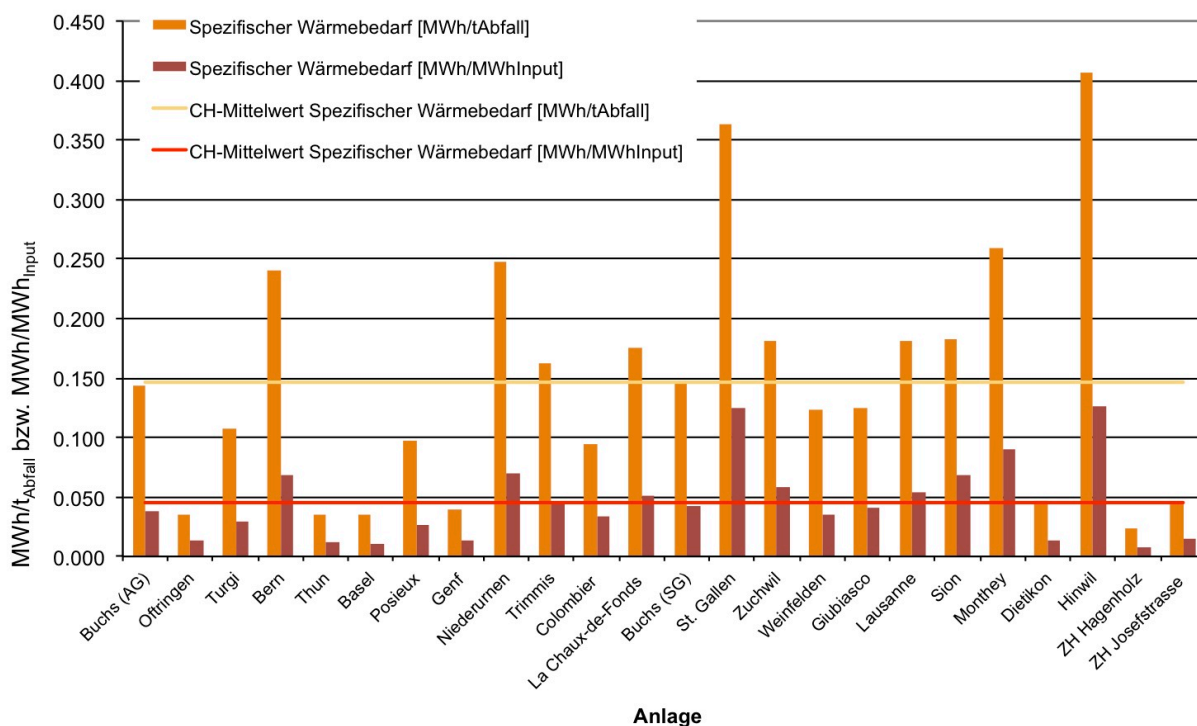


Abbildung 11: Spezifischer Wärmebedarf der im Projekt betrachteten Anlagen (in Bezug auf t_{Abfall} sowie $\text{MWh}_{\text{Input}}$)

Beim spezifischen Wärmebedarf ist zu beachten, dass dieser stark von den jeweils vorhandenen Anlagenkomponenten und deren Wärmebedarf abhängt (siehe auch 4.1).

3.1.5. Spezifische Strom- und Wärmeabgabe

Die spezifische Strom- sowie Wärmeabgabe wurden sowohl in Bezug auf Tonnen Abfall als auch auf MWh Input (aus Abfall und ggf. Fremdenergie) betrachtet.

Die spezifische Stromabgabe liegt zwischen minimal 0.131 bis maximal 0.610 $\text{MWh/t}_{\text{Abfall}}$, im Mittel liegt sie bei 0.401 $\text{MWh/t}_{\text{Abfall}}$. In Bezug auf die Inputenergie liegt sie zwischen minimal 0.039 bis maximal 0.192 $\text{MWh/MWh}_{\text{Input}}$, im Mittel liegt sie bei 0.125 $\text{MWh/MWh}_{\text{Input}}$.

Die spezifische Wärmeabgabe liegt zwischen minimal 0 bis maximal 2.135 $\text{MWh/t}_{\text{Abfall}}$, im Mittel liegt sie bei 0.671 $\text{MWh/t}_{\text{Abfall}}$. In Bezug auf die Inputenergie liegt sie zwischen minimal 0 bis maximal 0.638 $\text{MWh/MWh}_{\text{Input}}$, im Mittel liegt sie bei 0.204 $\text{MWh/MWh}_{\text{Input}}$.

Bei Anlagen, die eine Wärmeabgabe von 0 aufweisen, ist im ausgewiesenen Wärmenutzungsgrad somit lediglich der Wärmeeigenbedarf berücksichtigt.

3.1.6. Wärmenutzungsgrad- und Strom – Anteile Eigenbedarf und Abgabe

In den folgenden Abbildungen ist für jede Anlage dargestellt, welchen Anteil am Wärme- bzw. Stromnutzungsgrad jeweils der Eigenbedarf ausmacht.

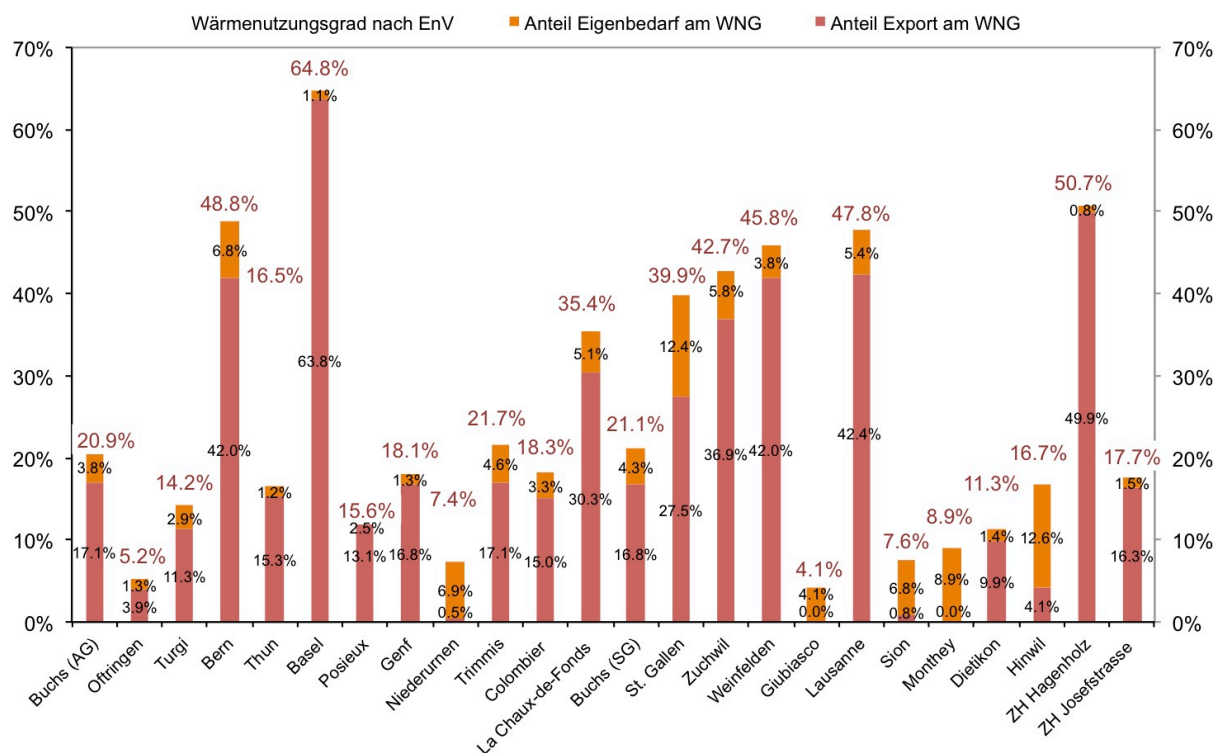


Abbildung 12: Wärmenutzungsgrad der im Projekt betrachteten Anlagen mit Darstellung der Anteile Eigenverbrauch und Export

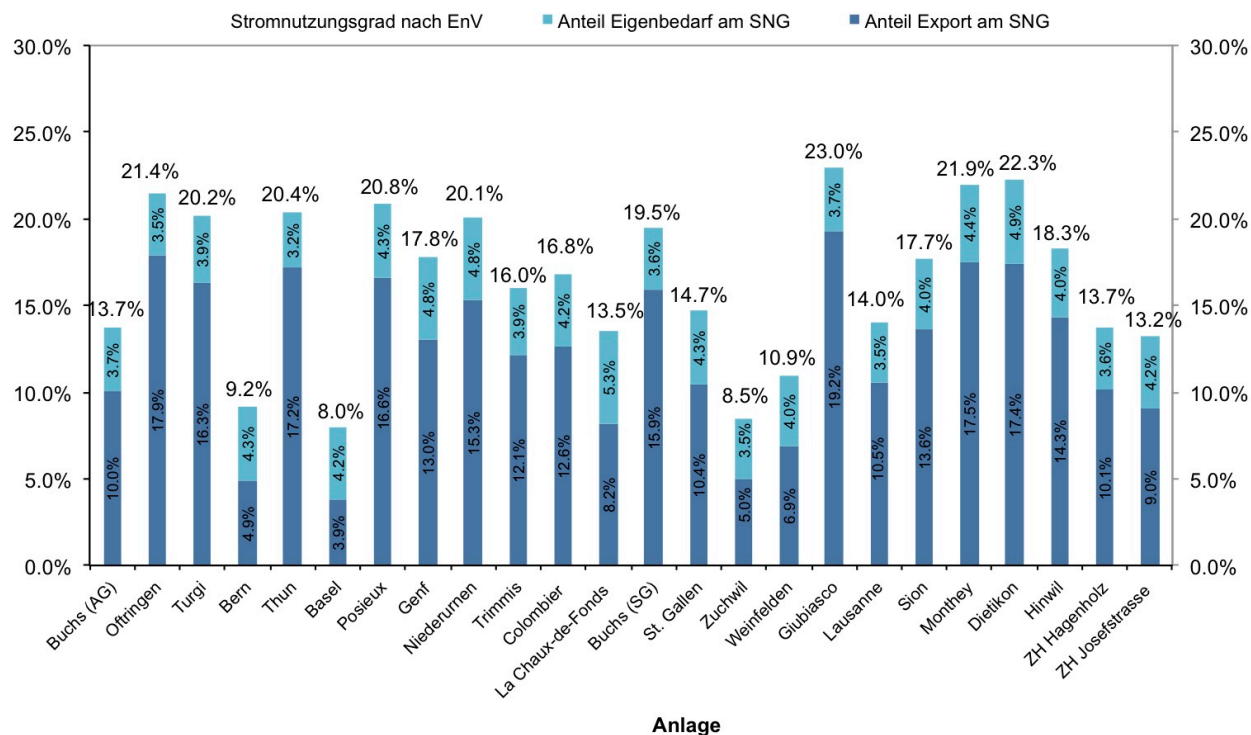


Abbildung 13: Stromnutzungsgrad der im Projekt betrachteten Anlagen mit Darstellung der Anteile Eigenverbrauch und Export

3.1.7. R1 Faktor

Für die 24 betrachteten Anlagen wurden R1-Werte zwischen minimal 0.55 und maximal 0.94 ermittelt, im Mittel liegt der R1-Wert der betrachteten Anlagen bei 0.72.

Je nach Alter der Anlage gilt es einen R1 von mindestens 0.6 für bestehende Anlagen (vor dem 01.01.2009 genehmigt) bzw. von mindestens 0.65 für Neuanlagen (nach dem 31.12.2008 genehmigt) zu erreichen, um im europäischen Raum als Verwerteranlage zu gelten.

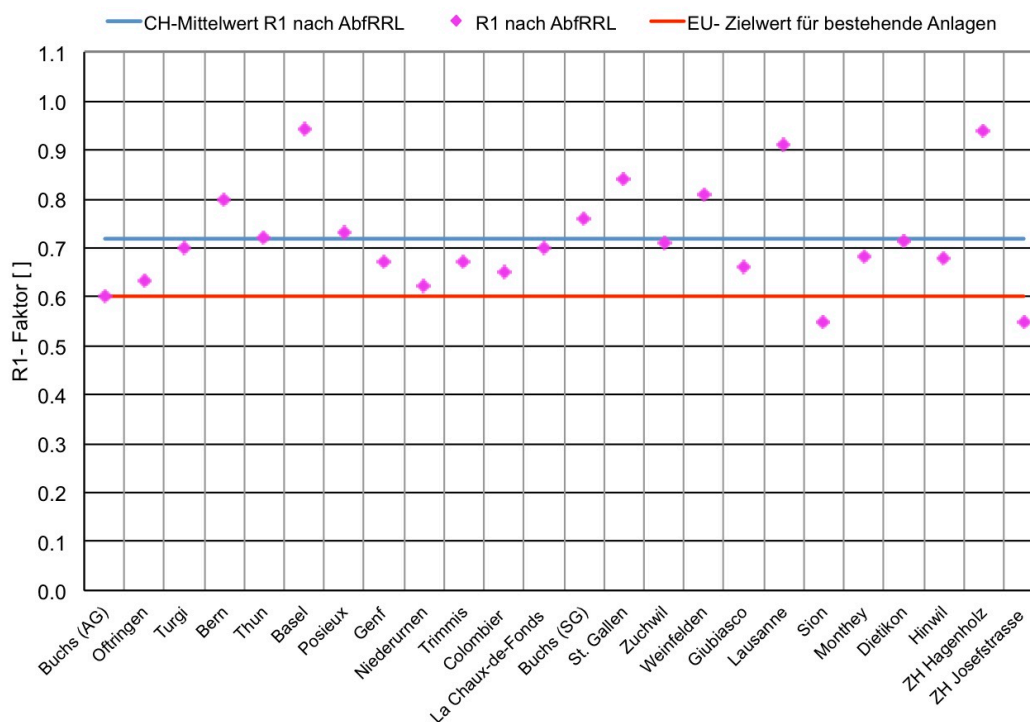


Abbildung 14: Berechnete R1- Faktoren der im Projekt betrachteten Anlagen

4. Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

4.1. Einschätzung der Resultate

4.1.1. Genauigkeit der Berechnung und Fehlerabschätzung

Obschon die Berechnungs-Formel für den Heizwert einige allgemeine Annahmen beinhaltet, hat sich bei einem Vergleich mit anderen Berechnungsmethoden gezeigt, dass die Abweichungen der Resultate unterhalb 5% liegen.

Es wurde ebenfalls untersucht, welchen Einfluss die Messungenauigkeiten der einzelnen Betriebsdaten auf die Resultate haben. Hierfür wurden folgenden Messungenauigkeiten angenommen:

- | | |
|-----------------------------------|-----------|
| • Verbrannte Kehrlichtmenge | +/- 1 % |
| • Temperatur und Druck | +/- 0.5 % |
| • Luft- und Rauchgasvolumenströme | +/- 10 % |
| • Verkaufte Energie | +/- 1 % |
| • Durchflussmessung Wasser | +/- 2 % |
| • Durchflussmessung Dampf | +/- 5 % |

Die Messwerte für die Berechnung der Maximalabweichung wurden jeweils so gesetzt, dass die grössten Veränderungen auf den Strom- und Wärmenutzungsgrad resultieren.

Bei der Betrachtung von 2 Anlagen mit deutlich unterschiedlichen Messangaben, hat sich bei einem relativ niedrigen Wärmenutzungsgrad eine Abweichung von bis zu 1.4%-Punkten, bei einem eher hohen Wärmenutzungsgrad von bis zu 5 %-Punkten ergeben (entspricht jeweils ca. 8% des Nutzungsgrads), beim Stromnutzungsgrad hat sich entsprechend eine Abweichung von bis zu 1.6 %-Punkten ergeben.

4.1.2. Genauigkeit der Datenerhebung

Wenn für gewisse Betriebsdaten keine gemessenen Jahresmittelwerte vorhanden waren, wurde auf andere Quellen zurückgegriffen, z. B. Stundenwerte (Momentanwerte oder lediglich Herstellerangaben), die mit den Jahresbetriebsstunden multipliziert wurden, oder allgemeine Annahmen für gewisse Verbräuche, was zu einer höheren Ungenauigkeit führen kann.

Die Betreiberangaben wurden in die Berechnung übernommen, ohne dass alle Werte vor Ort selbst überprüft oder gemessen wurden. Es hat sich gezeigt, dass nach der Präsentation der Berechnungsergebnisse teilweise Betriebsdaten vom Betreiber erneut hinterfragt, genauer überprüft und ggf. korrigiert wurden und somit die Berechnungen teilweise erneut angepasst werden mussten.

Über Kontrollrechnungen konnte gezeigt werden, wenn Betriebsdaten nicht plausibel waren. So kann z. B. die Energiemenge für die Rauchgas-Wiedererwärmung sowohl über die verbrauchte Dampfmenge als auch über die Rauchgasmenge und die Temperaturdifferenz berechnet werden. Sind hierbei Unstimmigkeiten aufgetreten, wurde versucht, diese zu klären. Konnten sie nicht bereinigt werden, wurde entweder auf diejenige Messung zurückgegriffen, die vom Betreiber als zuverlässiger erachtet wird oder aber der gerin-

gere Wert angesetzt, um den Eigenverbrauch und damit die genutzte Energie nicht fälschlicherweise zu hoch anzusetzen.

4.1.3. Unterschiede aufgrund unterschiedlicher Anlagenkonfigurationen

Es ist zu beachten, dass unterschiedliche Anlagenkonfigurationen vor allem den Wärmeeigenbedarf stark beeinflussen:

- SCR-Verfahren im Rohgas oder Reingas – im Reingas macht das SCR-Verfahren eine Rauchgas-Wiedererwärmung erforderlich. Hier ist zu erwähnen, dass eine mehrstufige Wiederaufwärmung mit Dampf nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik entspricht und Optimierungspotential durch möglichen Einsatz von Rauchgas-Rauchgas-Wärmetauschern besteht.
- SNCR-Verfahren (evtl. einschliesslich Stripper)
- Unterschiede, die aufgrund gesetzlicher Vorgaben nicht frei wählbar sind – z. B. Eindampfanlage, da kein aufbereitetes Abwasser eingeleitet werden darf, Mindesttemperatur des Rauchgases im Kamin, da keine Dampffahne am Kamin sichtbar sein darf, o. ä.

4.1.4. Wärmenutzungspotential

Die deutlichen Unterschiede bei der spezifischen Wärmeabgabe zeigen, dass theoretisch immer noch ein grosses Potential vorhanden ist. Es ist jedoch meist eine Frage der geografischen Lage der KVA, ob neue Wärmeabnehmer in räumlicher Nähe zur KVA vorhanden sind.

Neu sind auch Bestrebungen im Gange Niedertemperatur-Wärme auszukoppeln und zu nutzen. Dies sind jedoch oft Produktionsbetriebe (z.B. Gärtnereien) mit einem grossen Flächenbedarf, wodurch sich das Potential zur vorhandenen Wärmemenge wieder relativiert.

4.1.5. Vergleich mit den Betreiber-Angaben für die Fernwärmestatistik

Der Vergleich mit den Zahlen 2009 (resultierender Strom- und Wärmenutzungsgrad nach EnV), welche die Betreiber den Behörden (BAFU) geliefert haben, zeigt unterschiedliche Ergebnisse.

Viele Anlagen liegen bei beiden Auswertungen an der gleichen bzw. einer ähnlichen Position. Drei Anlagen können allein dadurch besser eingeordnet werden, dass bei der Berechnung im Rahmen dieses Projekts neu der Wärmeeigenverbrauch mitberücksichtigt wird. Bei einzelnen Anlagen unterscheidet sich die Einordnung deutlich, wobei nicht immer nachvollziehbar ist, worin dieser Unterschied liegt. In diesen Fällen müssten die jeweiligen unterschiedlichen Berechnungen vertieft analysiert werden.

4.2. Empfehlungen für die nächste Projektphase

4.2.1. Zukünftige Datenerhebung und –Administration

Im Interesse der Anlagenbetreiber und der zuständigen Behörden sollte unseres Erachtens nach vorrangig und möglichst bald geklärt werden, wie in Zukunft die Datenerhebung, die Plausibilisierung aber auch die Administration der Resultate erfolgen soll.

4.2.2. Zusammenführung verschiedener Datenerhebungen

Es wurde festgestellt, dass bei den Betreibern ein grosses Interesse an der Vereinfachung und vor allem Zusammenführung der verschiedenen Datenerhebungen (BAFU, BFE, kantonale Stellen, Resultate evtl. nutzbar für KVA-Charta VBSA) besteht.

4.2.3. Überlegungen zu Messprogrammen

Wie sollten in Zukunft Anlagenbetreiber ihre Betriebsdaten für die Berechnungen messen, damit die Ungenauigkeiten der Resultate verringert werden kann?

Können Messvorschriften für Betreiber eingeführt werden, deren Berechnungsergebnisse z. B. für die Kostendeckende Einspeisevergütung relevant sind?

Wäre es evtl. auch zu überlegen, ob gewisse Daten zwingend zu messen sind?

Könnte in Erwägung gezogen werden, die Fehlerabschätzung auch in der Geraden des Minimalen Gesamtenergienutzungsgrades einzubeziehen („breitere Linie“)?

5. Literaturverzeichnis

- [1] CEWEP Energy Efficiency Report (2004 – 2007), Dr. Ing. Dieter O. Reimann, 2009
(<http://www.cewep.eu/>) Stand Dezember 2010
- [2] Ermittlung und Bedeutung von Kennzahlen zur Energie- und Anlagennutzung sowie zu Wirkungsgraden für die Abfallverbrennung, Dr. Ing. Dieter O. Reimann, Müll und Abfall, 10-03
- [3] Rechtssache Nr. C-458/00 Urteile des EuGH vom 13.02.2003 zum Thema „Müllverbrennung“, <http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/downloads/doc/6772.php> Stand September 2007
- [4] AbfRRL Richtlinie 2008/11/EG,
<http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/downloads/doc/42997.php>, Stand Juni 2010,
sowie die noch bis Dez. 2010 gültige AbfRRL Richtlinie 2006/12/EG
<http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/doc/2030.php>
- [5] VDI Richtlinie 3460: Emissionsminderung, Energieumwandlung bei der thermischen Abfallbehandlung, August 2007
- [6] ÖAWV Regelblatt 519, Energetische Wirkungsgrade von Abfallverbrennungsanlagen, Wien 2010
- [7] BREF/ BAT Waste Incineration: Reference Document on Best Available Techniques for Waste Incineration (adopted August 2006)
http://ec.europa.eu/environment/ipcc/brefs/wi_bref_0806.pdf
- [8] Energieverordnung Stand 1. Januar 2011, <http://www.admin.ch/ch/d/sr/7/730.01.de.pdf>
- [9] Richtlinie kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) Art. 7a EnG Biomasse Anhang 1.5 EnV, Richtlinie Biomasse Anhang 1.5, Stand Mai 2010



