Energienutzungspotenzial bei Abgasreinigungsanlagen hinter Klärschlammverbrennung

Yannick Conrad

Rudi Karpf

ete.a Ingenieurgesellschaft mbH

Jürgen Petroll

e.Quadrat GmbH & Co. KG

50. Kraftwerkstechnisches Kolloquium

23. Und 24. Oktober 2018 in Dresden

ete.a

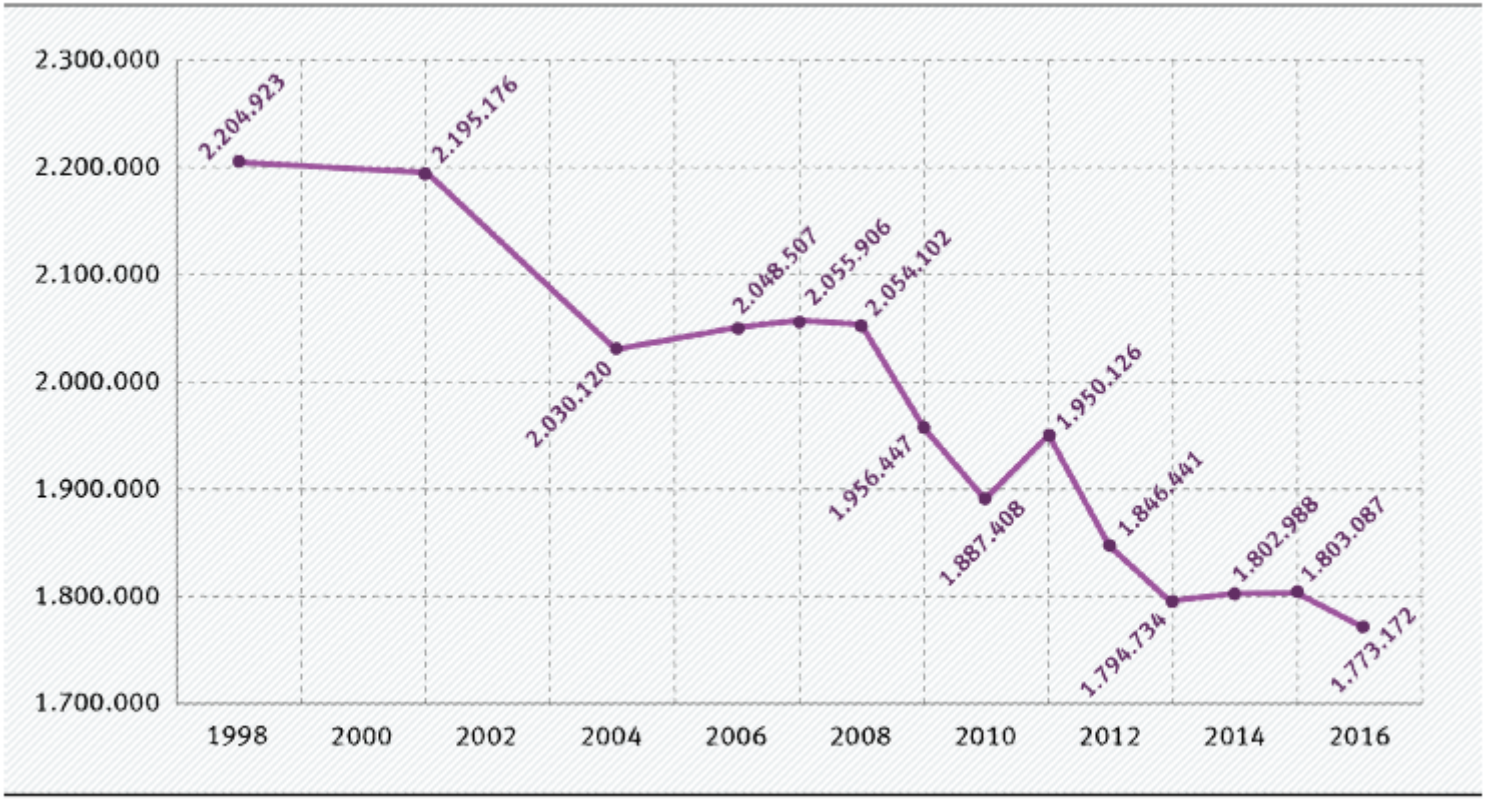
Ingenieurbüro für Energie- und Umweltengineering & Beratung

Vortragsinhalt

1. Einleitung
2. Abgasreinigungsanlagen hinter Klärschlammverbrennung
3. Energierückgewinnung in Abgasreinigungsanlagen
   a) Wärmeüberträger
   b) Abgaskondensation
   c) Energiewandlung und Nutzung
4. Fallbetrachtung
   a) Konzept 1: Nasswäscher mit Abgas-Wärmeübertrager
   b) Konzept 2: Nasswäscher mit Abgaskondensation
   c) Konzept 3: Trockenes Abgasreinigungsverfahren mit Wärmeübertrager