6. Anhang

- Resultate-Übersicht
- Sankey-Diagramme aller Anlagen
- Anlagenschemata

Anhang – Resultate-Übersicht

Vergleichstabelle Energiekennzahlen CH- KVA

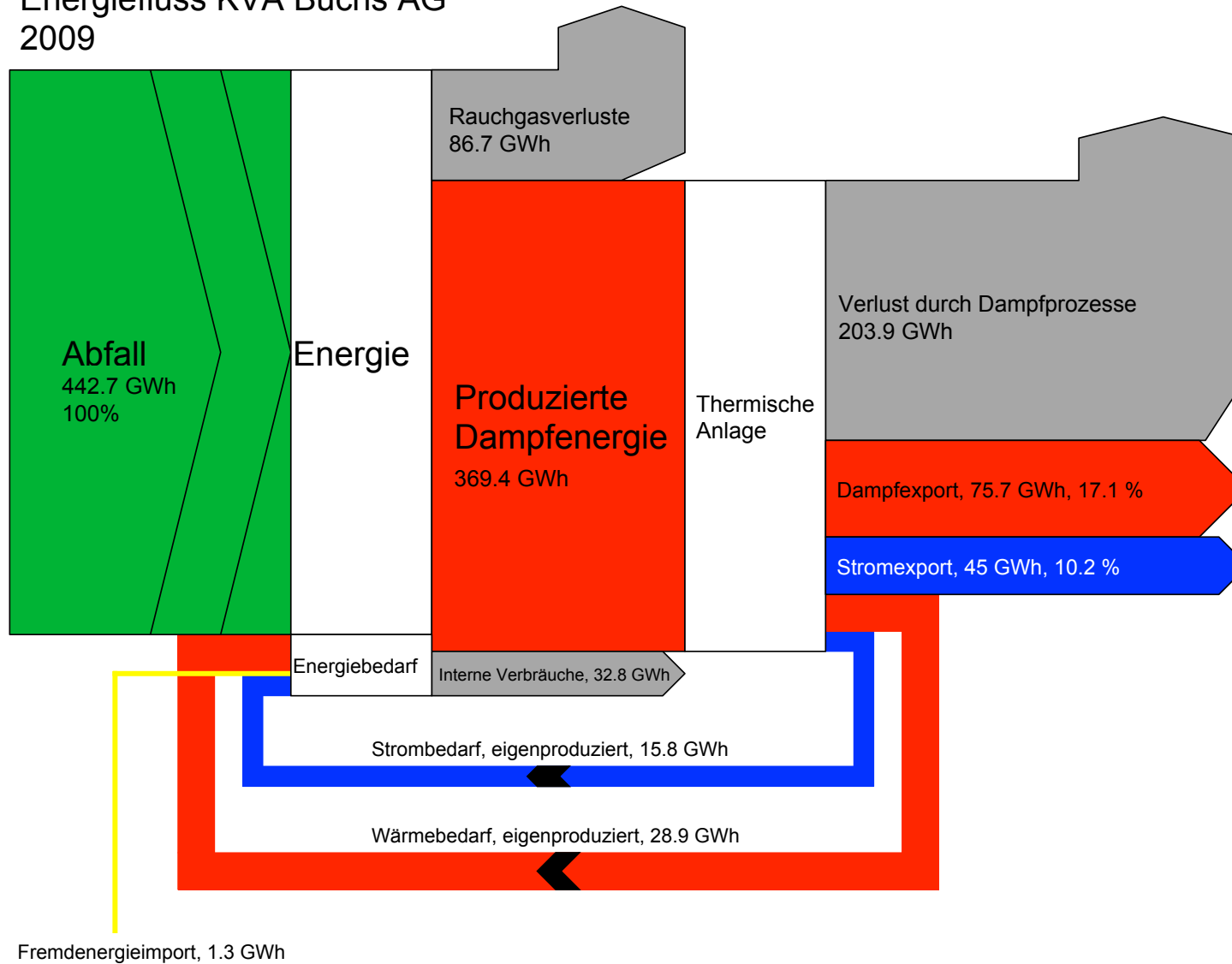
	Verbrannte Abfallmenge	Heizwert nach Standardmethode	Kessel- wirkungsgrad	R1 nach AbfRRL	Wärmenutzungsgrad nach EnV	Stromnutzungsgrad nach EnV	Spezifischer Wärmebedarf [MWh/t _{Abfall}]	Spezifischer Wärmebedarf [MWh/MWh _{Input}]	Spezifischer Strombedarf [MWh/t _{Abfall}]	Spezifischer Strombedarf [MWh/MWh _{Input}]	Spezifischer Fremdenergie- bedarf	Spezifischer Fremdenergie- bedarf	Spezifische Wärmeabgabe	Spezifische Wärmeabgabe	Spezifische Stromabgabe	Spezifische Stromabgabe
	[t/a]	[GJ/t]	[%]	[]	[%]	[%]	[MWh/t _{Abfall}]	[MWh/MWh _{Input}]	[MWh/t _{Abfall}]	[MWh/MWh _{Input}]	[MWh/t _{Abfall}]	[MWh/MWh _{Input}]	[MWh/t _{Abfall}]	[MWh/MWh _{Input}]	[MWh/t _{Abfall}]	[MWh/MWh _{Input}]
01 AG Buchs (AG)	117'947	13.513	81.0%	0.60	20.9%	13.7%	0.144	0.038	0.139	0.037	0.011	0.003	0.642	0.171	0.382	0.102
02 AG Oftringen	91'803	9.322	80.7%	0.63	5.2%	21.4%	0.034	0.013	0.093	0.036	0.000	0.000	0.101	0.039	0.469	0.181
03 AG Turgi	121'374	13.218	81.4%	0.70	14.2%	20.2%	0.108	0.029	0.144	0.039	0.001	0.000	0.415	0.113	0.597	0.163
04 BE Bern	102'859	12.756	79.8%	0.80	48.8%	9.2%	0.240	0.068	0.153	0.043	0.000	0.000	1.488	0.420	0.173	0.049
06 BE Thun	129'466	10.590	82.4%	0.72	16.5%	20.4%	0.035	0.012	0.096	0.033	0.017	0.006	0.452	0.153	0.512	0.173
07 BS Basel	212'316	12.027	84.4%	0.94	64.8%	8.0%	0.035	0.011	0.142	0.042	0.014	0.004	2.135	0.638	0.131	0.039
08 FR Posieux ¹⁾	49'141	13.187	84.2%	0.73	15.6%	20.8%	0.097	0.027	0.157	0.043	0.042	0.011	0.511	0.139	0.610	0.167
09 GE Genf	261'712	10.934	80.7%	0.67	18.1%	17.8%	0.040	0.013	0.146	0.048	0.049	0.016	0.513	0.168	0.399	0.130
10 GL Niederurnen	114'282	12.858	87.7%	0.62	7.4%	20.1%	0.247	0.069	0.172	0.048	0.002	0.001	0.019	0.005	0.546	0.153
11 GR Trimmis	88'126	12.794	85.8%	0.67	21.7%	16.0%	0.163	0.046	0.138	0.039	0.007	0.002	0.608	0.171	0.432	0.122
13 NE Colombier	65'112	10.290	82.8%	0.65	18.3%	16.8%	0.095	0.033	0.120	0.042	0.010	0.004	0.431	0.151	0.360	0.126
14 NE La Chaux-de-Fonds	47'318	12.316	82.4%	0.70	35.4%	13.5%	0.176	0.051	0.209	0.061	0.082	0.024	1.036	0.303	0.321	0.094
16 SG Buchs (SG)	176'123	12.218	84.4%	0.76	21.1%	19.5%	0.146	0.043	0.121	0.036	0.008	0.002	0.572	0.168	0.542	0.159
17 SG St. Gallen	73'058	10.541	83.1%	0.84	39.9%	14.7%	0.364	0.124	0.124	0.043	0.011	0.004	0.803	0.274	0.306	0.105
18 SO Zuchwil	234'487	11.277	76.4%	0.71	42.7%	8.5%	0.181	0.058	0.109	0.035	0.002	0.001	1.156	0.369	0.157	0.050
19 TG Weinfelden ¹⁾	75'929	11.307	83.3%	0.81	45.8%	10.9%	0.123	0.035	0.117	0.040	0.003	0.002	1.316	0.387	0.227	0.069
20 TI Giubiasco	168'020	10.869	83.8%	0.66	4.1%	23.0%	0.125	0.041	0.112	0.037	0.000	0.000	0.000	0.000	0.581	0.192
21 VD Lausanne	175'182	12.046	86.5%	0.91	47.8%	14.0%	0.181	0.054	0.119	0.036	0.009	0.003	1.419	0.424	0.360	0.108
23 VS Sion	69'524	9.622	79.8%	0.55	7.6%	17.7%	0.183	0.068	0.109	0.041	0.016	0.006	0.022	0.008	0.368	0.138
24 VS Monthey	165'544	10.458	85.6%	0.68	8.9%	21.9%	0.260	0.089	0.130	0.045	0.009	0.003	0.000	0.000	0.515	0.177
25 ZH Dietikon	87'059	11.886	83.8%	0.72	11.3%	22.3%	0.047	0.014	0.162	0.049	0.031	0.009	0.331	0.099	0.580	0.174
26 ZH Hinwil	197'977	11.605	82.4%	0.68	16.7%	18.3%	0.407	0.126	0.128	0.040	0.000	0.000	0.132	0.041	0.462	0.143
28 ZH ZH Hagenholz	218'281	10.818	81.9%	0.94	50.7%	13.7%	0.023	0.008	0.110	0.036	0.004	0.001	1.500	0.499	0.305	0.102
29 ZH ZH Josefstrasse	155'911	11.014	81.9%	0.55	17.7%	13.2%	0.044	0.015	0.128	0.042	0.018	0.006	0.497	0.163	0.277	0.091
CH-Mittelwert	139'704	11.561	82.8%	0.72	25.1%	16.5%	0.146	0.045	0.132	0.041	0.014	0.005	0.671	0.204	0.401	0.125
CH- Maximal	261'712	13.513	87.7%	0.94	64.8%	23.0%	0.407	0.126	0.209	0.061	0.082	0.024	2.135	0.638	0.610	0.192
CH- Minimal	47'318	9.322	76.4%	0.55	4.1%	8.0%	0.023	0.008	0.093	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.131	0.039

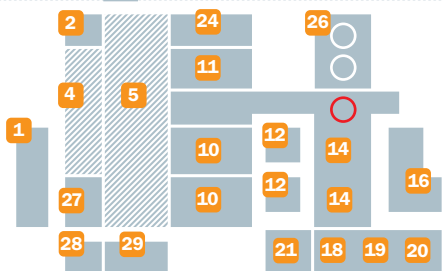
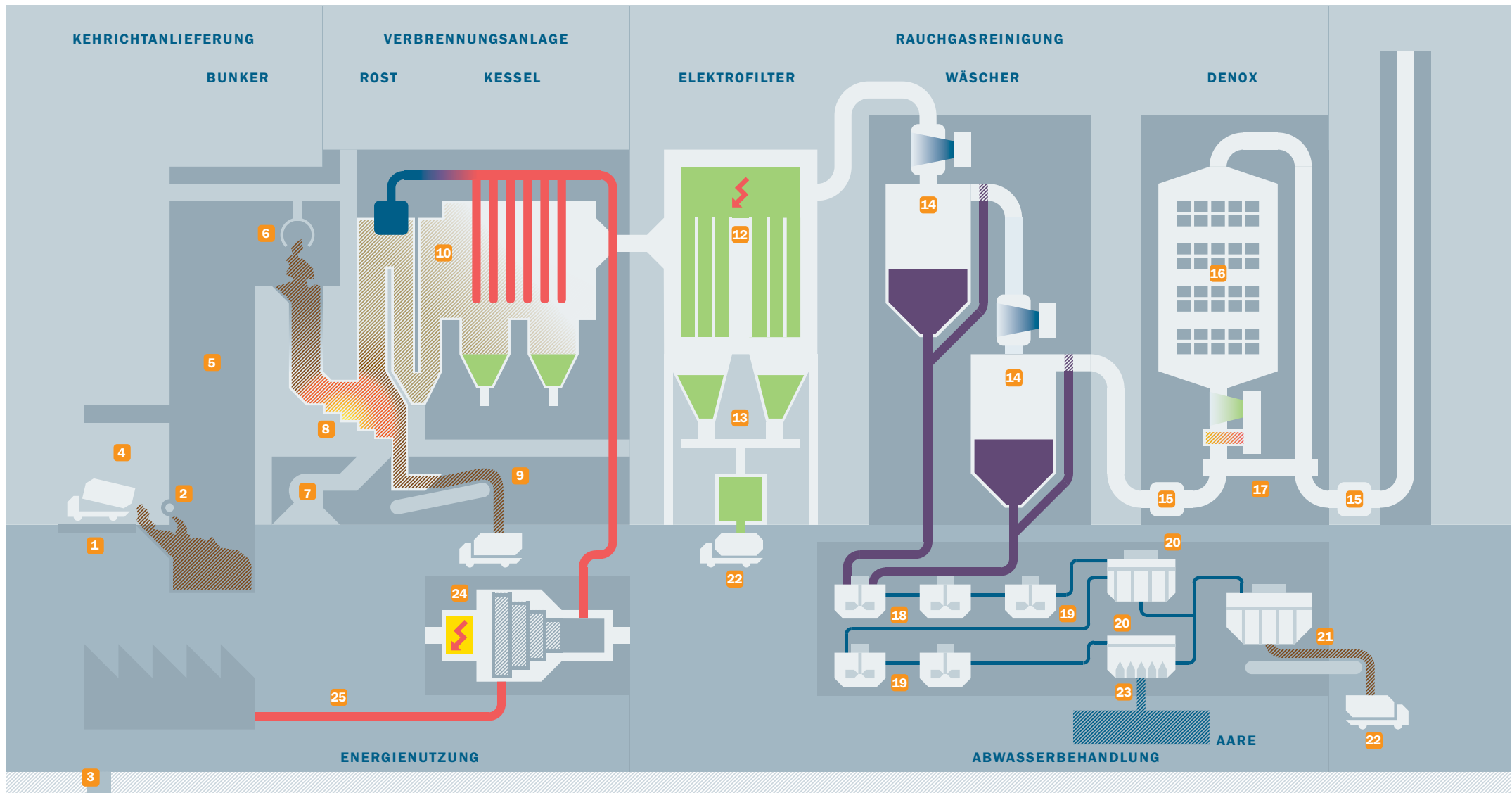
¹⁾ nicht gesamtes Betriebsjahr betrachtet



Anhang – Sankey-Diagramme und Anlagenschemata aller Anlagen

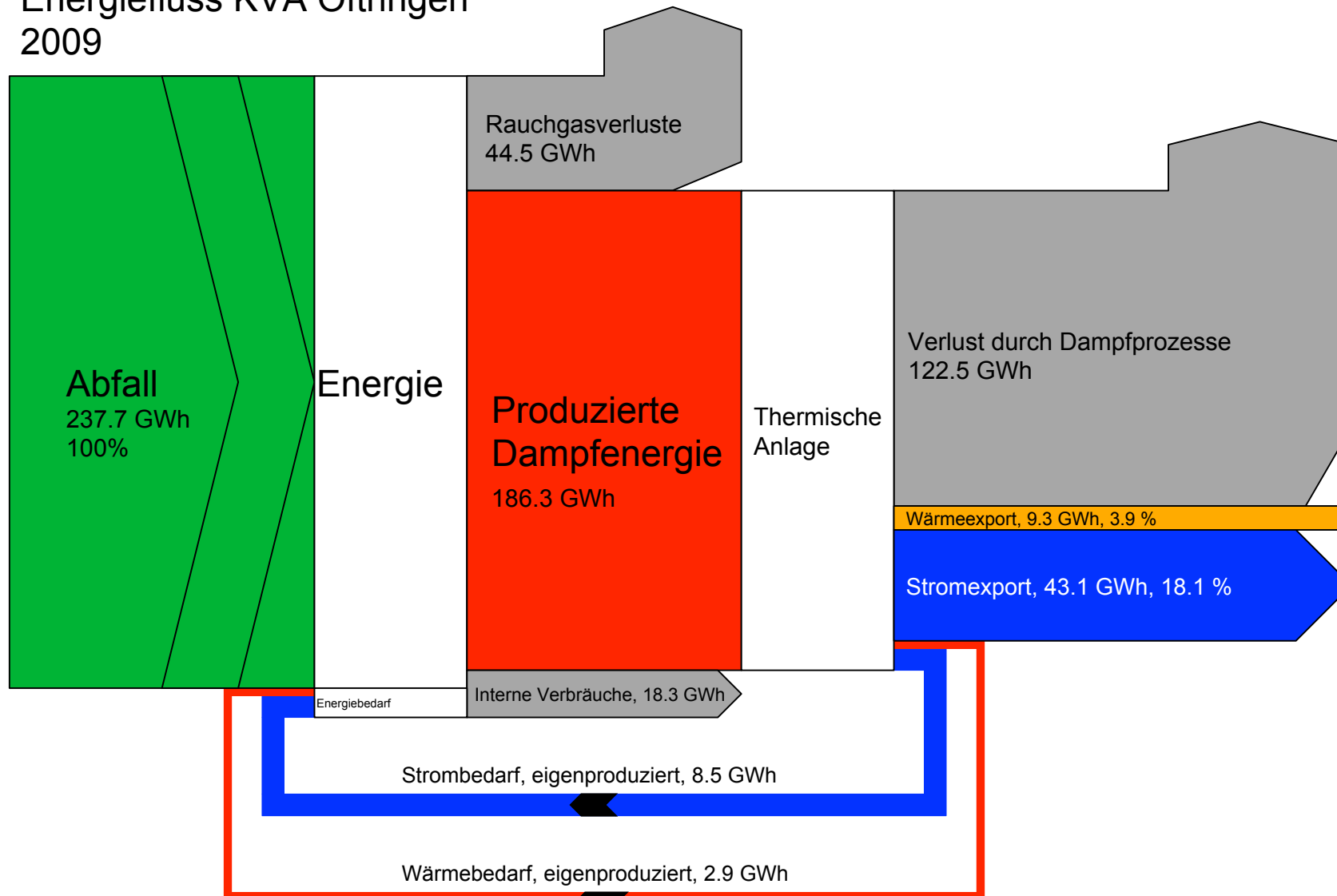
Energiefluss KVA Buchs AG 2009

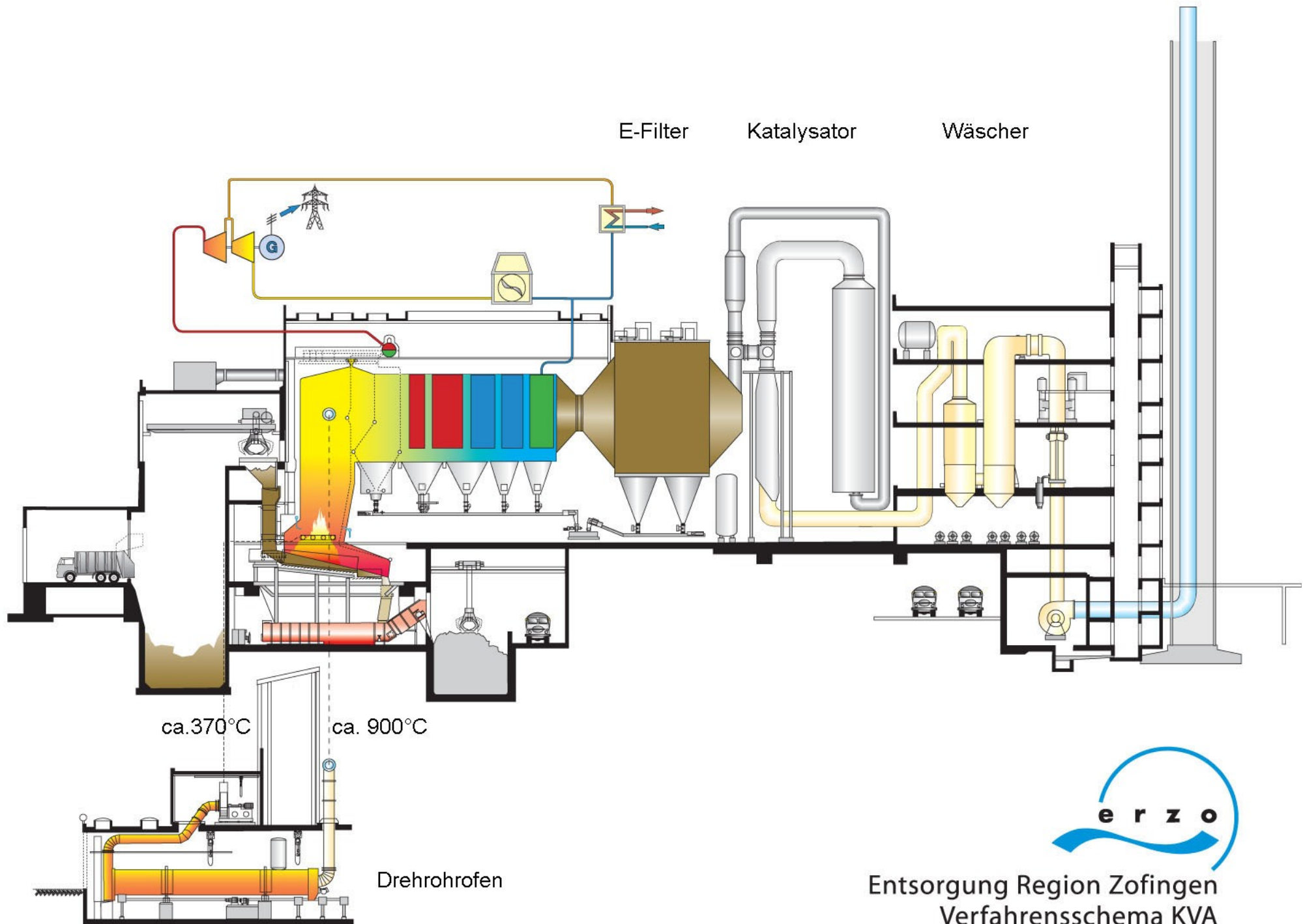




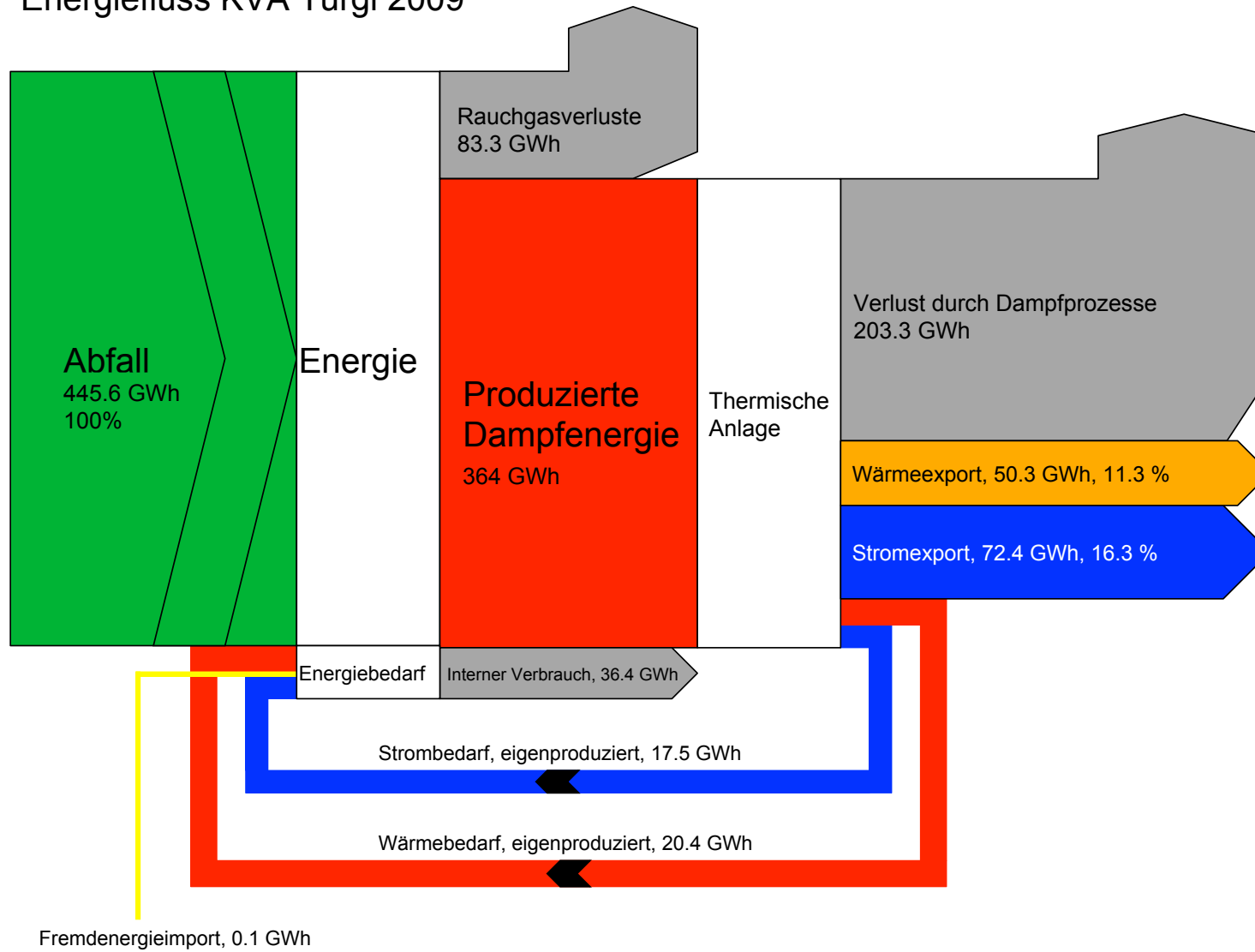
Kehrlichtanlieferung	Verbrennungsanlage	Rauchgasreinigung	Abwasserbehandlung	Energienutzung
1 Waage	7 Verbrennungsluftgebläse	12 Elektrofilter	18 Neutralisation	24 Dampfturbine/Generator
2 Sperrgutschere	8 Verbrennungsrost	13 Filterstaub	19 Fällung	25 Fernwärme
3 Ballenpresse	9 Schlacke	14 Rauchgaswäscher	20 Sedimentation	26 Tanklager
4 Entladehalle	10 Dampfkessel	15 Rauchgasventilator	21 Schlammmentwässerung	Infrastruktur
5 Bunker	11 Reservekessel	16 Katalysator DENOX	22 Reststoffe	27 Verwaltung
6 Kehrlichtkran	○ Kamin	17 Wärmetauscher	23 Gereinigtes Abwasser	28 Inforaum
				29 Werkstatt

Energiefluss KVA Oftringen 2009





Energiefluss KVA Turgi 2009



Kehricht verbrennen: Zerstörung der organischen Schadstoffe, sehr starke Volumenreduktion...

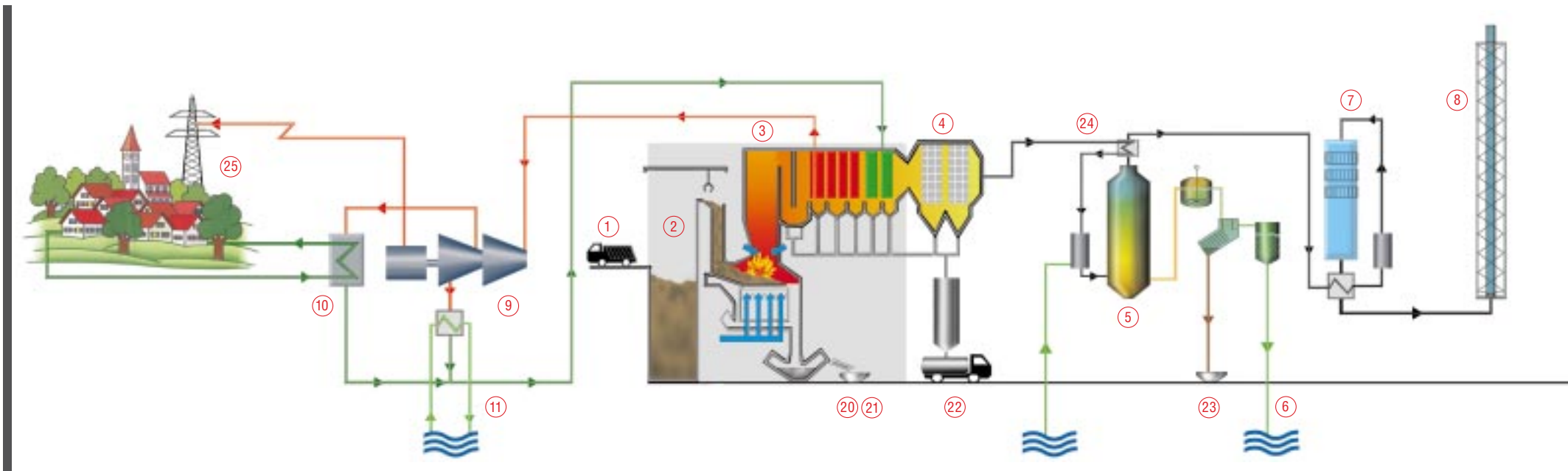
Kehrichtanlieferung und Bunker



Verbrennung und Dampferzeugung



Schlacke, Filterstaub und Wäscherschlamm bleiben als Rückstände



Rücklieferung



Fernwärmeerzeugung



Stromproduktion



Elektrofilter



R G-Leitungen



R G-Wäsche

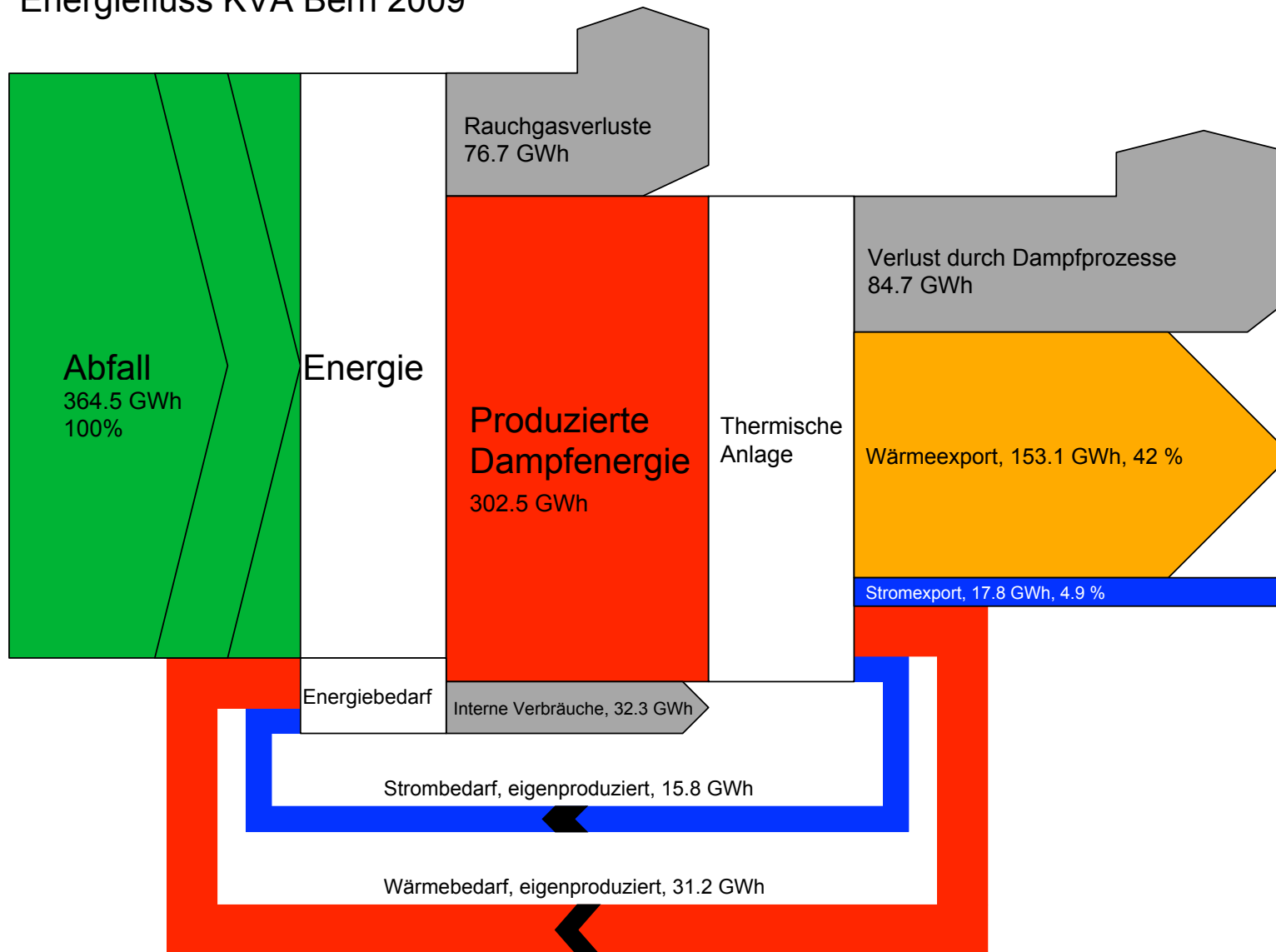


Entstickung

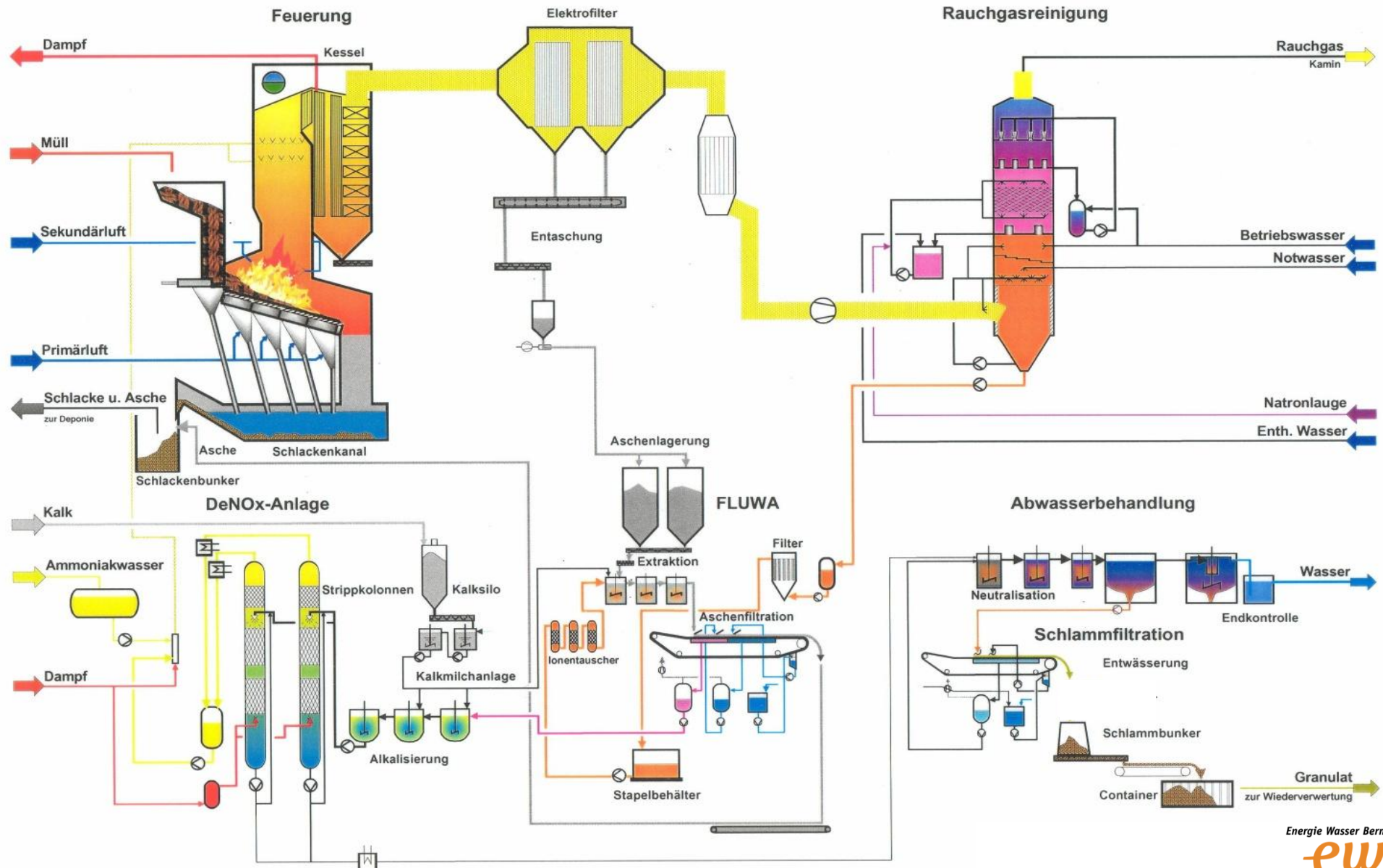
...und bedeutende Energierückgewinnung.

Reduktion der Emissionen auf ein Minimum.

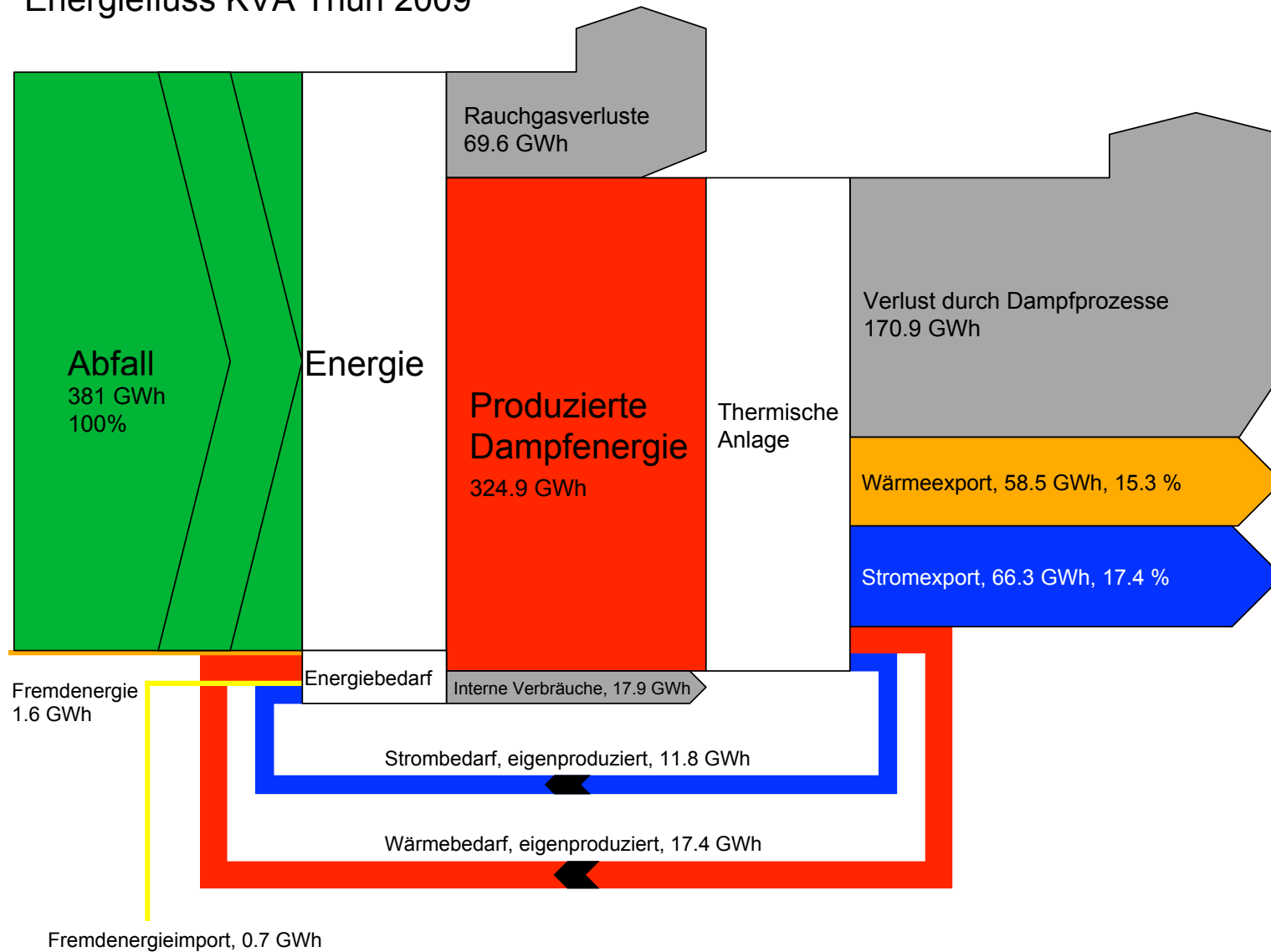
Energiefluss KVA Bern 2009

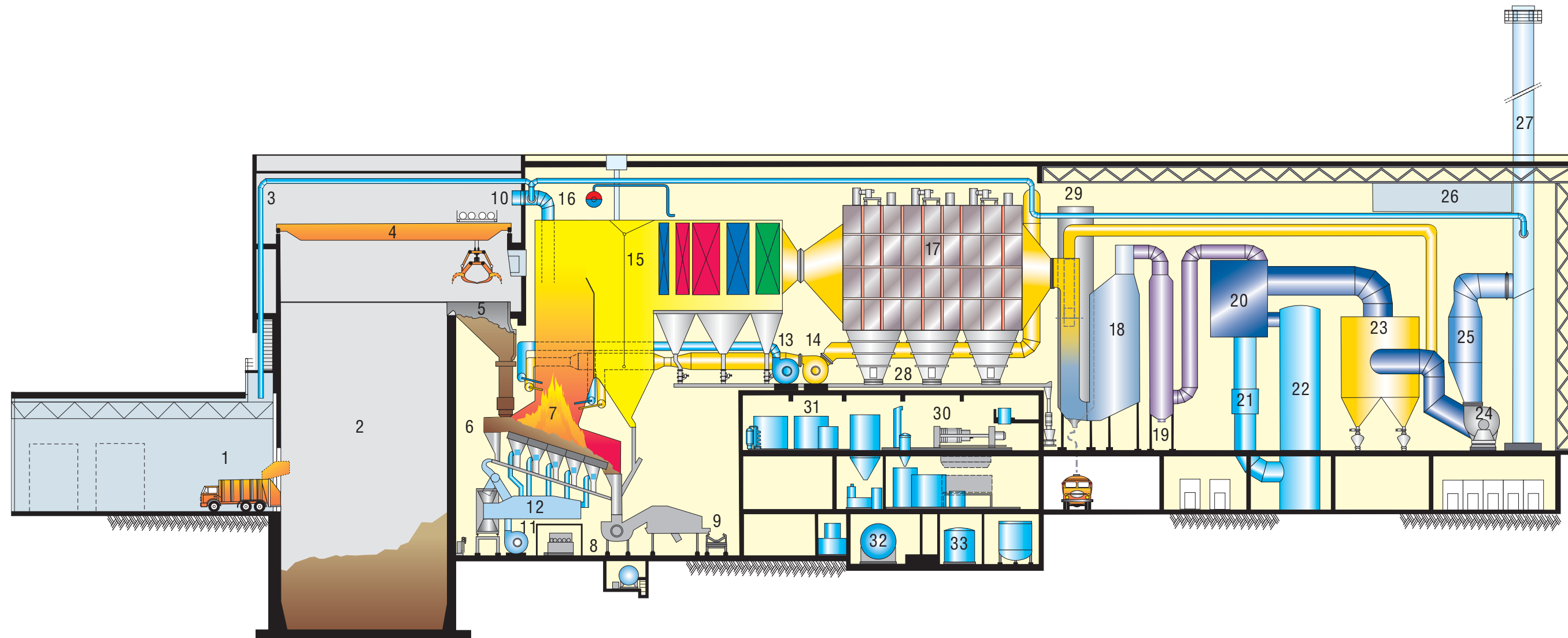


Verfahrensfließbild KVA Bern



Energiefluss KVA Thun 2009





Abfall-Anlieferung, Abfall-Lagerung

- 1 Entladehalle
- 2 Abfallbunker
- 3 Abfallbunker-Entlüftung
- 4 Abfallkran

Verbrennung und Dampferzeuger

- 5 Einfülltrichter
- 6 Dosierstößel
- 7 Vorschub-Verbrennungsrost
- 8 Stößel- Entschlacker
- 9 Schlackenförderung
- 10 Primärluft-Ansaugung
- 11 Primärluft-Gebläse
- 12 Primärluft-Verteilung
- 13 Sekundärluft-Gebläse
- 14 Abgas-Rezirkulationsgebläse
- 15 Vierzug-Dampferzeuger
- 16 Dampftrommel

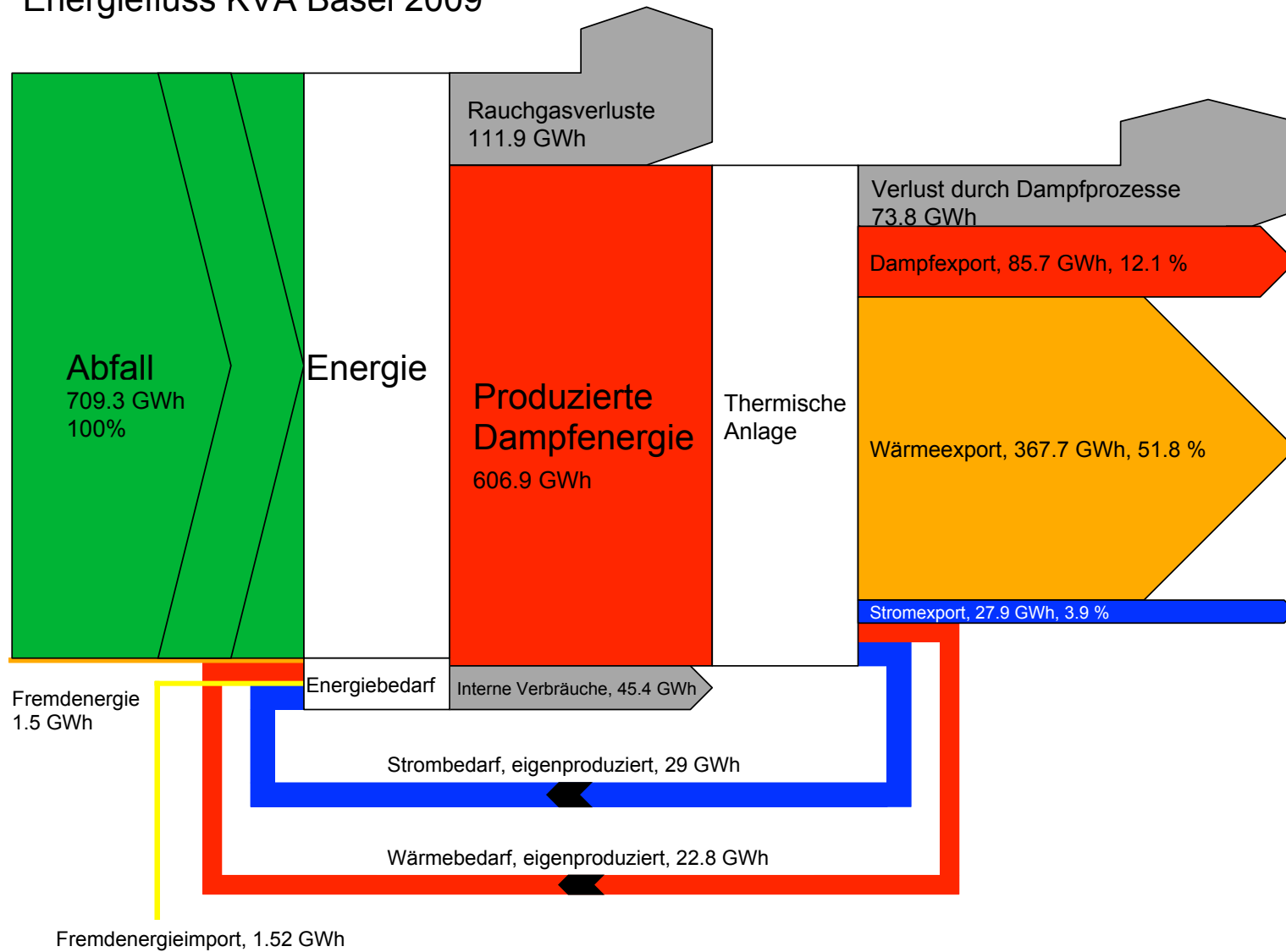
Abgasreinigung

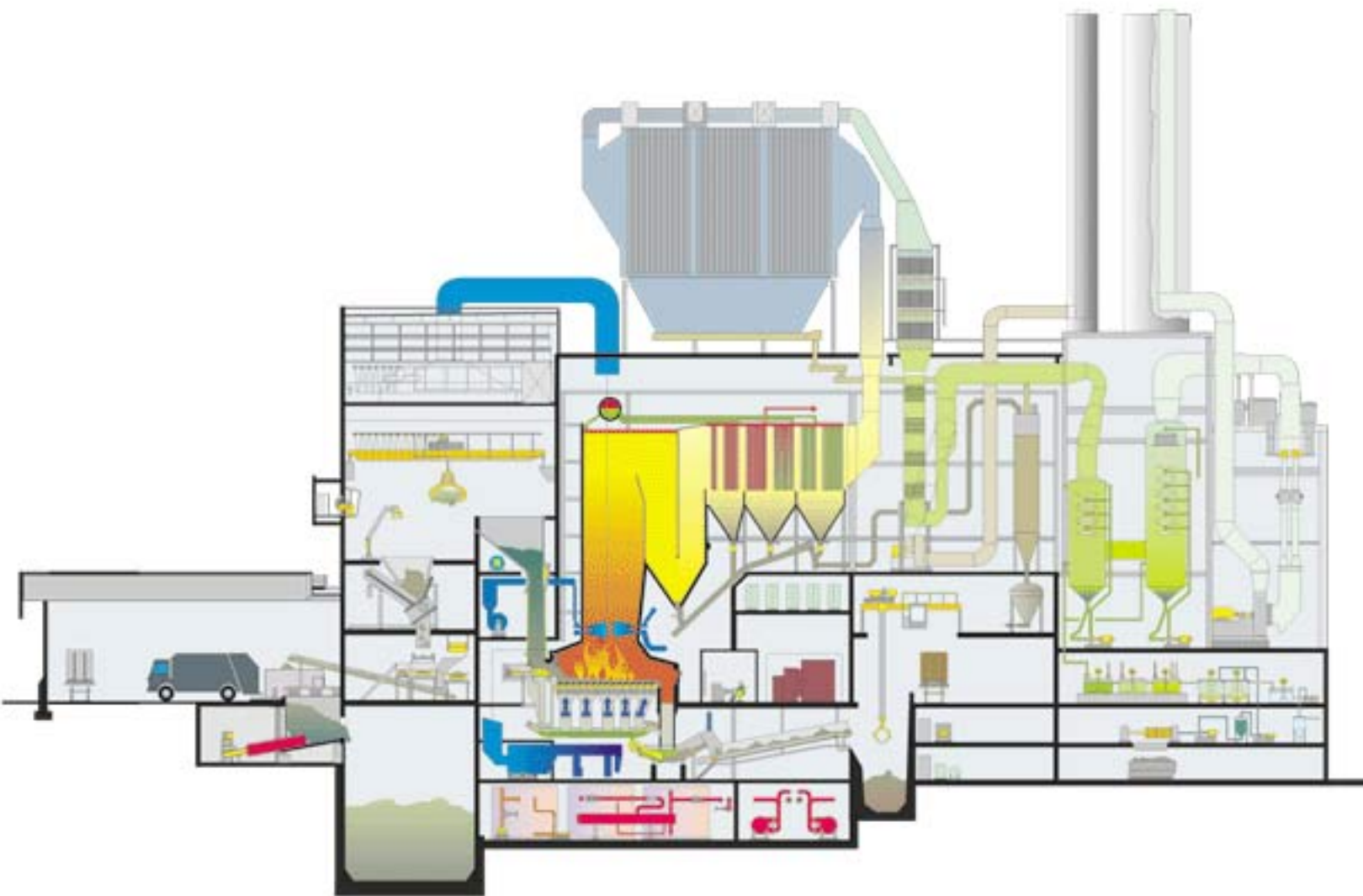
- 17 Elektrofilter
- 18 SCR-Entwicklung und Katalysator
- 19 Economiser
- 20 Gas/Gas-Wärmetauscher
- 21 Quench
- 22 Von Roll Inova Nasswäscher
- 23 Gewebefilter

Betriebs- und Reststoffe

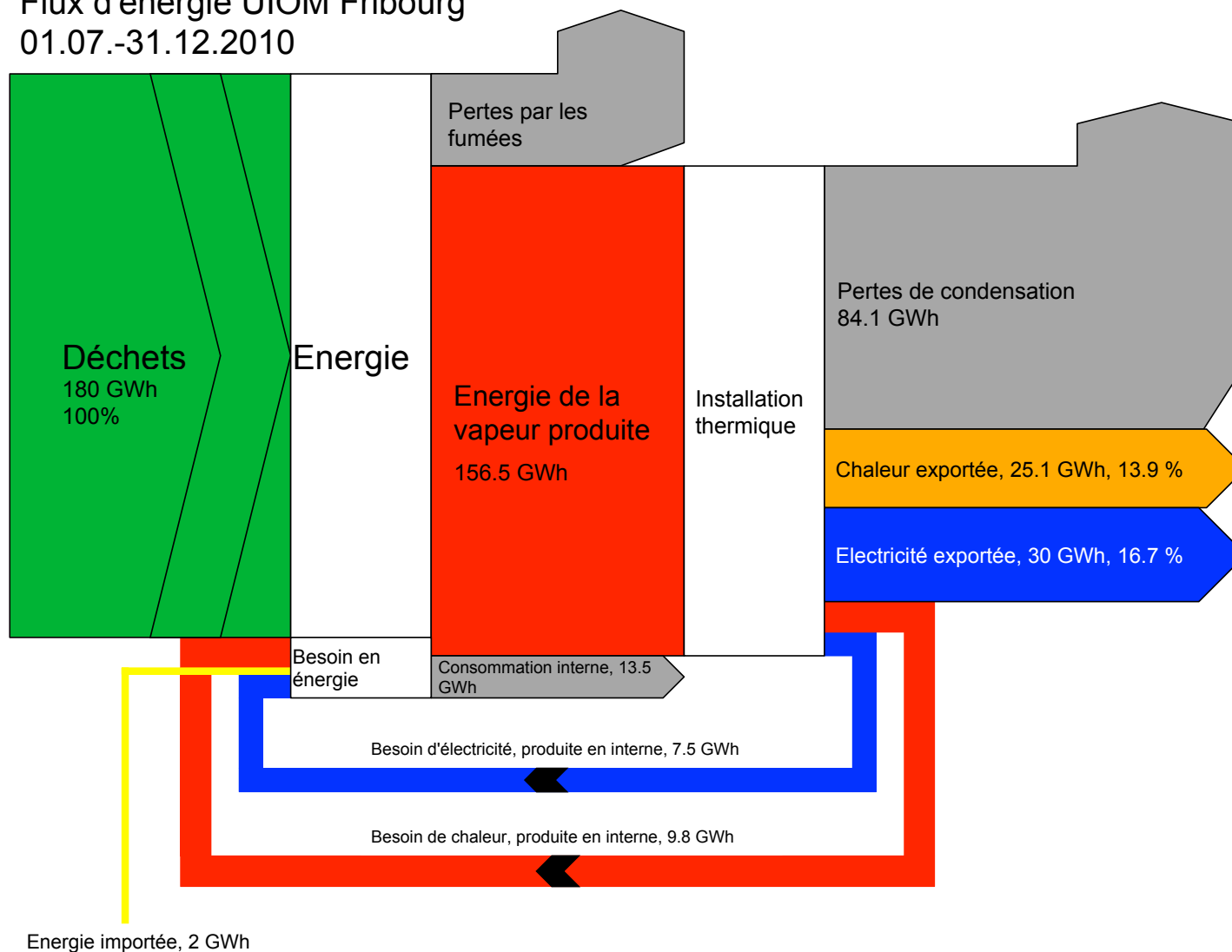
- 24 Saugzug
- 25 Schalldämpfer
- 26 Emissionsmessung
- 27 Schornstein
- 28 Entaschung
- 29 Flugaschen-Lagerung
- 30 Flugaschenwäsche
- 31 Abwasserbehandlung
- 32 Ammoniakwassertank
- 33 HCl-Lagertank