1. Einleitung

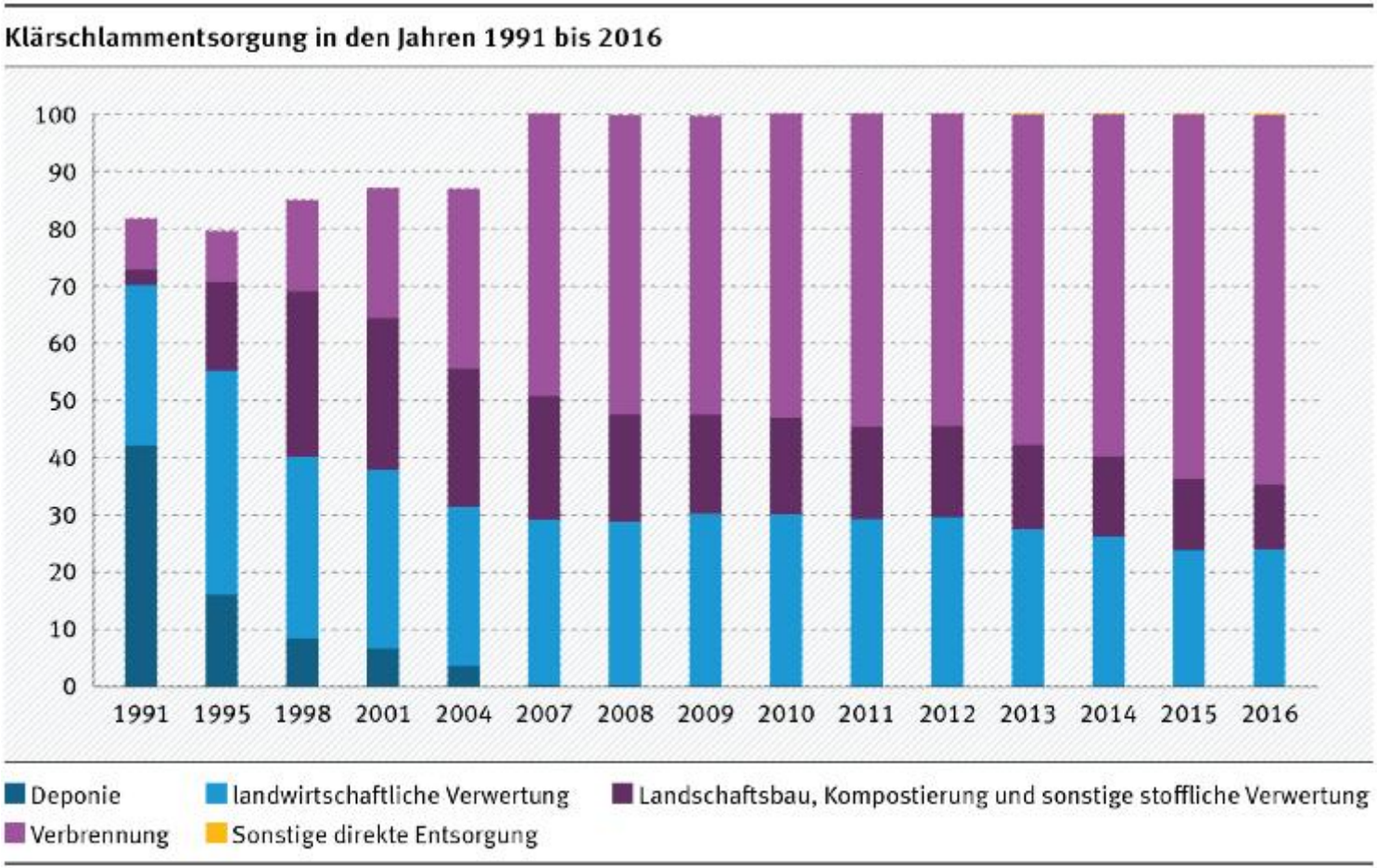
Entwicklung der Klärschlammenge in [t TM/a]



* Klärschlammmenge von 1998, 2001 und 2004 berechnete sich aus der statistischen Bundesamt angegebenen Gesamtmenge minus der ebenfalls angegebenen Klärschlammmenge zur Abgabe an andere Abwasserreinigungsanalgen

Quelle: [DESTATIS B – L]

1. Einleitung



Quelle: [DESTATIS B – L]

1. Einleitung

- Novellierung der AbfKlärV in 2017
  - Bodenbezogene Verwertung langfristig nicht mehr zulässig
  - Pflicht der Phosphorrückgewinnung

→Zubau von Monoklärschlammverbrennungen (MKSV)

- Grenzwerte der 17. BImSchV
- Hohe Anforderungen an der Abgasreinigung
- Gleichzeitig sollen die Anlagen Energieeffizient sein

Eine maximale Energienutzung ist anzustreben !!