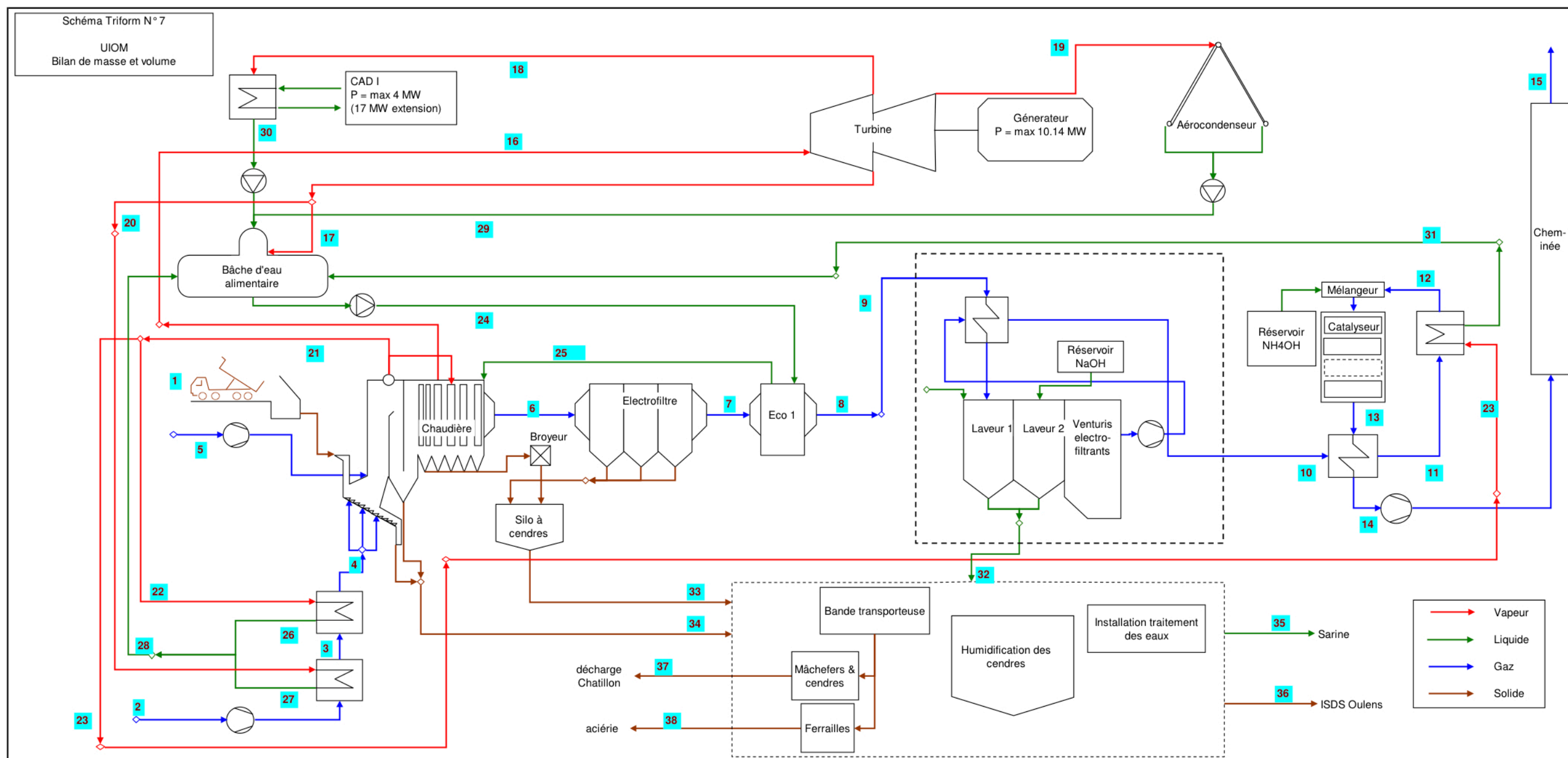
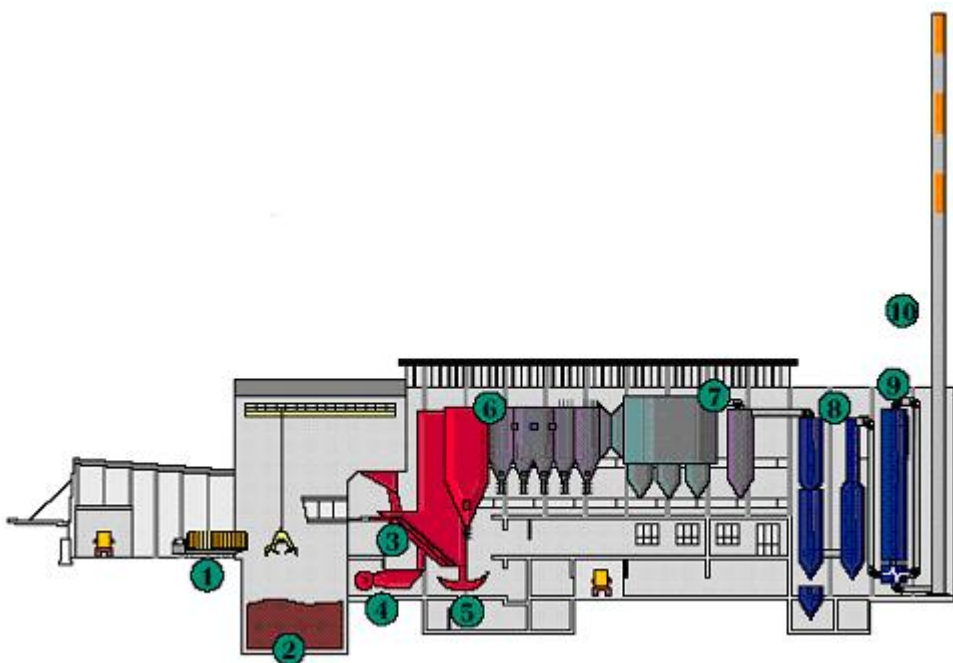
Energiefluss KVA Basel 2009



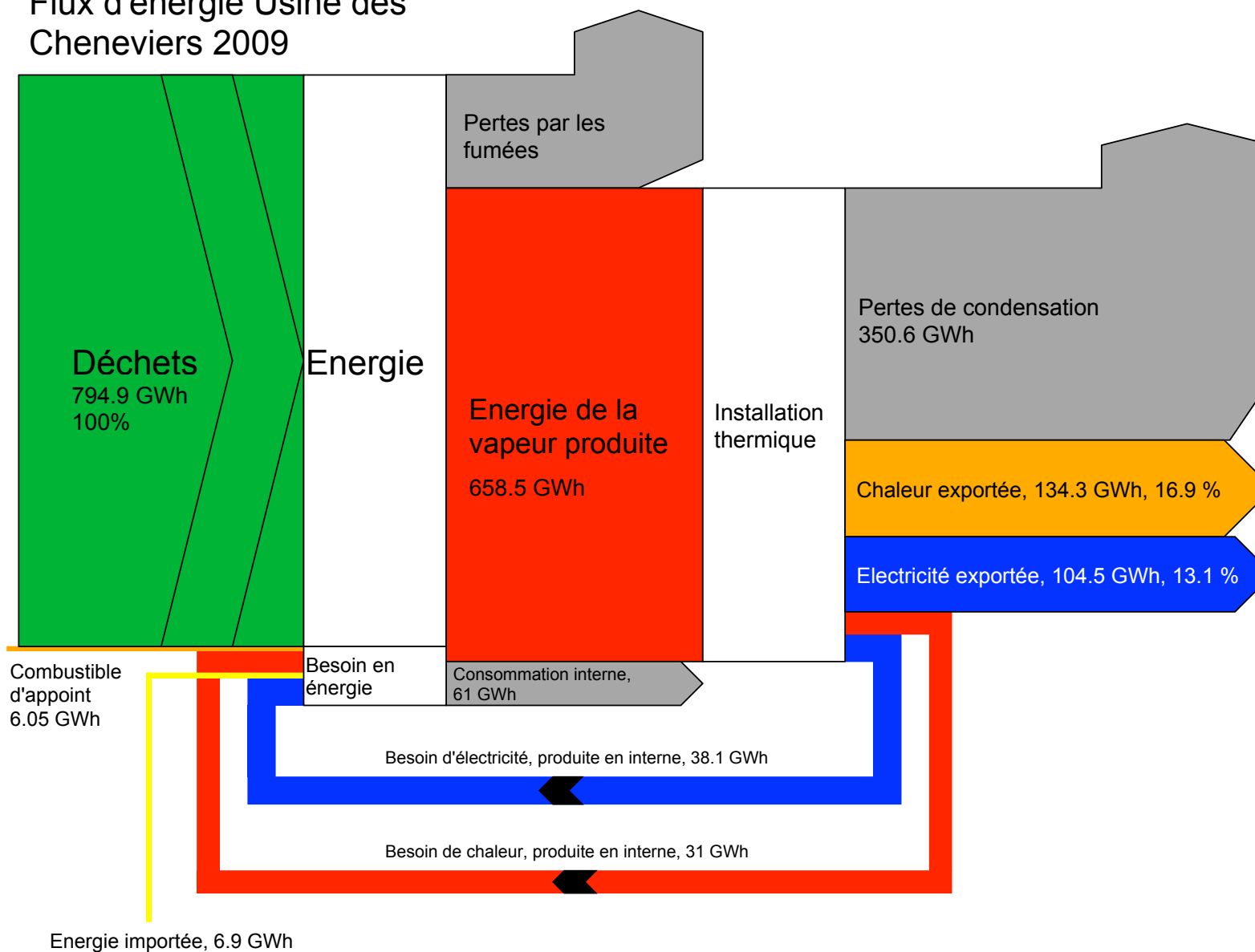


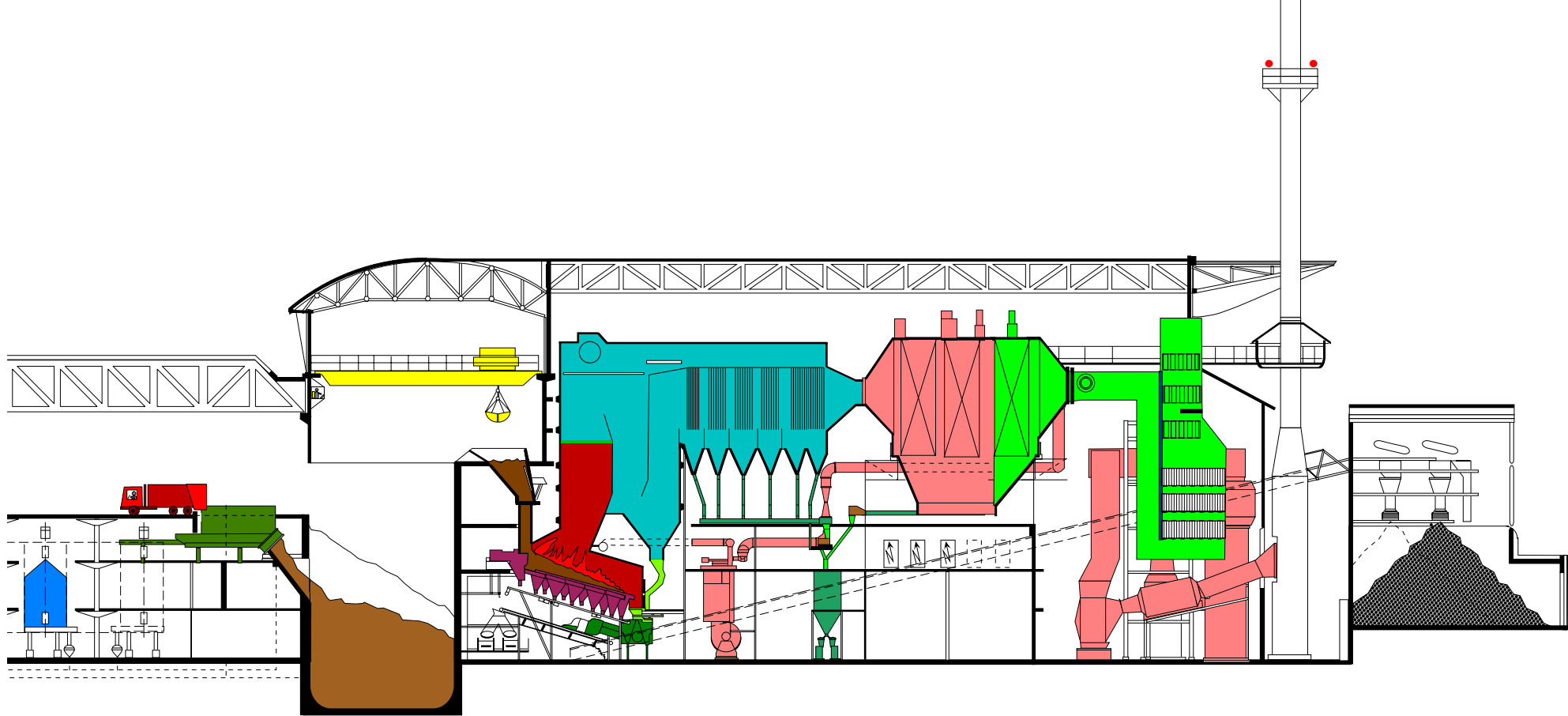
Flux d'énergie UIOM Fribourg 01.07.-31.12.2010



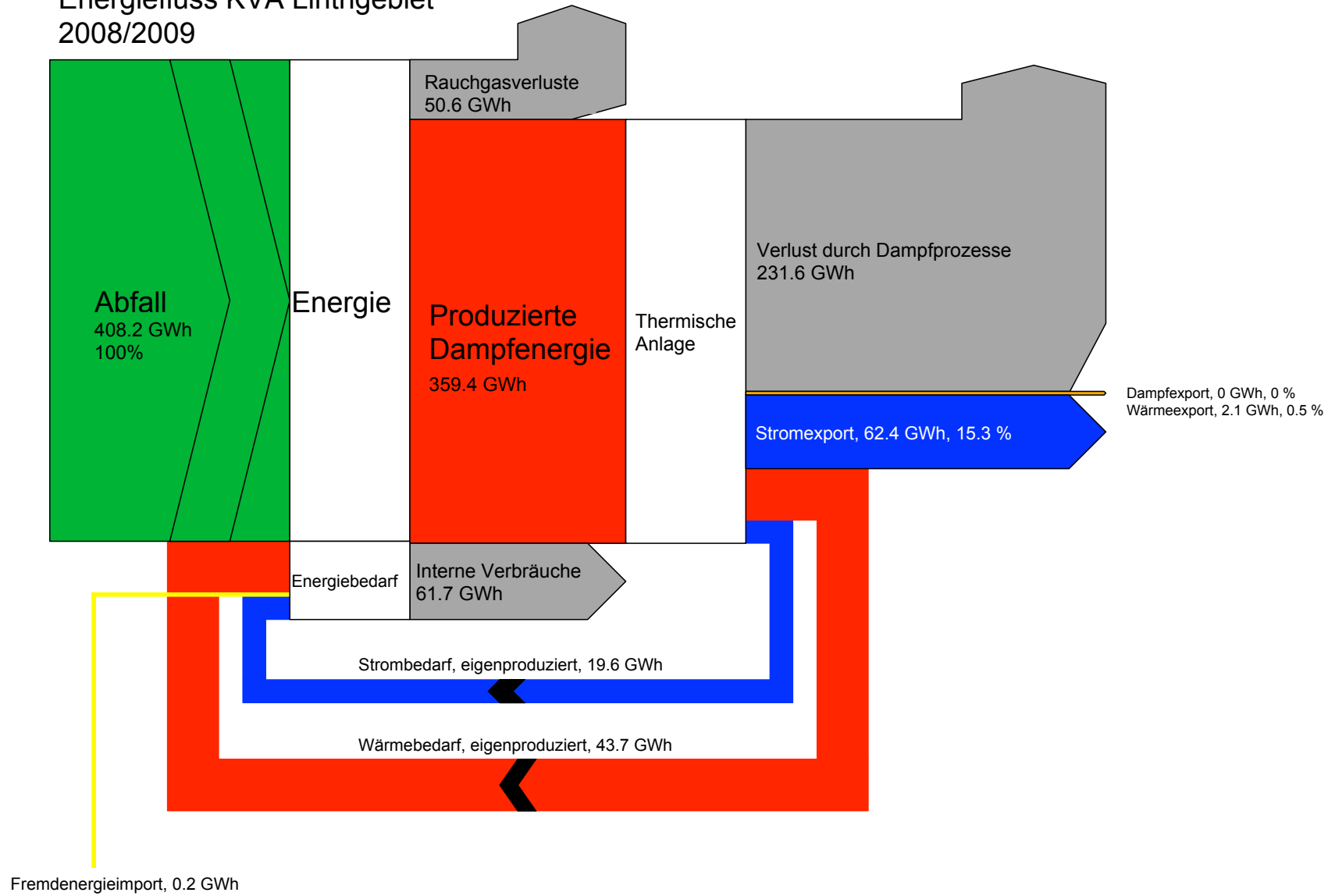


Flux d'énergie Usine des Cheneviers 2009

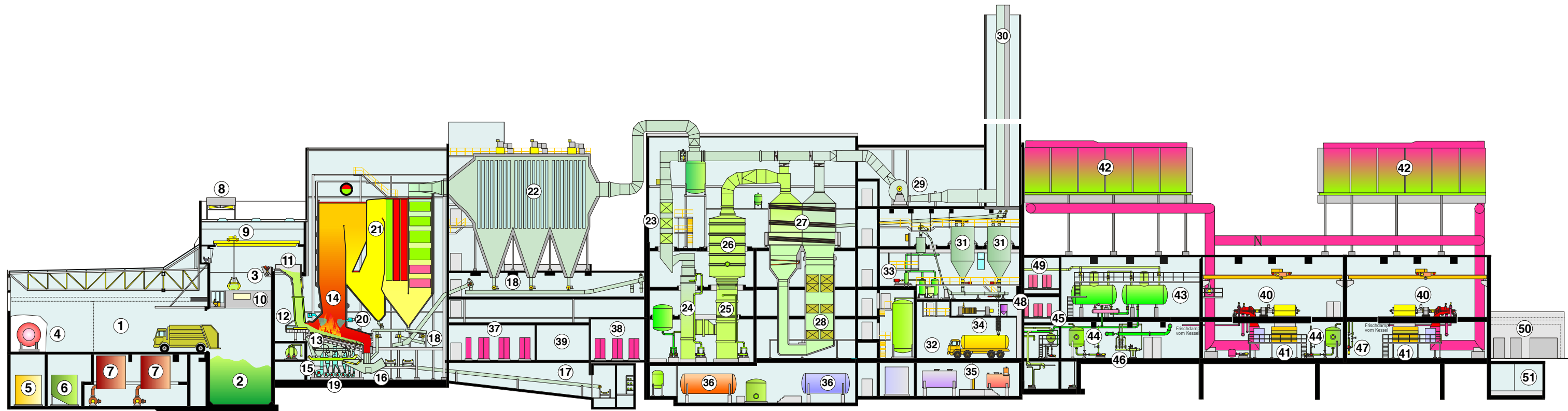




Energiefluss KVA Linthgebiet 2008/2009

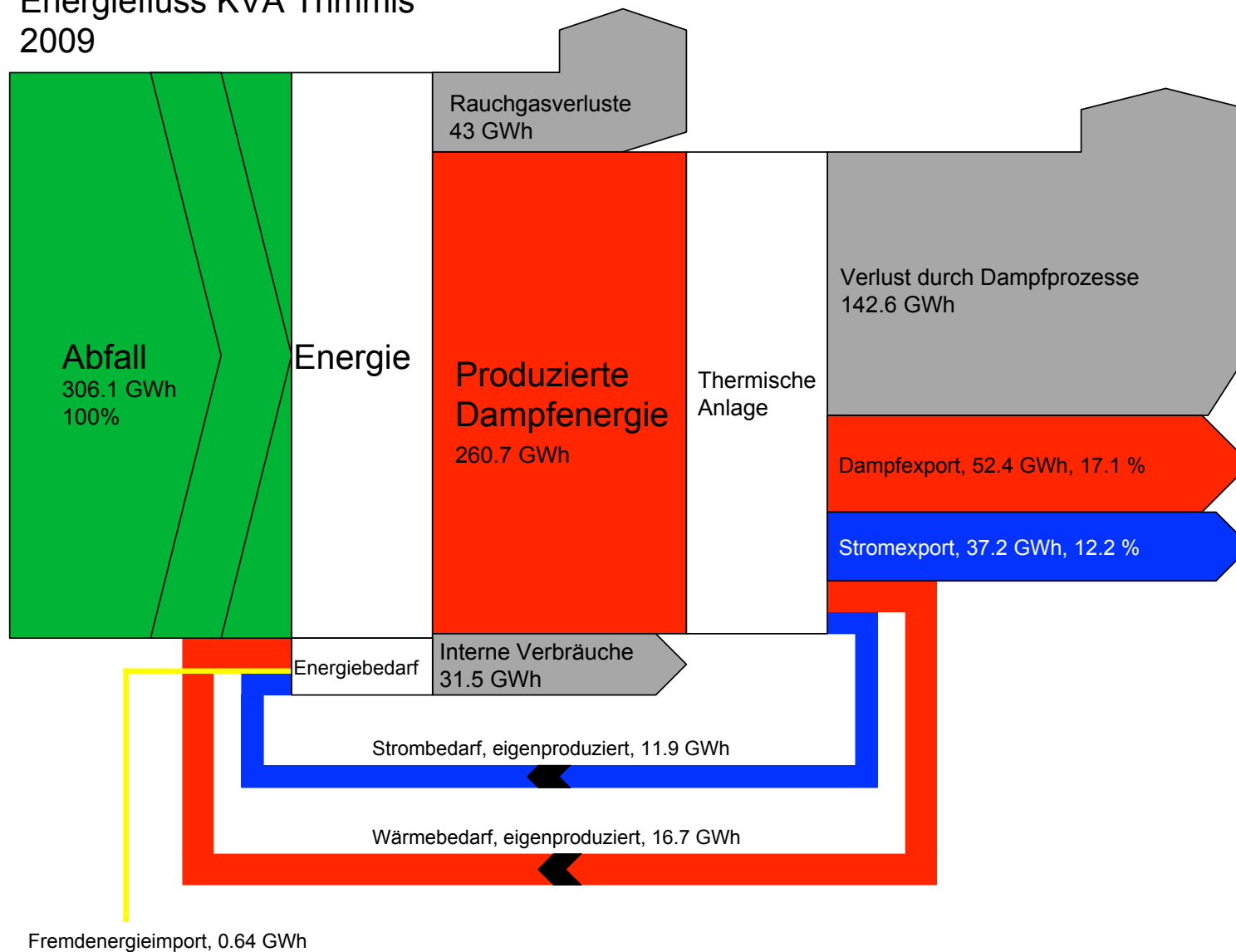


KVA Linthgebiet

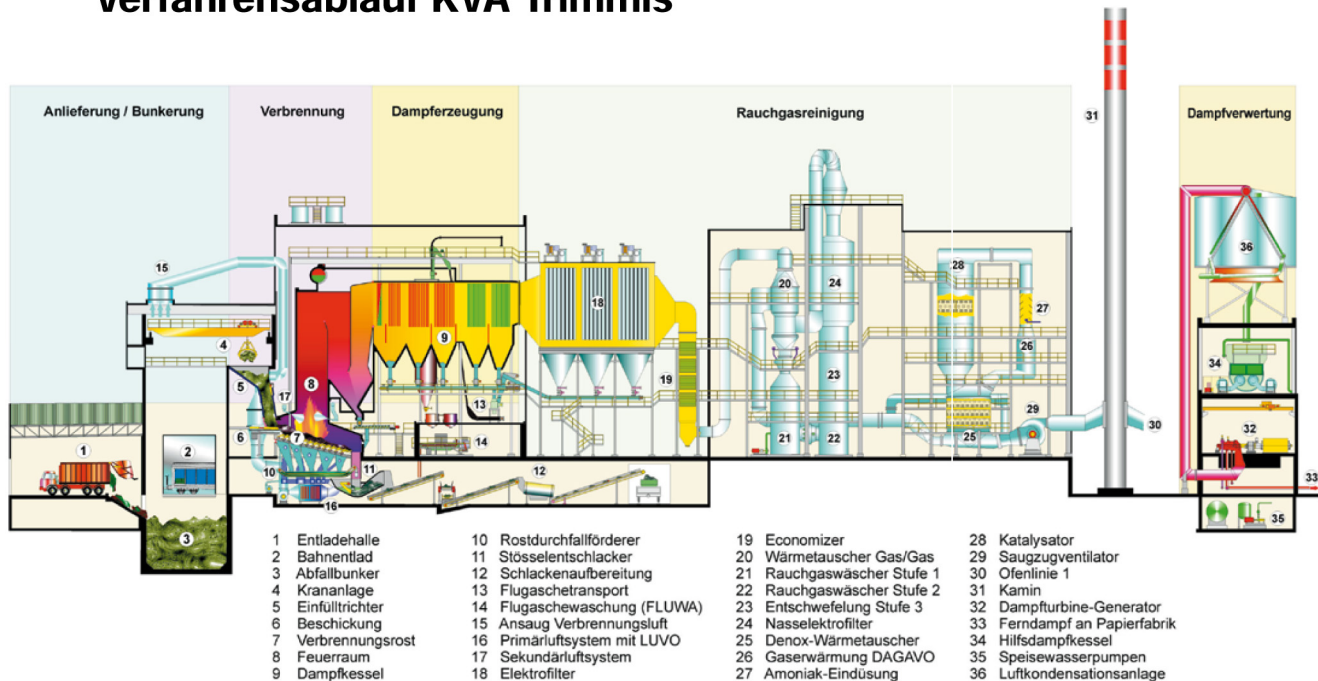


- | | | | | | |
|-------------------|--------------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1 Entladehalle | 10 Kranführerkabine | 18 Flugaschetransport | 27 Wärmeverschiebung | 36 Waschwasserbehälter | 44 Hauptkondensatbehälter 1+2 |
| 2 Abfallbunker | 11 Kommandoraum | 19 Primärluftsystem mit Luvo | 28 Entstickungsanlage | 37 MSR-Raum | 45 Hauptkondensatpumpen |
| 3 Sperrmüllschere | 12 Einfülltrichter | 20 Sekundärluftsystem | 29 Saugzuggebläse | 38 Niederspannungsraum | 46 Nebenkondensatbehälter |
| 4 Hilfskessel | 13 Beschickung | 21 Dampfkessel | 30 Kamin | 39 Werkstatt | 47 Stopfbüchsen-Dampfkondensator |
| 5 Öltank | 14 Brennkammer | 22 Elektrofilter | 31 Flugaschesilo | 40 Turbine / Generator 1+2 | 48 Niederspannungsraum |
| 6 Prozessbehälter | 15 Rostdurchfallförderer | 23 Abhitzeessel | 32 Flugascheverlad | 41 Öltank / Ölkühler | 49 EMSR-Raum |
| 7 Klärschlammsilo | 16 Stösselentschlacker | 24 Nasswäscher 1. Stufe | 33 Abwasserbehandlung | 42 Luftkondensationsanlage 1+2 | 50 Trafo-Räume |
| 8 Rückkühlanlage | 17 Schlackentransport | 25 Nasswäscher 2. Stufe | 34 Metallrückgewinnung | 43 Speisewasserbehälter, Entgaser | 51 Werkleitungskanal |
| 9 Krananlage | | 26 Nasselektrofilter | 35 Chemikalienlagertanks | | |

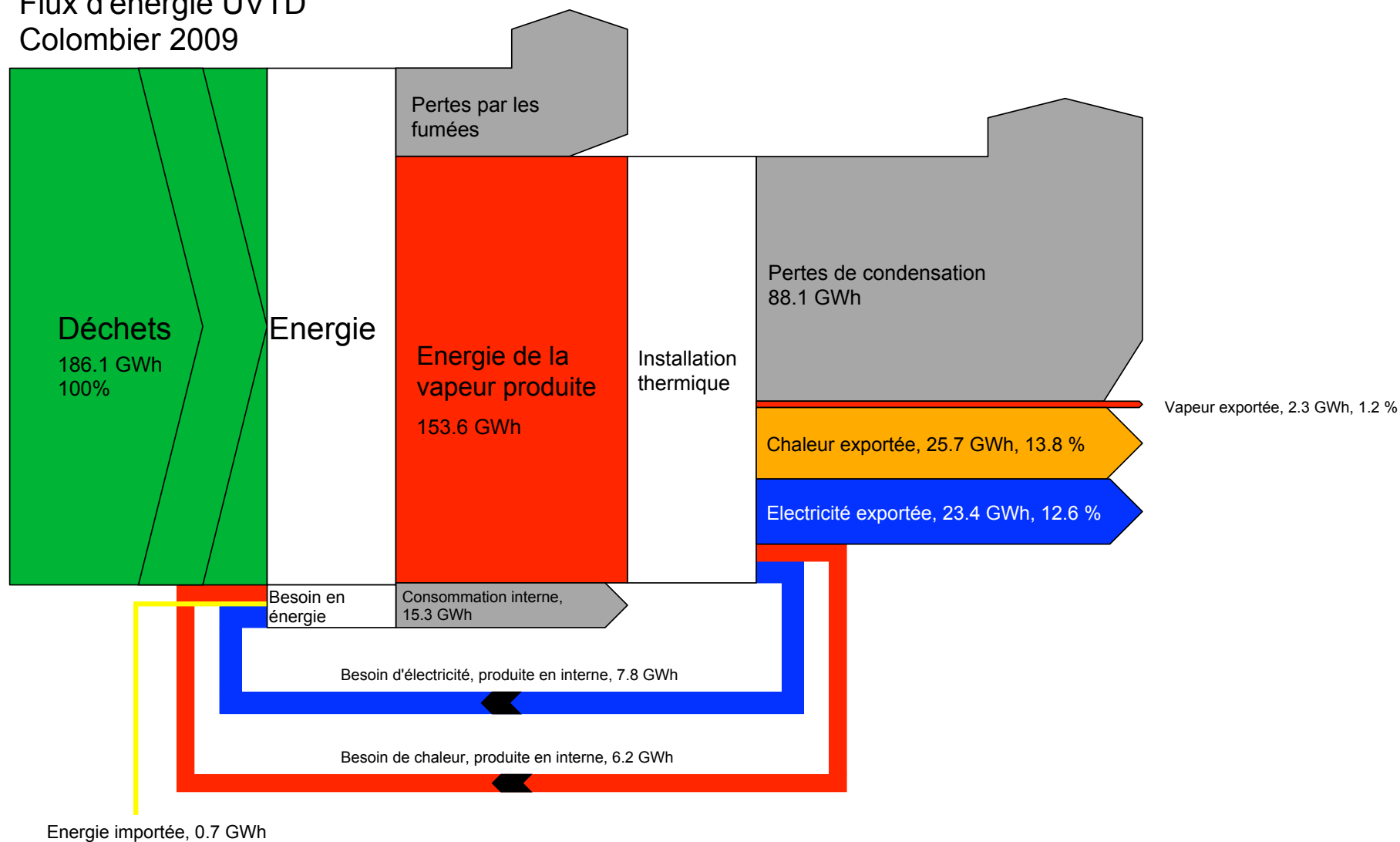
Energiefluss KVA Trimmis 2009



Verfahrensablauf KVA Trimmis



Flux d'énergie UVTD Colombier 2009



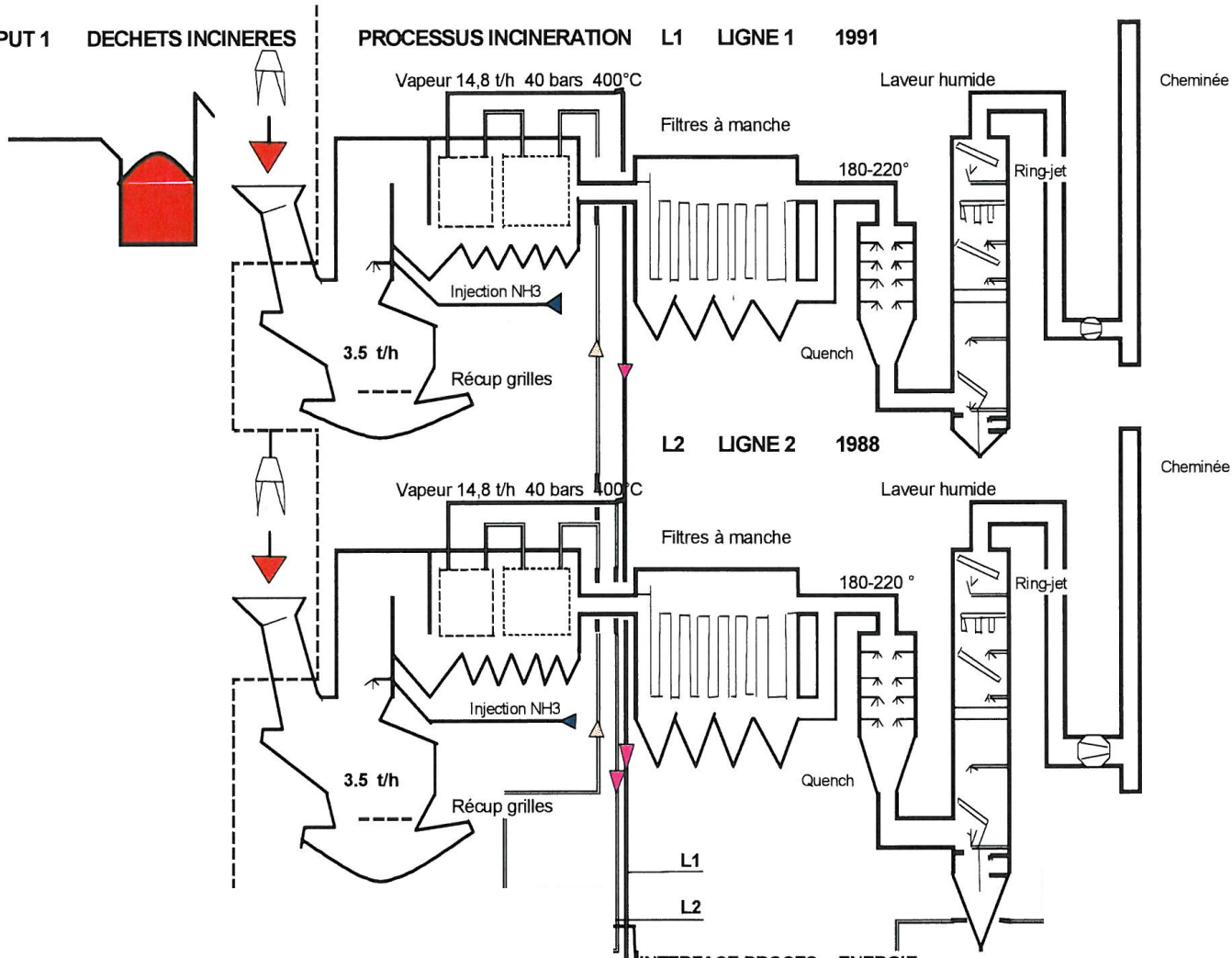
INPUT 1 DECHETS INCINERES

PROCESSUS INCINERATION

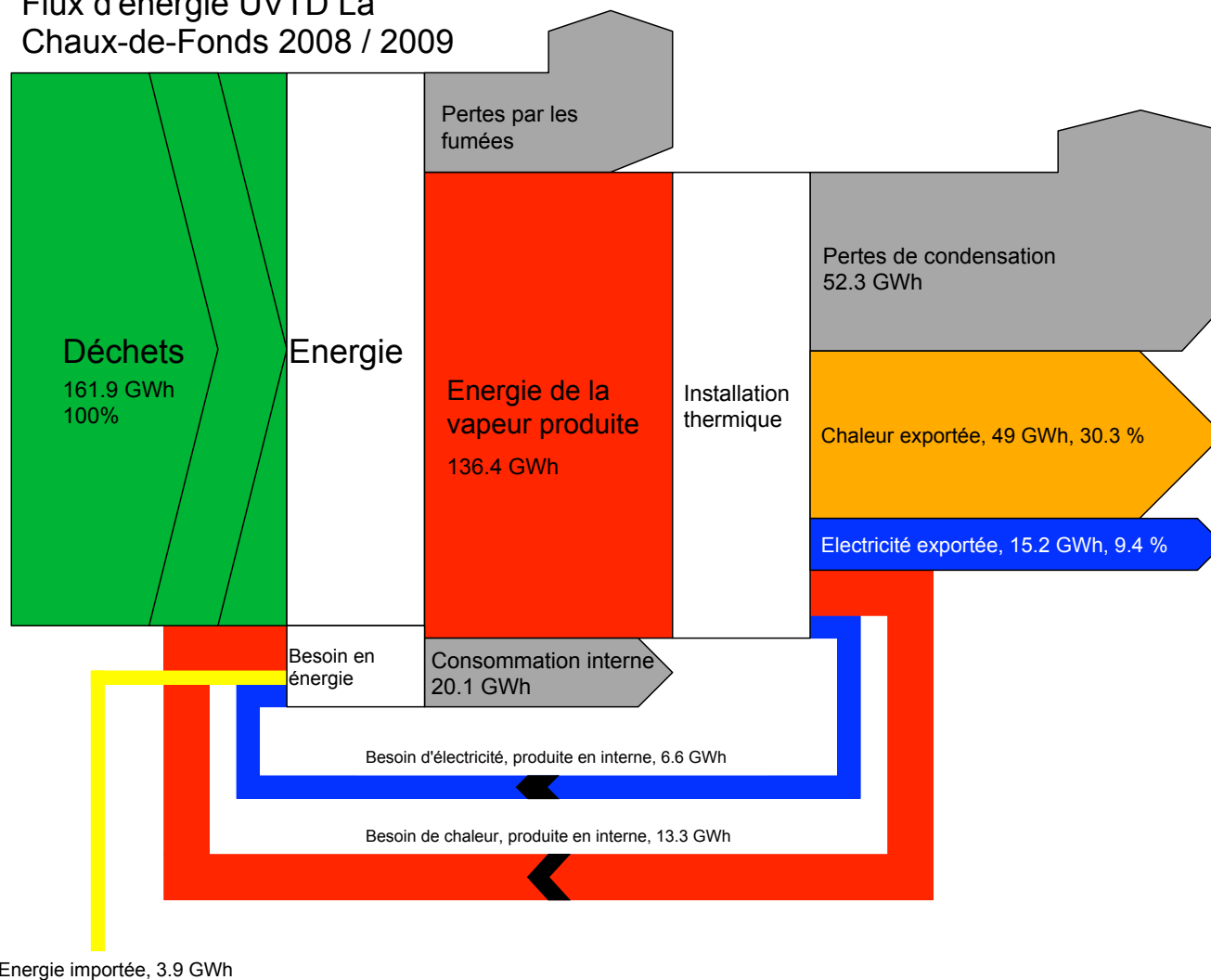
L1

LIGNE 1

1991



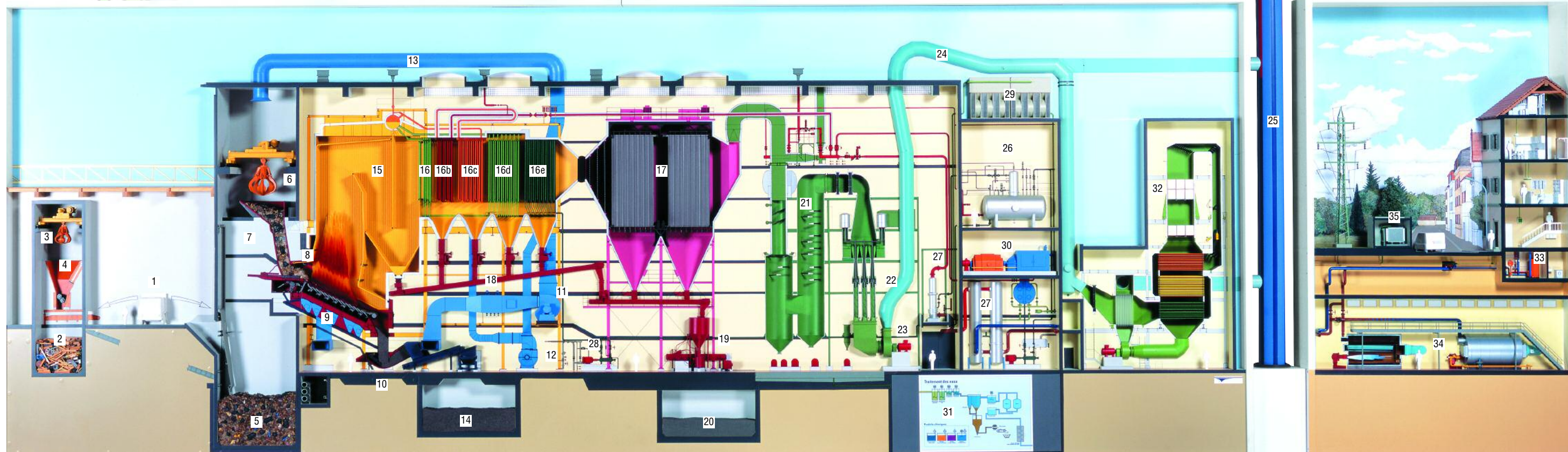
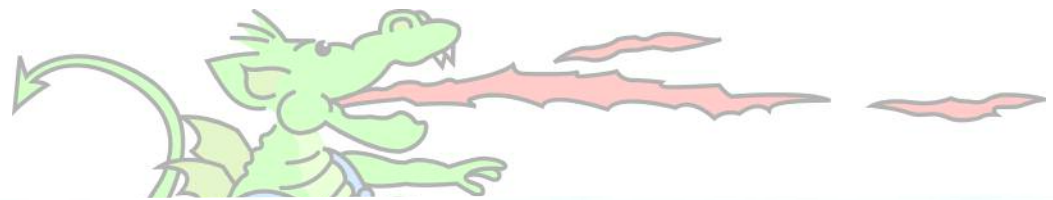
Flux d'énergie UVTD La Chaux-de-Fonds 2008 / 2009



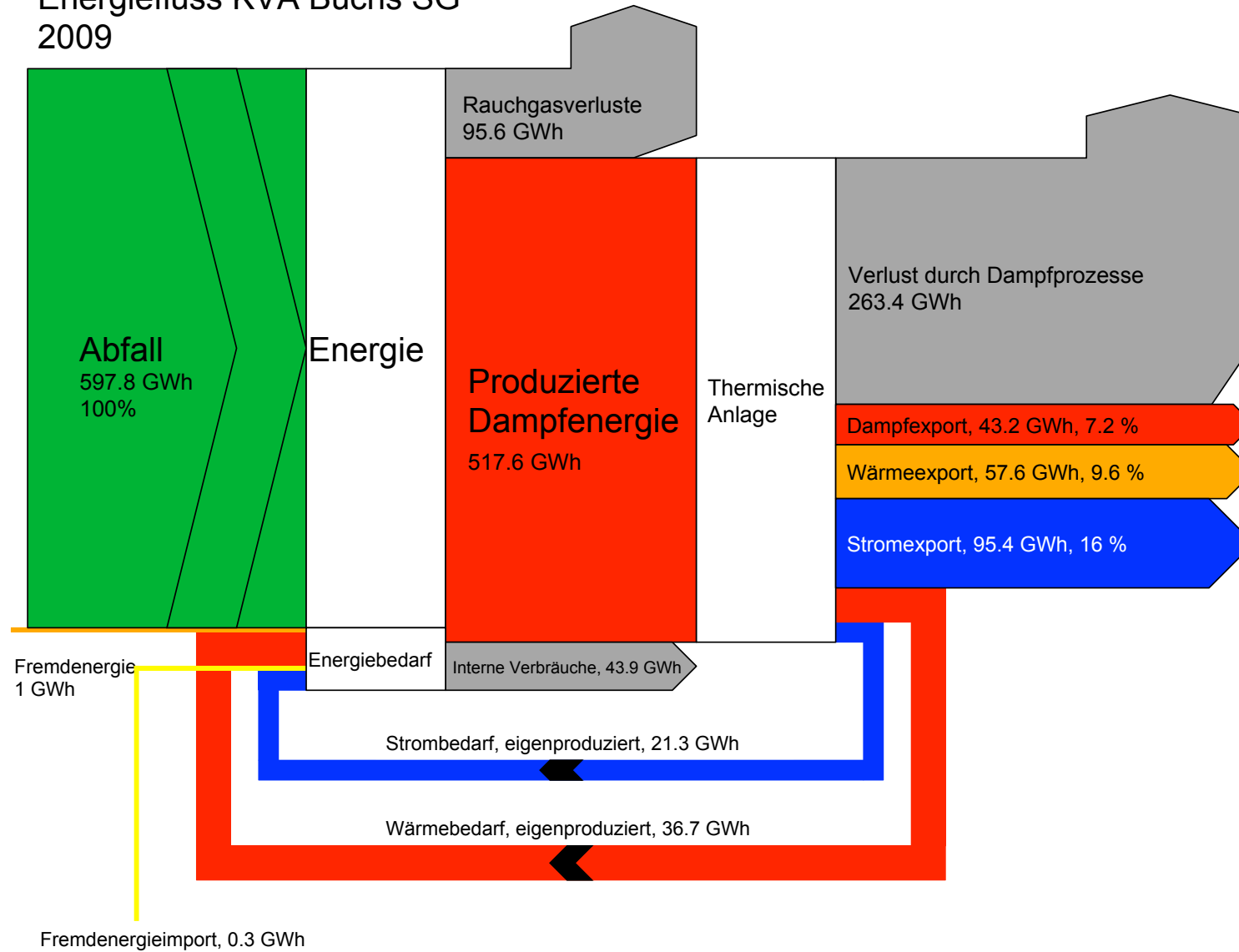
Radiographie du dragon

Voyage à l'intérieur du Centre de valorisation des déchets

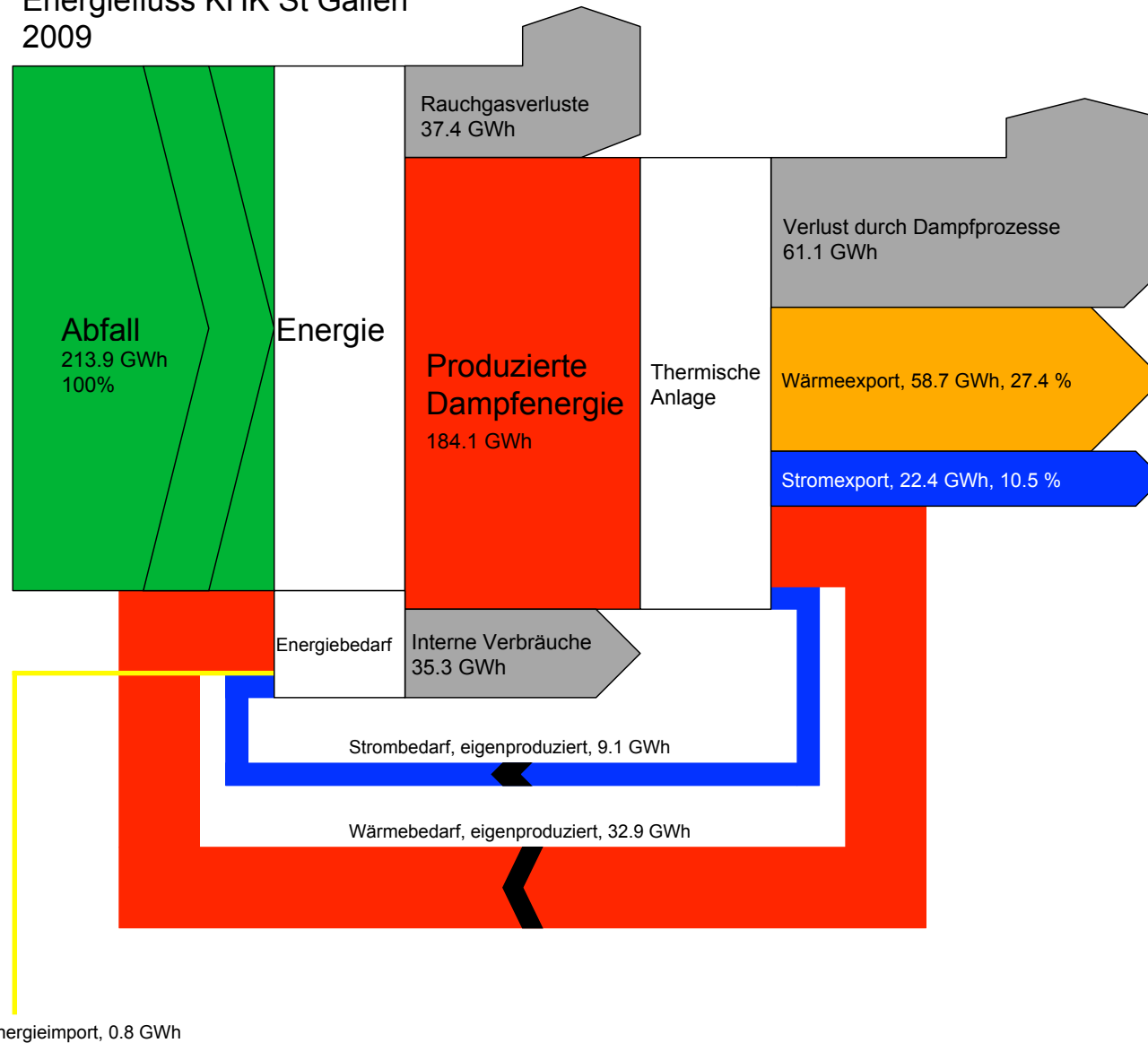
- | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|--|
| 1 Halle de déchargement | 6 Grappin d'alimentation du four | 11 Ventilateur d'air primaire | 16 Evaporateur | 17 Electrofiltre | 23 Ventilateur de tirage | 29 Tours de refroidissement | 33 Sous-station CAD |
| 2 Fosse à déchets encombrants | 7 Trémie d'alimentation du four | 12 Ventilateur d'air secondaire | 16b Surchauffeur final | 18 Chaîne à cendres | 24 Gaine des fumées | 30 Turbine, alternateur et condenseur | 34 Chaufferie d'appoint |
| 3 Grappin à déchets encombrants | 8 Goulotte d'alimentation du four | 13 Gaine d'air comburant | 16c Pré-surchauffeur | 19 Transporteur pneumatique à cendres | 25 Cheminée | 31 Epuration des eaux et traitement des cendres | 35 Transformateur électrique de distribution |
| 4 Déchiqueteur | 9 Grille | 14 Fosse à mâchefers | 16d Evaporateur | 20 Silo à cendres | 26 Bâche alimentaire | | |
| 5 Fosse principale | 10 Extracteur de mâchefers | 15 Chaudière | 16e Economiseur | 21 Laveur | 27 Echangeurs de chaleur pour le CAD | | |
| | | | | 22 Venturi électrofiltrants | 28 Pompes alimentaires | | |

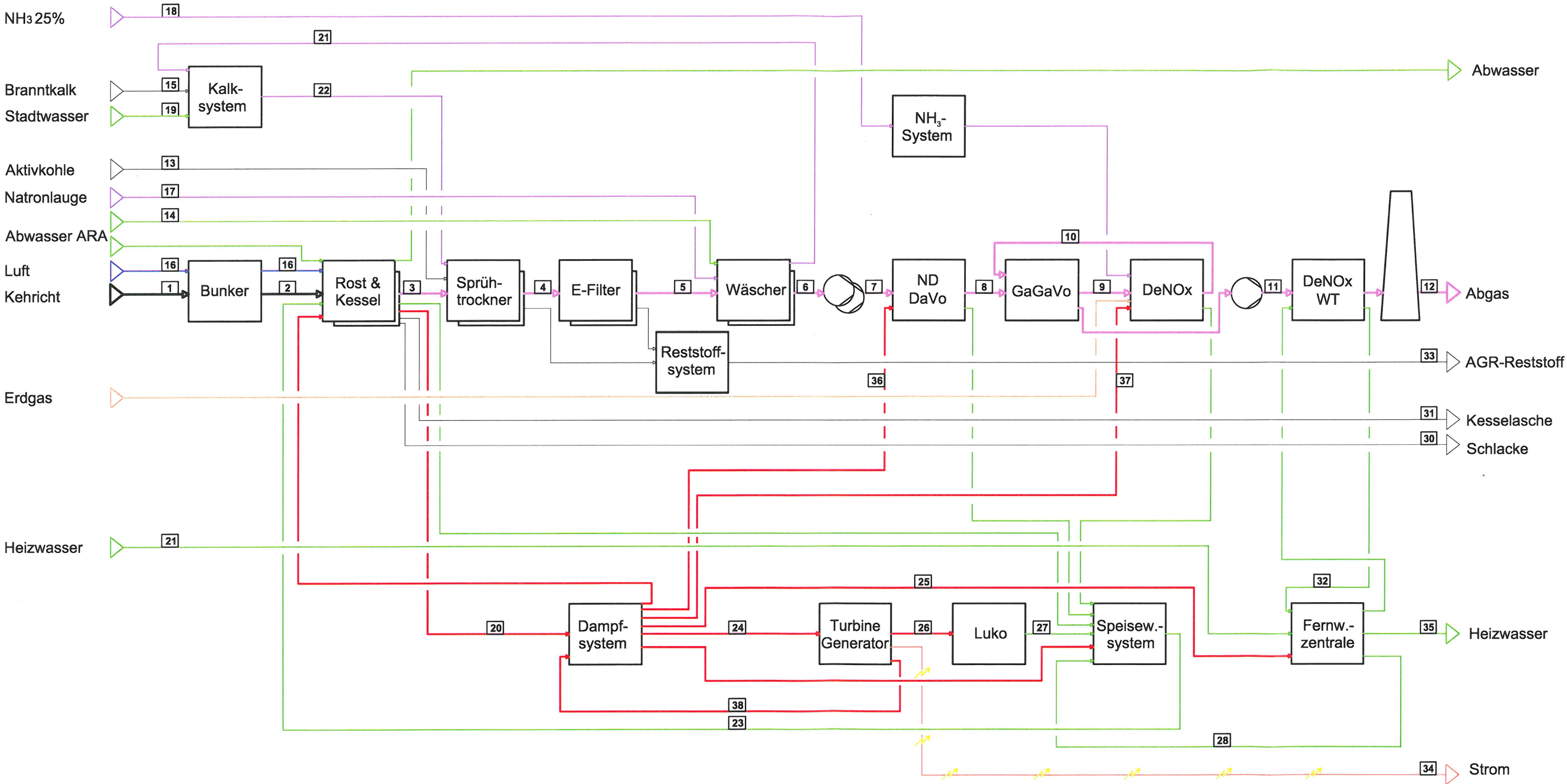


Energiefluss KVA Buchs SG 2009

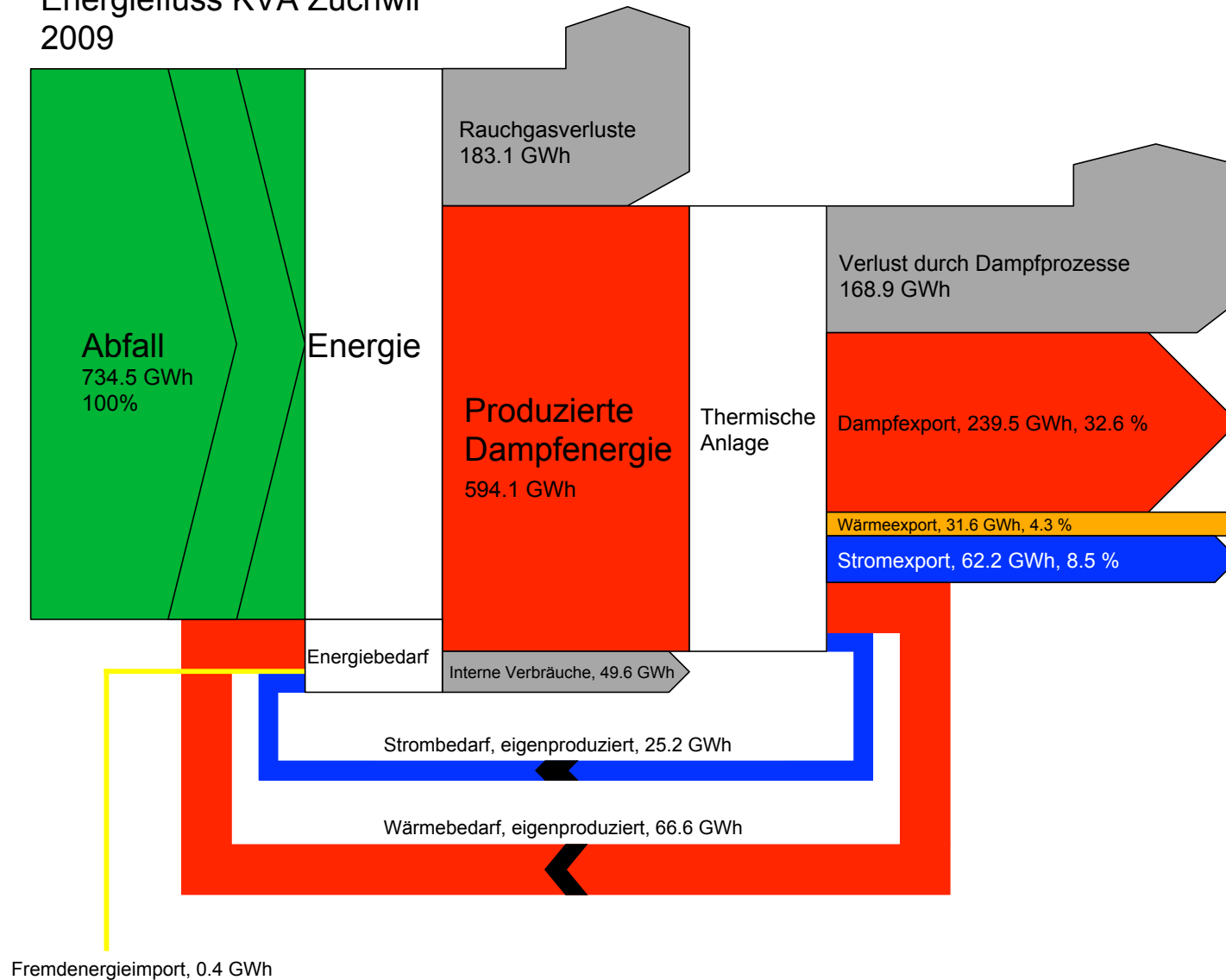


Energiefluss KHK St Gallen 2009



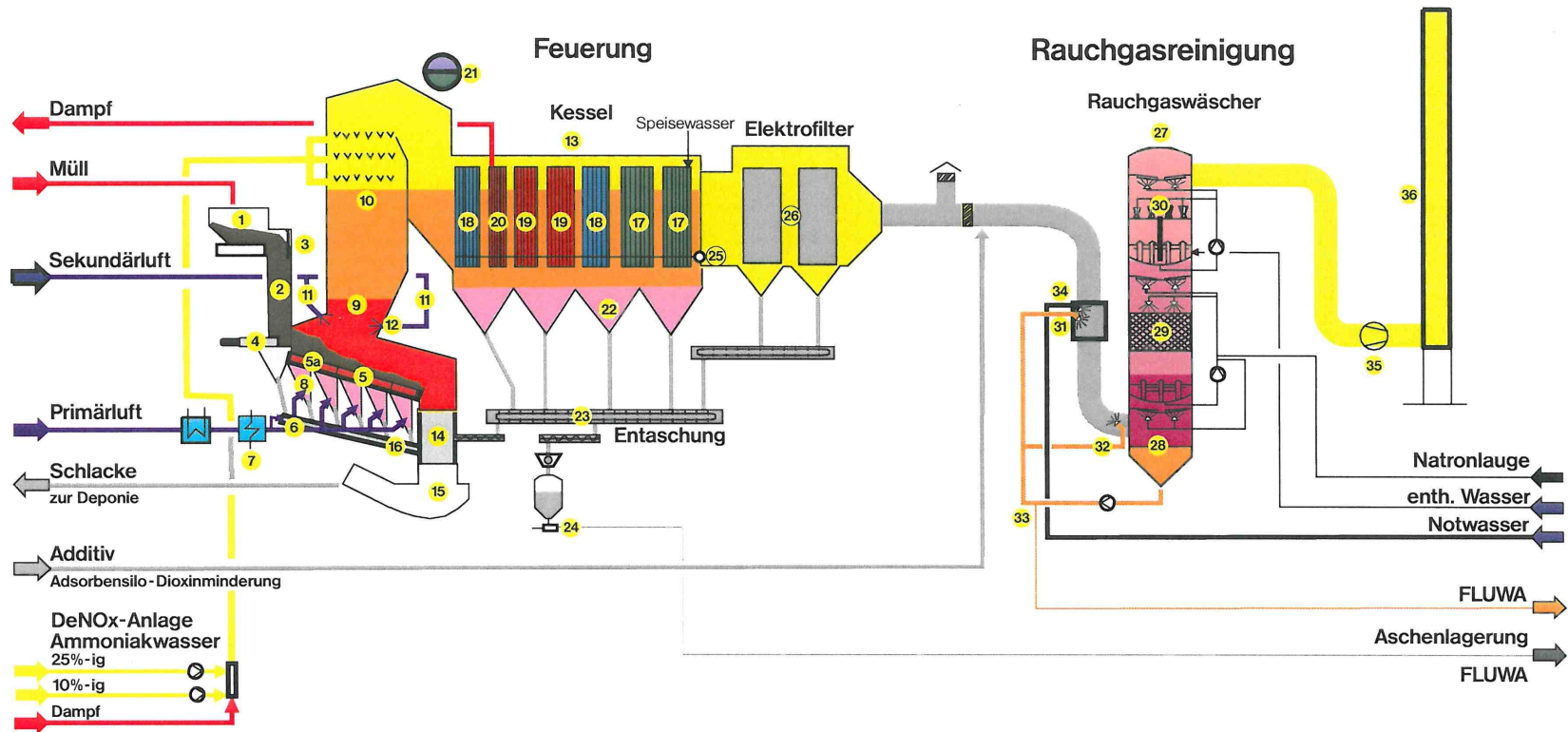


Energiefluss KVA Zuchwil 2009



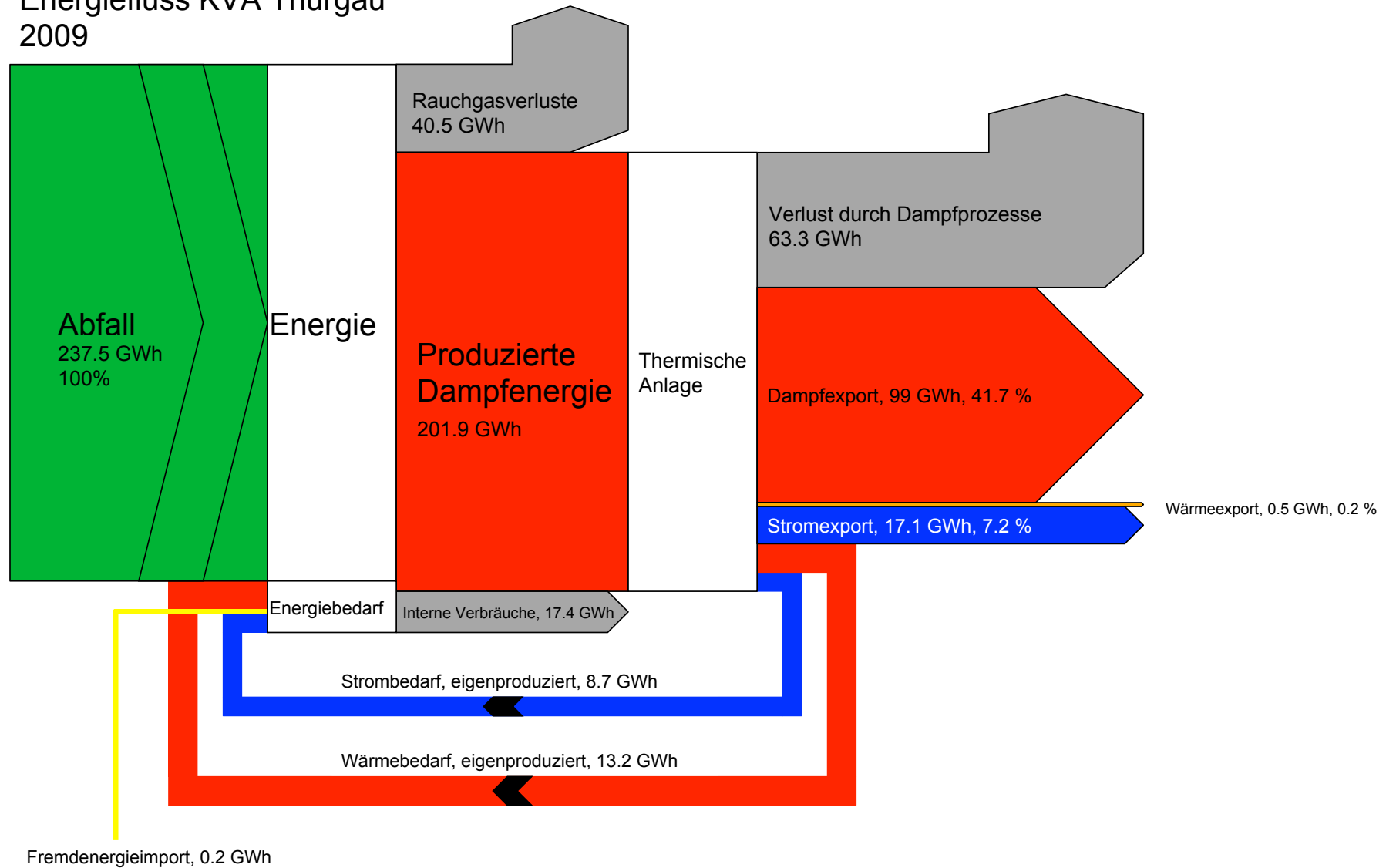
KVA Emmenspitz Zuchwil

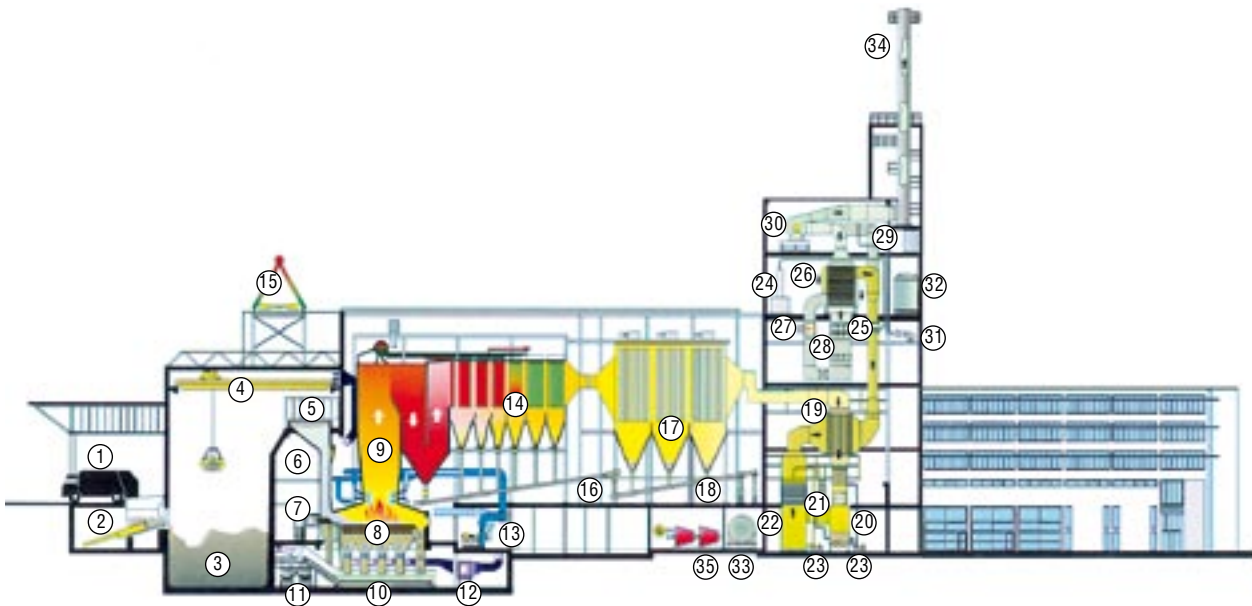
Verfahrensfließbild 4. Verbrennungslinie



- | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------|
| ① Einfülltrichter | ⑥ Primärluft | ⑪ ⑫ Sekundärluft u. -düsen | ⑰ Speisewasservorwärmung | ⑳ Aschetrichter | ⑳ Rauchgaswäscher | ⑳ Quench-Nachbedüsung |
| ② Füllschacht | ⑦ LUVO | ⑬ Kessel | ⑱ Verdampfer | ㉑ Kessel-Rostentsorgung | ㉒ Quenchkreislauf | ㉓ Quenchwasser-Ausschleusung |
| ③ Absperklappe | ⑧ Durchfallschächte | ⑭ Schlackenschacht | ⑲ Vorüberhitzer | ㉔ Pneum. Aschenförderung | ㉕ Füllkörperkreislauf | ㉖ Notbedüsung |
| ④ Dosierstössel | ⑨ Feuerraum | ⑮ Stösselentschlacker | ㉑ Endüberhitzer | ㉕ Kessel-Klopfvorrichtung | ㉖ Ring-Jet-Kreislauf | ㉗ Saugzuggebläse |
| ⑤ ⑤a Rost, Aquaroll-Rost | ⑩ Nachbrennkammer | ⑯ Pneum. Rostentsorgung | ㉒ Kesseltrommel | ㉖ Elektrofilter | ㉗ Quenchdüsen | ㉘ Kamin |

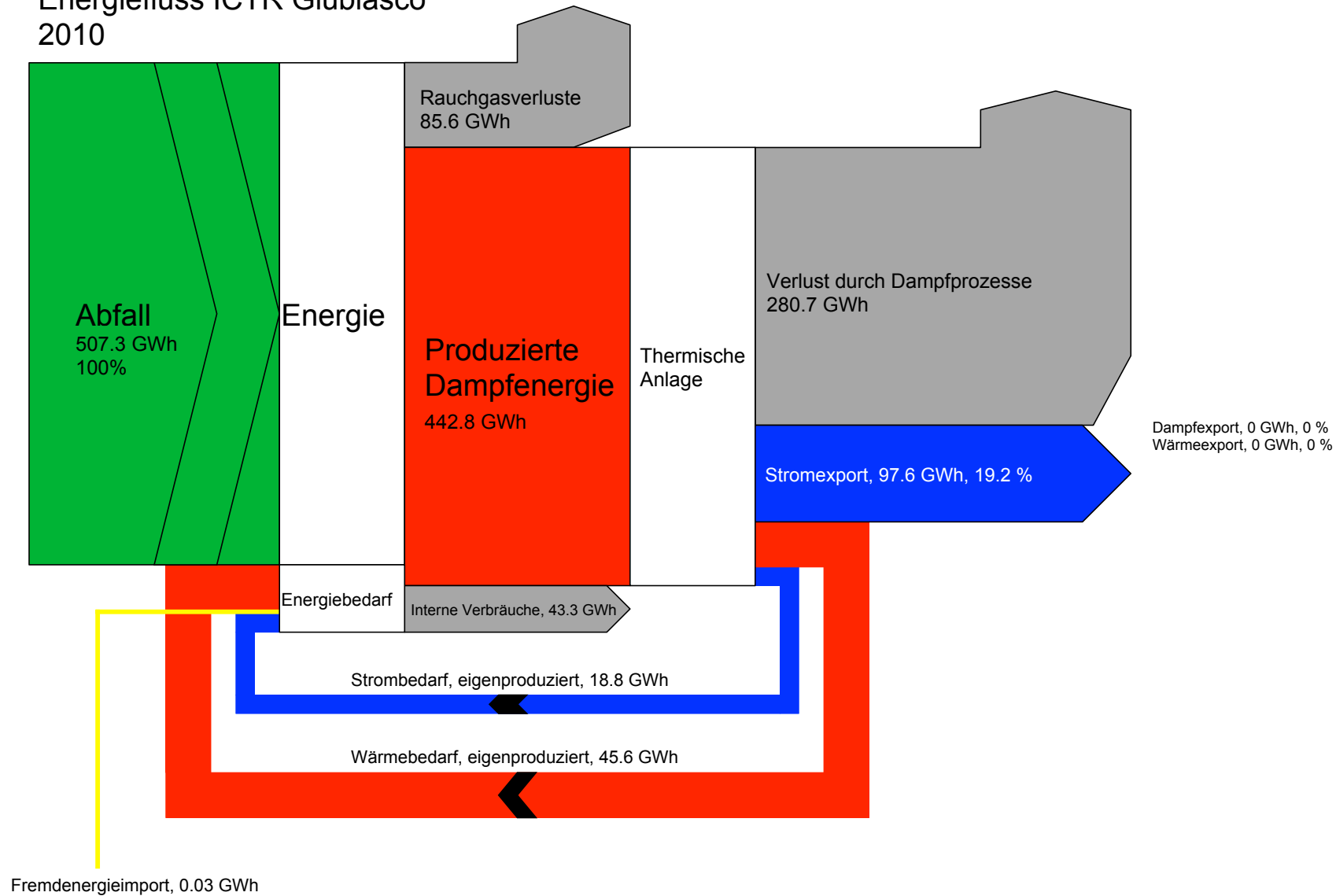
Energiefluss KVA Thurgau 2009





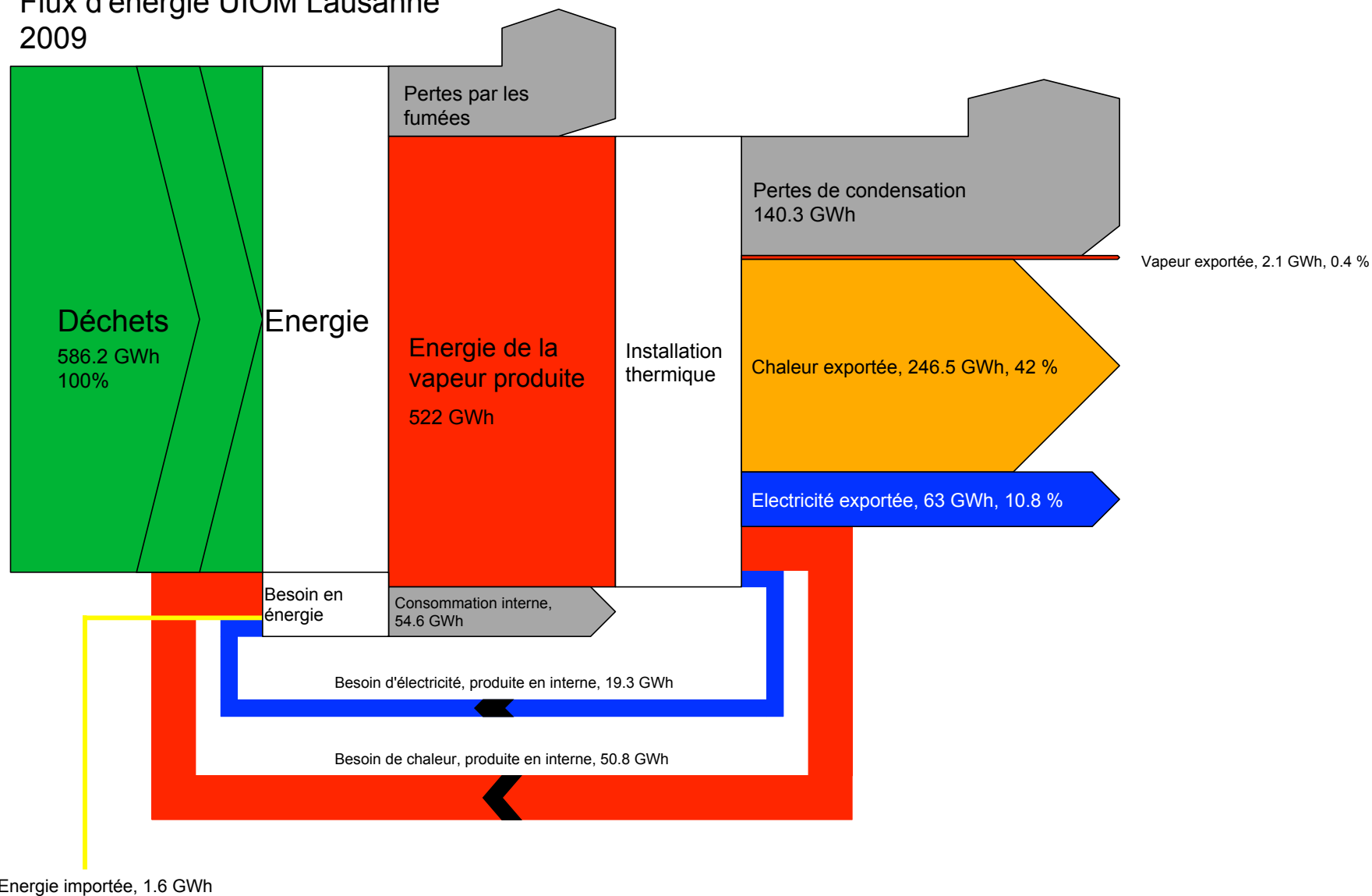
- | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---|
| 1 Entladehalle | 10 Nassentschlacker | 19 Wärmetauscher | 28 SCR-Reaktor |
| 2 Sperrmüllschere | 11 Schlackenband | 20 Saurer Wäscher | 29 DeNO _x -Bypass-RG-Leitung |
| 3 Kehrlichtbunker | 12 Primärluftsystem mit Luvo | 21 Tropfenabscheider | 30 Saugzugventilator |
| 4 Krananlage | 13 Sekundärluftsystem | 22 Basischer Wäscher | 31 Sperrluftgebläse |
| 5 Kranführerkabine | 14 Dampfkessel | 23 Wäscherpumpen | 32 Notwassertank |
| 6 Einfülltrichter mit Schacht | 15 Luftkondensationsanlage | 24 NH ₄ OH-Sprühverdampfer | 33 Abwasserstapeltank |
| 7 Kehrlichtzuteiler | 16 Flugaschetransportsystem Kessel | 25 NH ₄ OH-Eindüsung | 34 Kamin |
| 8 Verbrennungsrost | 17 Elektrofilter | 26 Wärmetauscher | 35 Turbogruppe |
| 9 Feuerraum | 18 Flugaschetransportsystem E-Filter | 27 Kanalbrenner | |

Energiefluss ICTR Giubiasco 2010

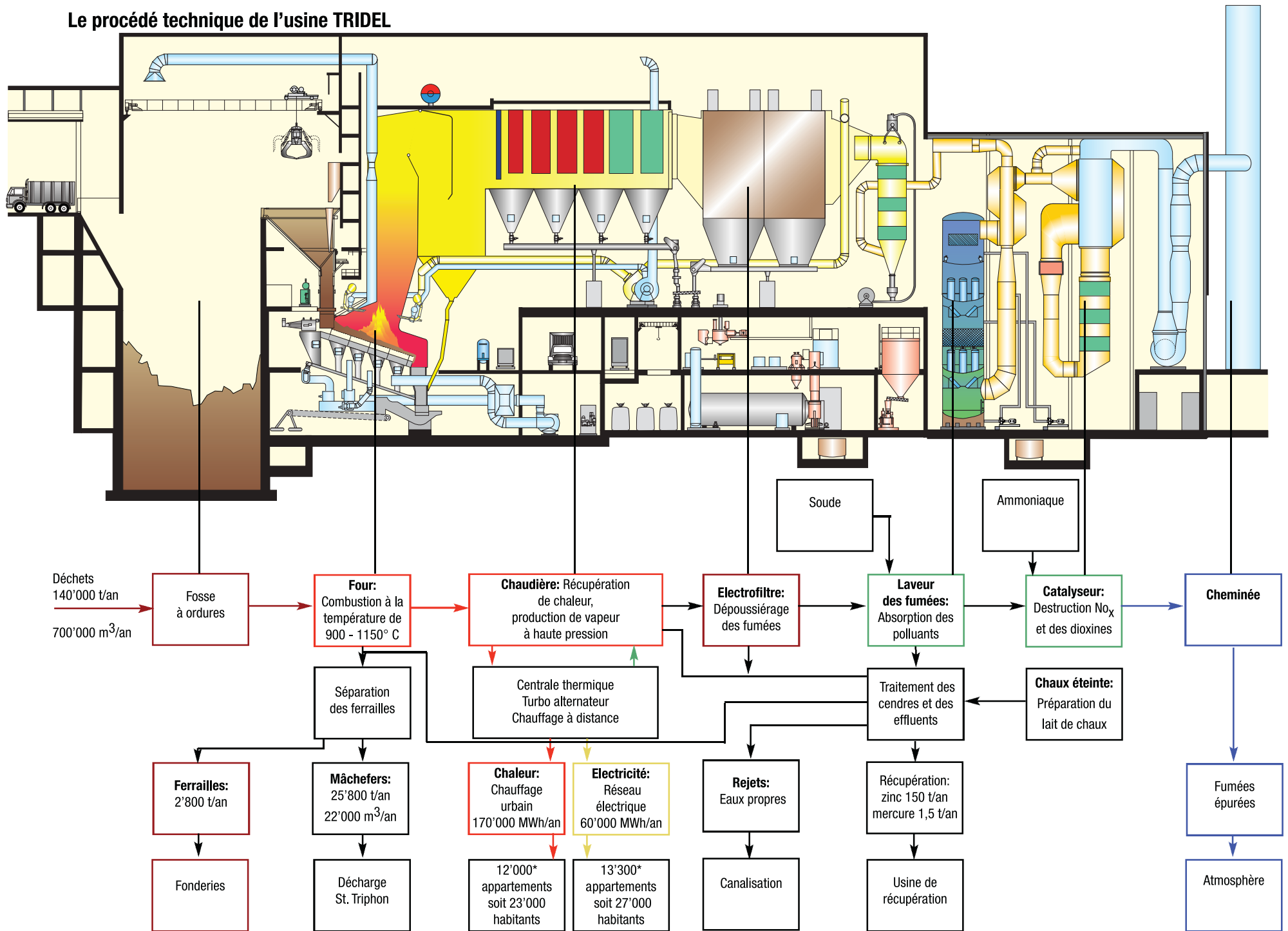




Flux d'énergie UIOM Lausanne 2009



Le procédé technique de l'usine TRIDEL



Flux d'énergie UTO du Valais central 2009

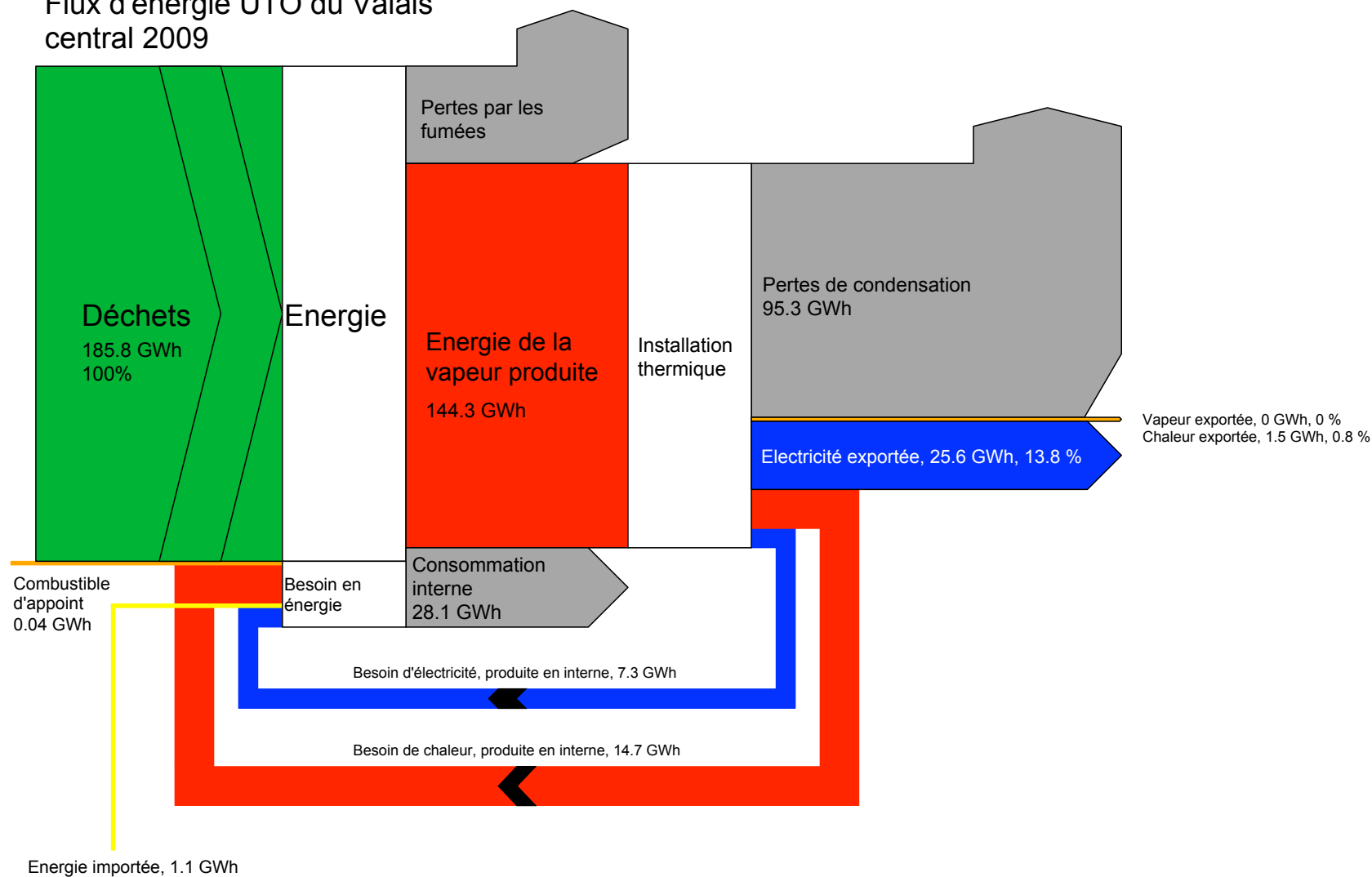
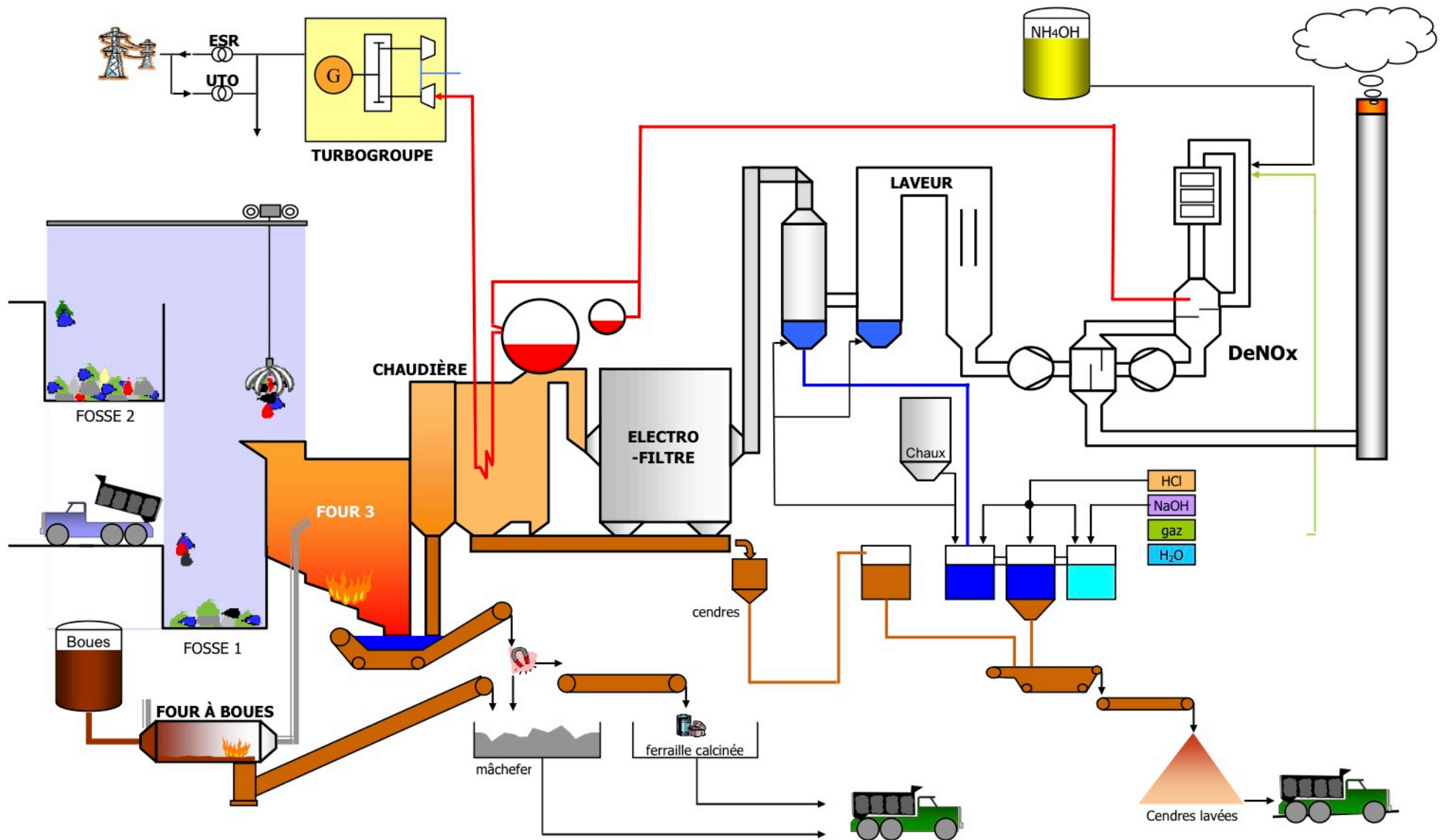
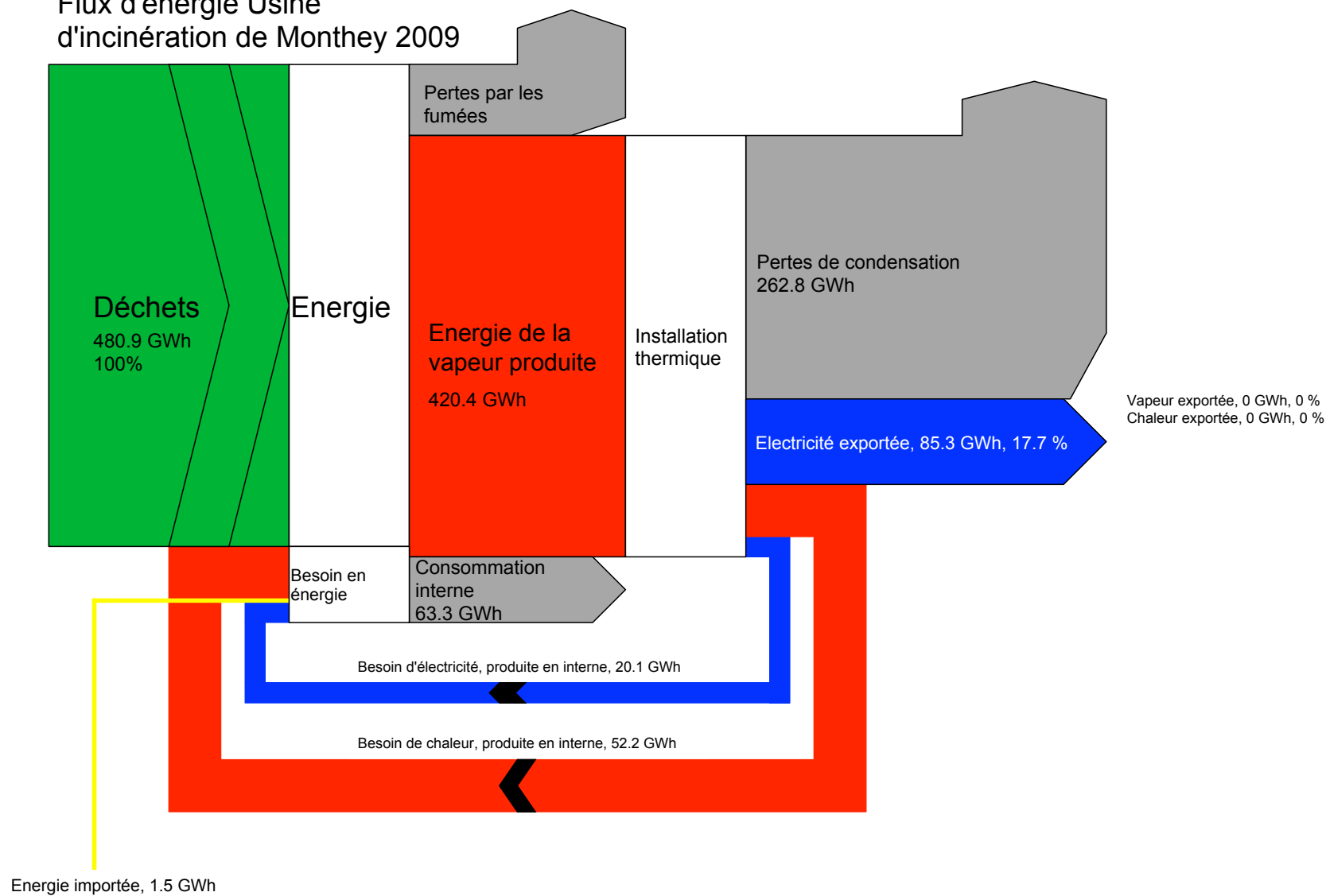


SCHÉMA DE PRINCIPE DES INSTALLATIONS / UTO - UVRIER

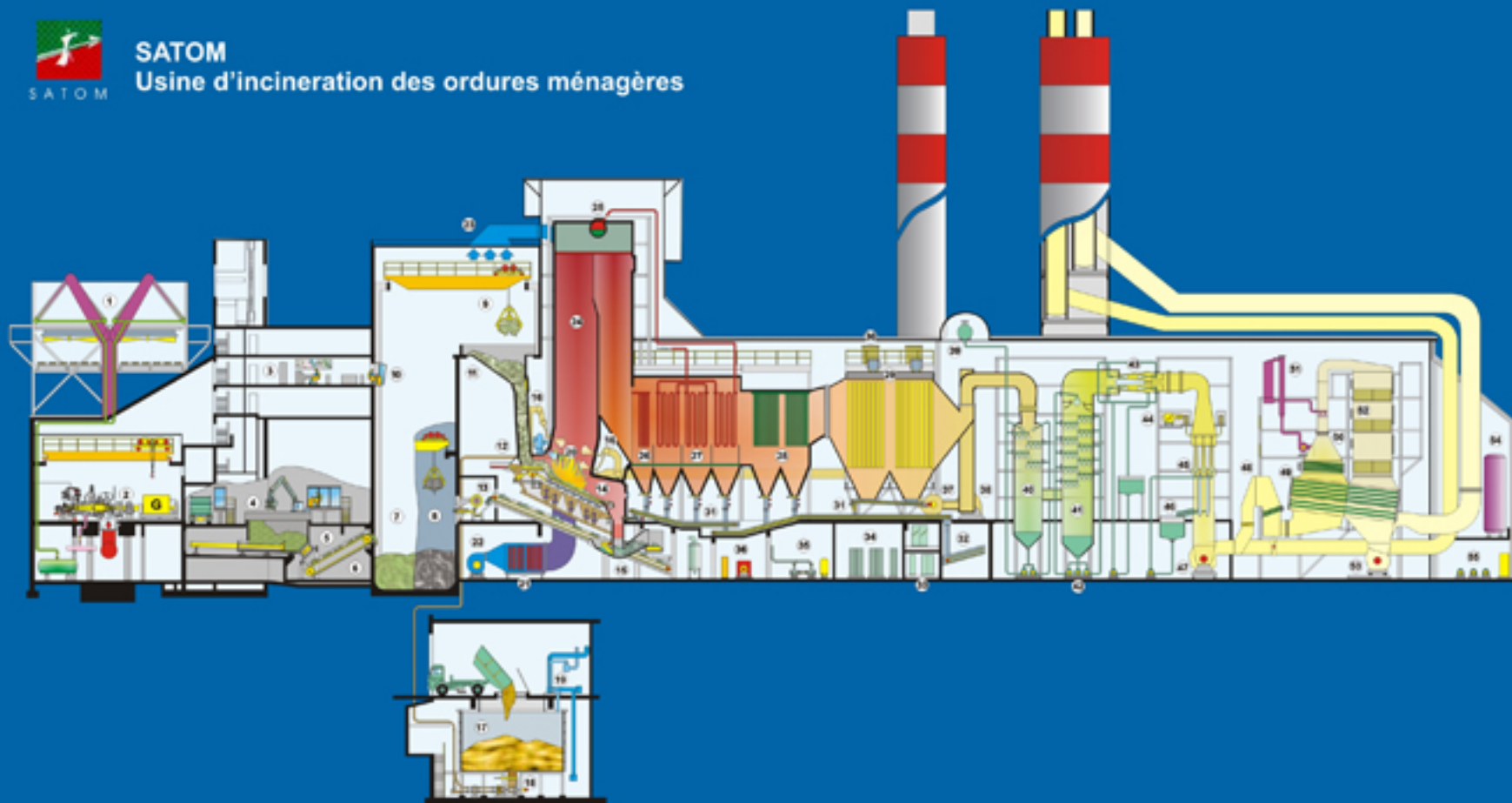


Flux d'énergie Usine d'incinération de Monthey 2009

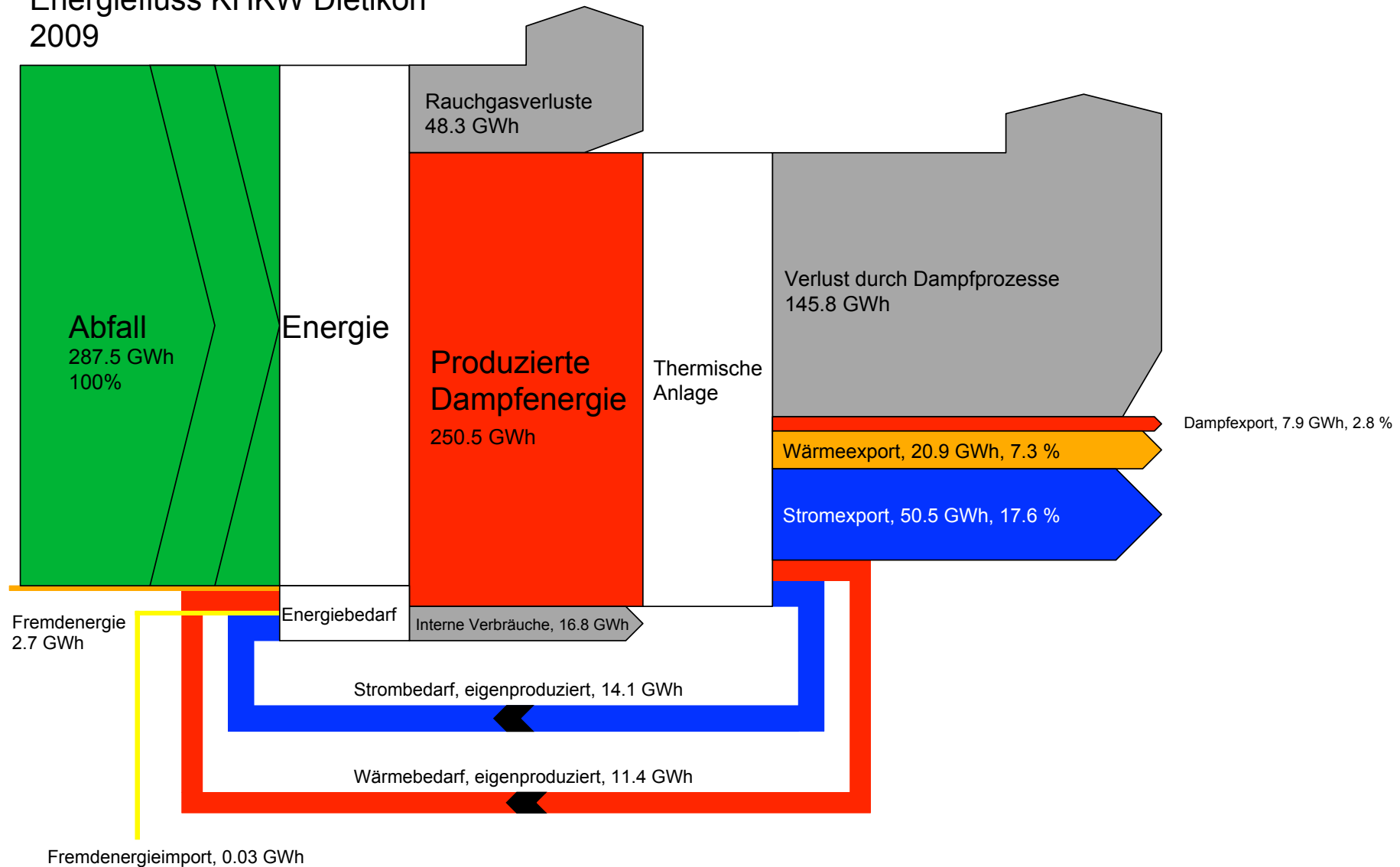


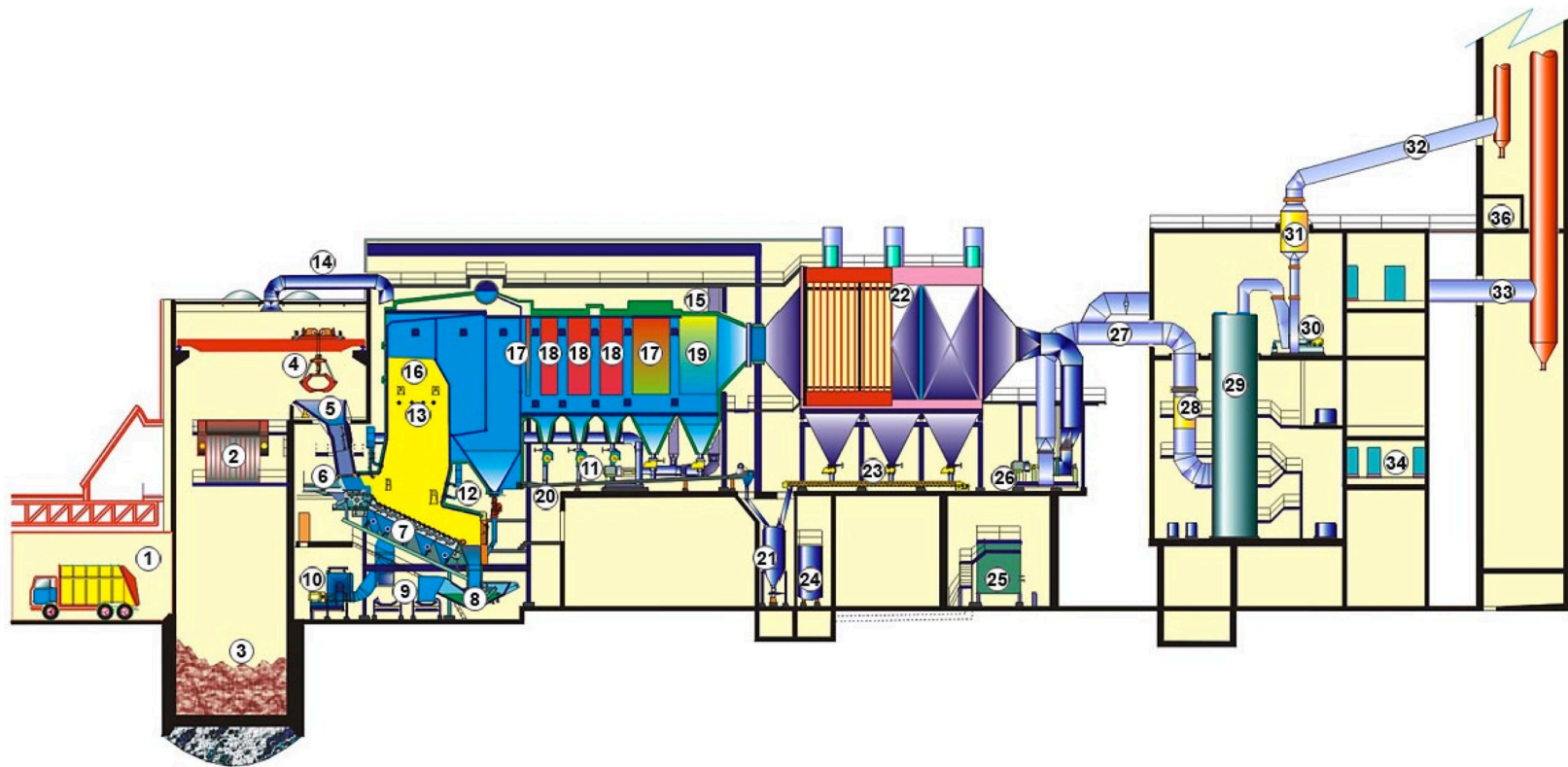


SATOM
Usine d'incinération des ordures ménagères

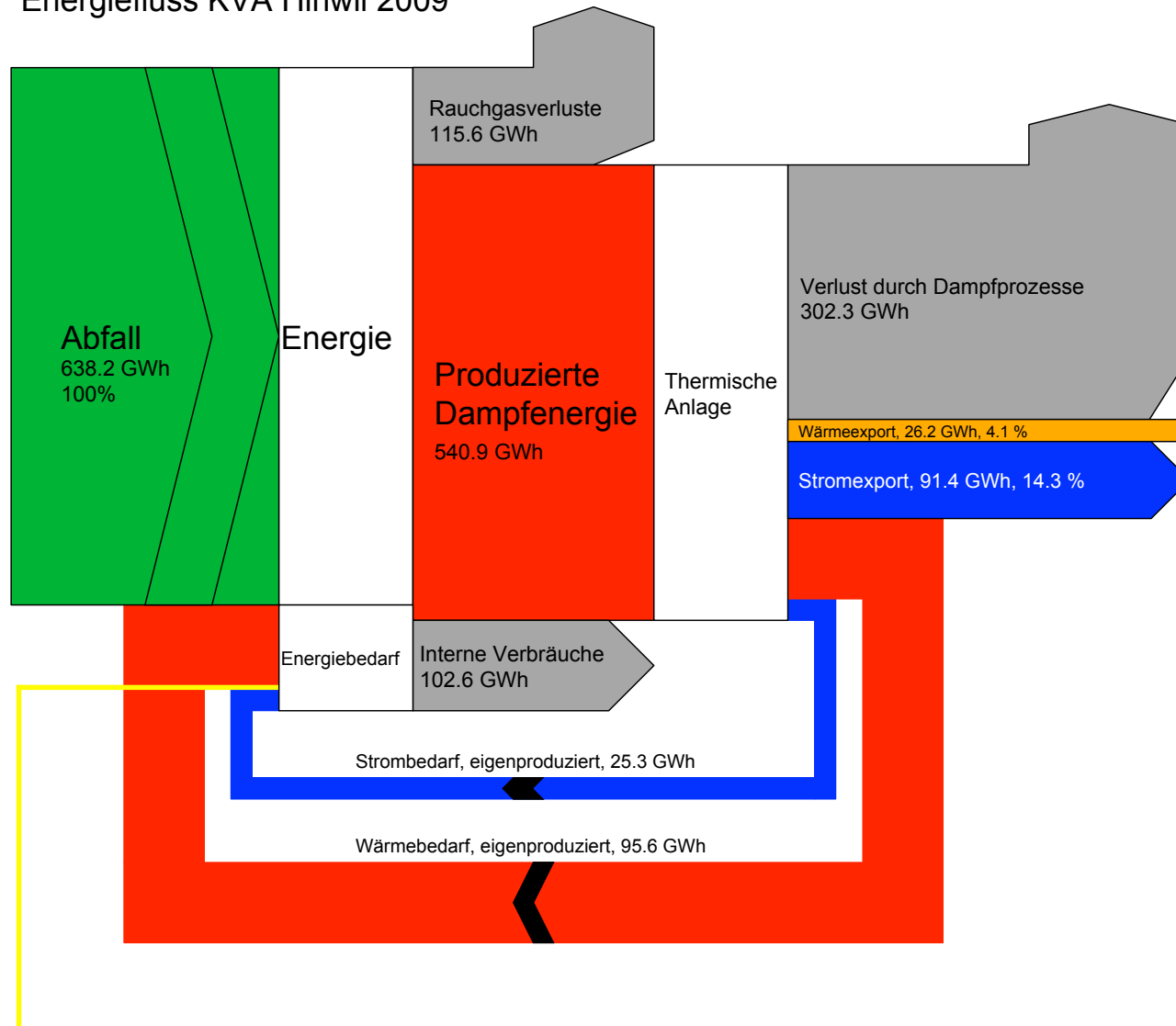


Energiefluss KHKW Dietikon 2009

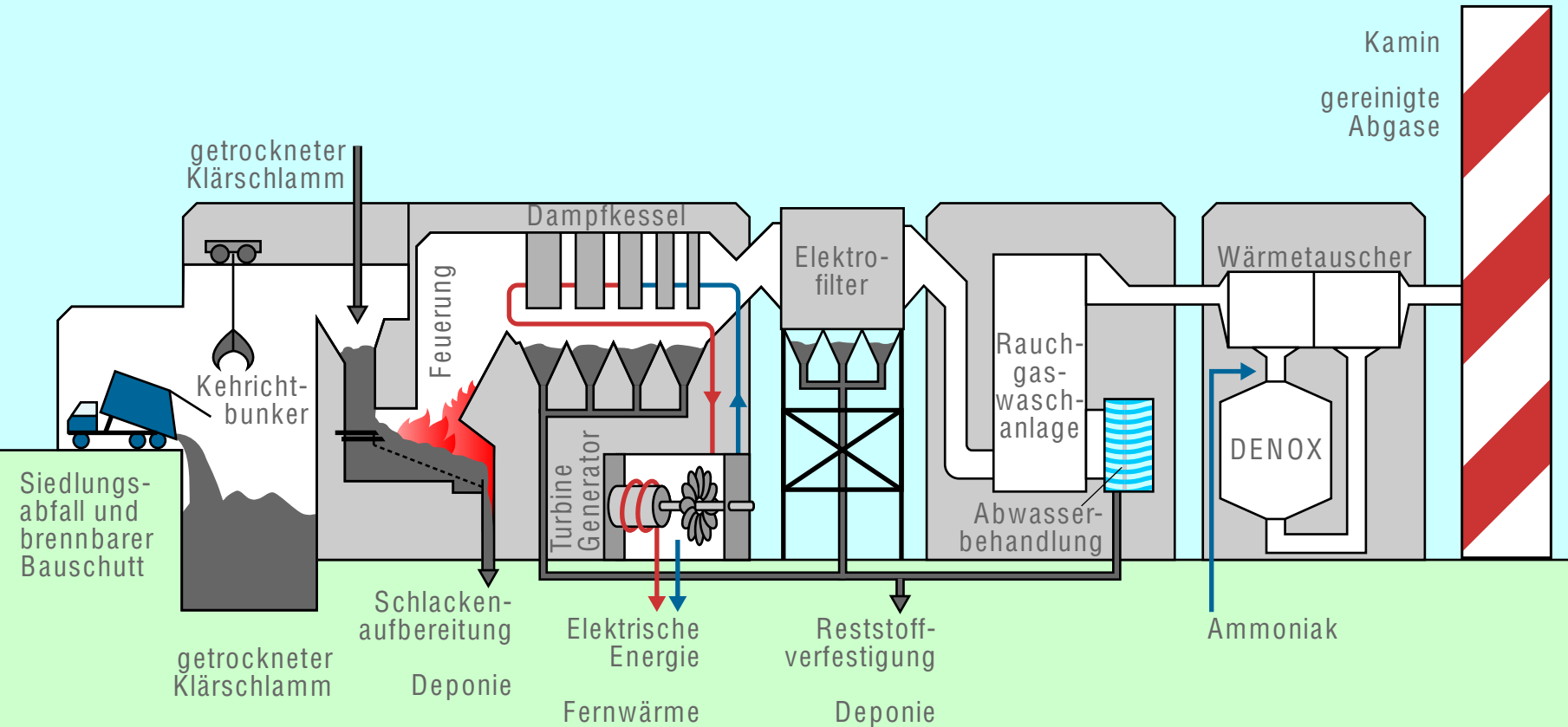




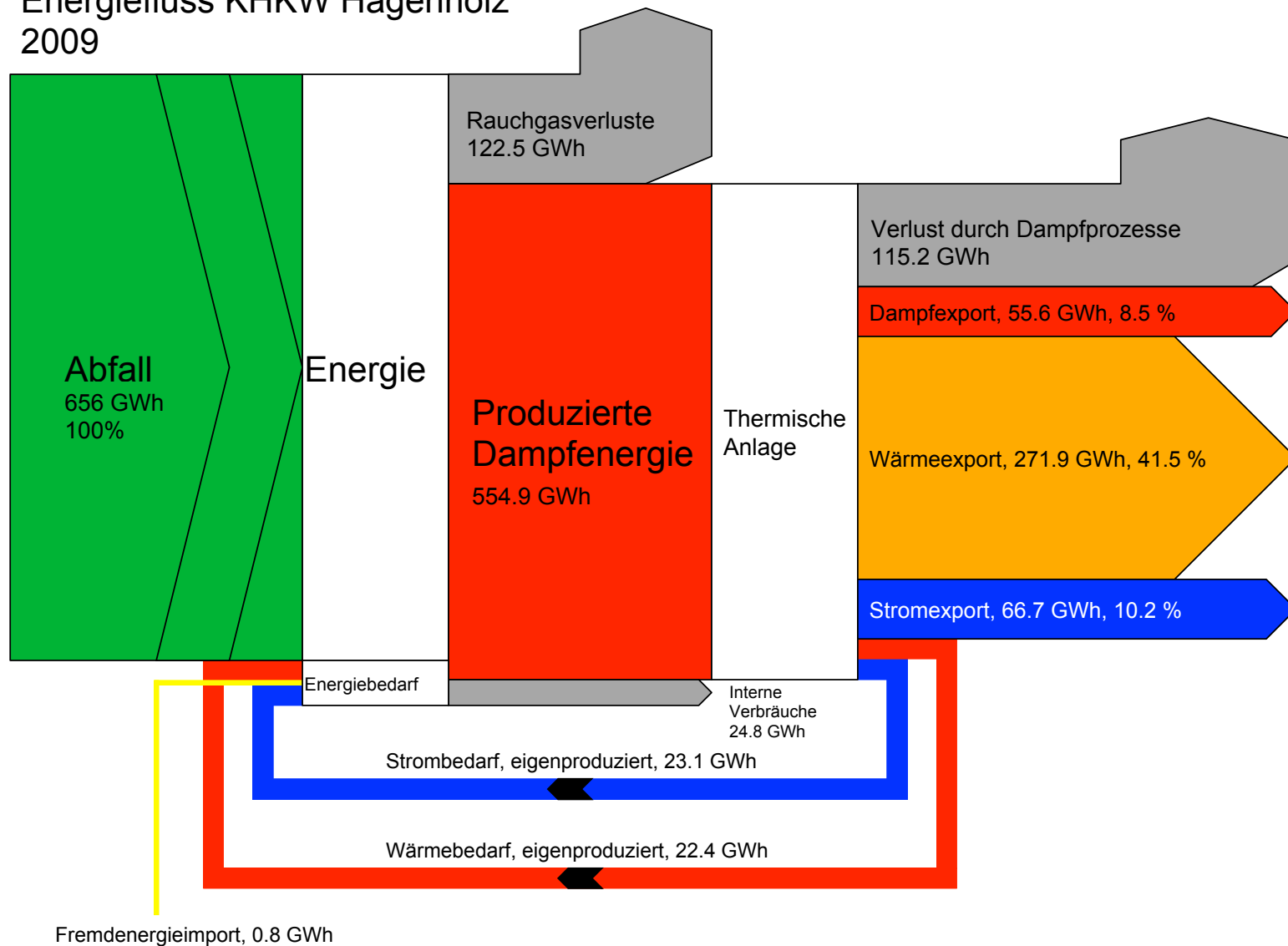
Energiefluss KVA Hinwil 2009

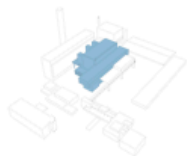


Fremdenergieimport, 0 GWh



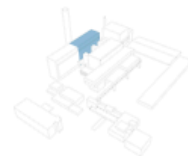
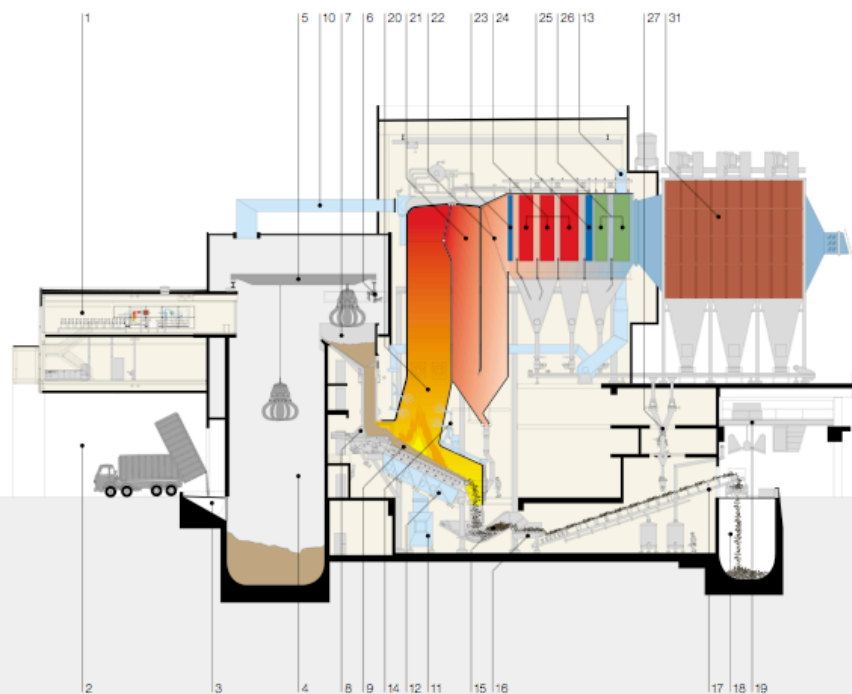
Energiefluss KHKW Hagenholz 2009





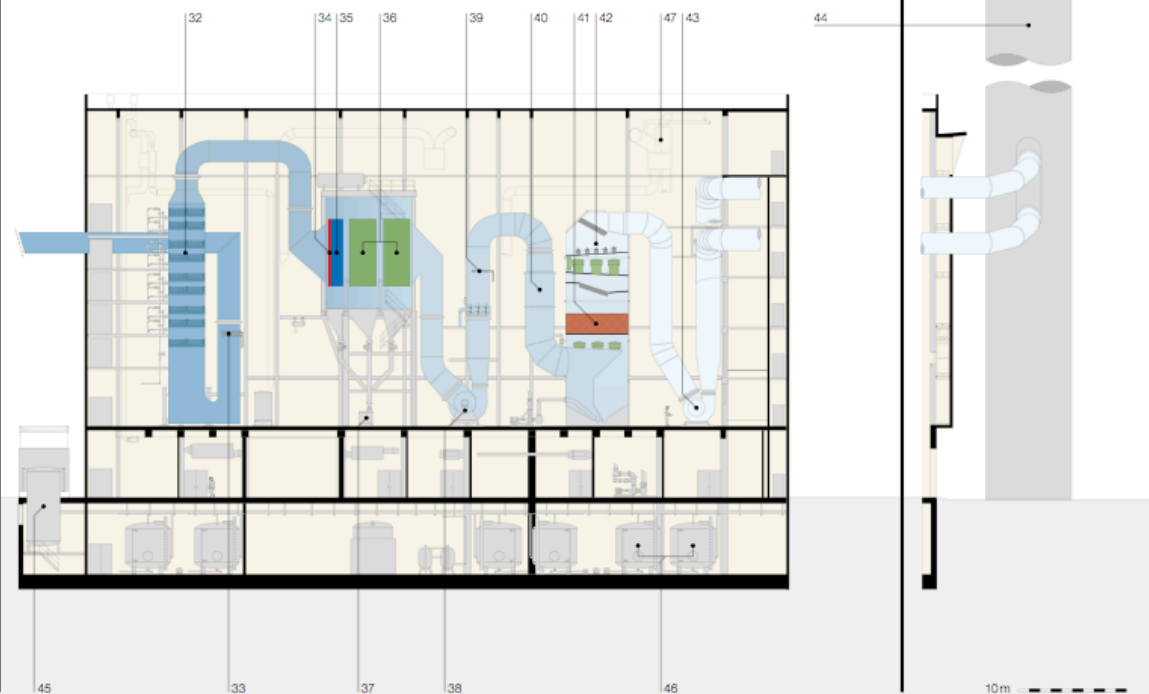
Verbrennung und Dampferzeugung

- | | | |
|---------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1 Leitstand | 10 Primärluftsaugkanal | 19 Schlackekran |
| 2 Entladehalle | 11 Primärluftsystem mit Luftvorwärmer | 20 Feuerraum (1. Kesselzug) |
| 3 Abladestelle mit Kippschurre | 12 Primärluftverteiler | 21 2. Kesselzug (Strahlung) |
| 4 Abfallbunker | 13 Sekundärluftsaugkanal | 22 3. Kesselzug (Strahlung) |
| 5 Krananlage | 14 Sekundärlufteindüsung | 23 Verdampfer 1 (Konvektion) |
| 6 Klärschlammabgabe | 15 Stösselentschlacker | 24 Überhitzer 3/2/1 (Konvektion) |
| 7 Einfülltrichter mit Schacht | 16 Schlackeschwingförderer | 25 Verdampfer 2 (Konvektion) |
| 8 Abfallzuteller (Dosierstößel) | 17 Schlackeförderband | 26 Vorwärmer (Konvektion) |
| 9 Verbrennungsrost | 18 Schlackebunker (Zwischenlager) | 27 Flugaschefördersystem |

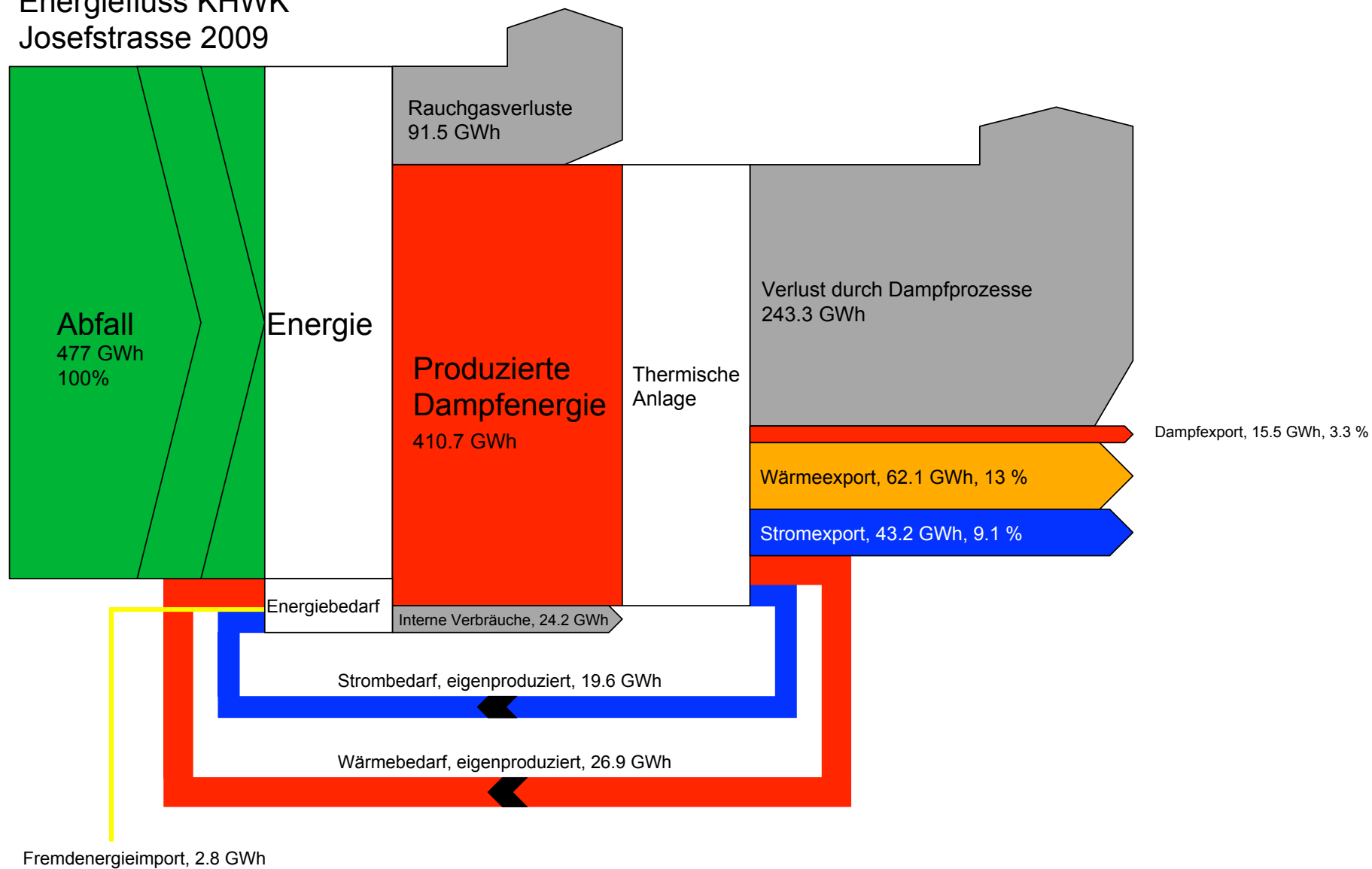


Rauchgasreinigung

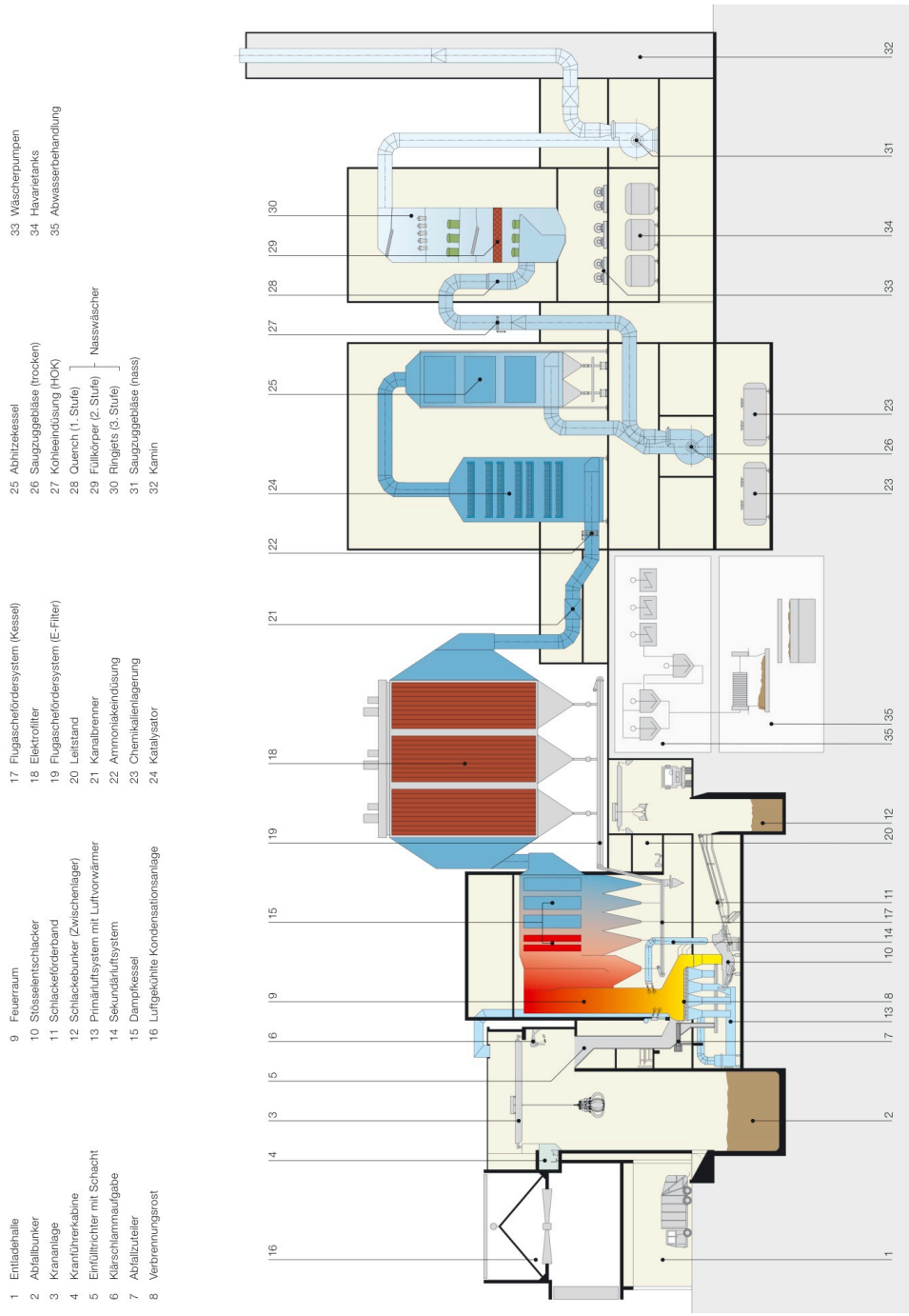
- | | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| 31 Elektrofilter (3 Felder) | 40 Quench (1. Stufe) | } Nasswäscher |
| 32 Katalysator | 41 Füllkörper (2. Stufe) | |
| 33 Ammoniakendüsung | 42 Ringjets (3. Stufe) | |
| 34 Überhitzer (MD) | 43 Saugzuggebläse 2 (nass) | |
| 35 Verdampfer (MD) | 44 Kamin | |
| 36 Vorwärmer (HD) | 45 Chemikalienannahme und -lagerung | |
| 37 Entaschung Abhitzekeessel | 46 Lager- und Havarietanks | |
| 38 Saugzuggebläse 1 (trocken) | 47 Lüftungsanlagen | |
| 39 Kohleendüsung (HOK) | | |



Energiefluss KHKW Josefstrasse 2009



Verbrennungslinie 1



Verbrennungslinie 2