2. Abgasreinigungsanlagen hinter Klärschlammverbrennung

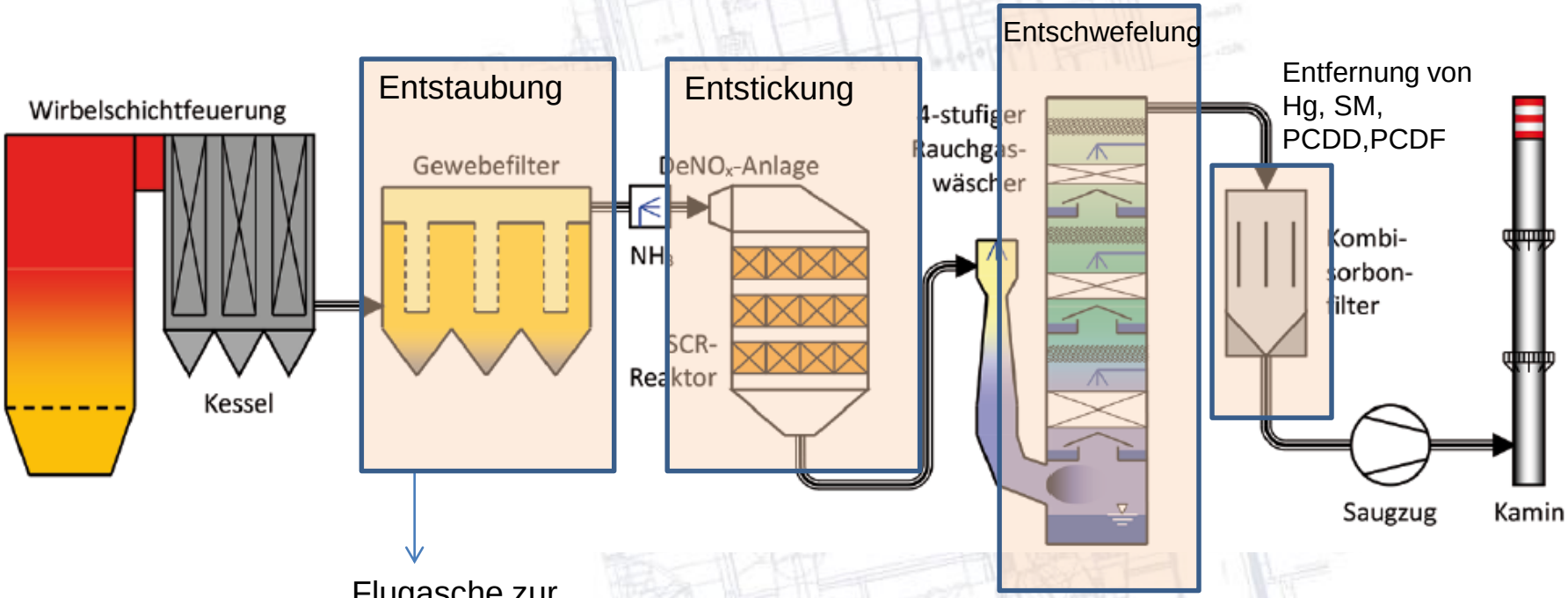
- Abgasparameter hinter MKSV:
  - Hoher Flugascheanteil nach Verbrennung (> 100.000 mg/m³.N.tr)
  - Feucht bis sehr feuchtes Abgas, je nach Trocknungsgrad des Klärschlammes (15 bis 45 Vol.-%)
  - Hohe SO_2-Konzentrationen (> 4.000 mg/m³.N.tr), wenig HCl (< 200 mg/m³.N.tr)
  - Anwesenheit von Quecksilber sowie Schwermetalle
  - Dioxine- und Furane
  - Stickoxide

2. Abgasreinigungsanlagen hinter Klärschlammverbrennung

- Anforderungen:
  - Grenzwerte nach 17. BImSchV
  - Rückgewinnung des Phosphors aus der Asche, möglichst ohne Additive (reine Entstaubungsstufe)
  - Abgasfeuchte
  - Hoher Entschwefelungsgrad erforderlich
  - Reduzierung von Hg, SM sowie PCDD/PCDF und Stickoxide unterhalb der GW

2. Abgasreinigungsanlagen hinter Klärschlammverbrennung

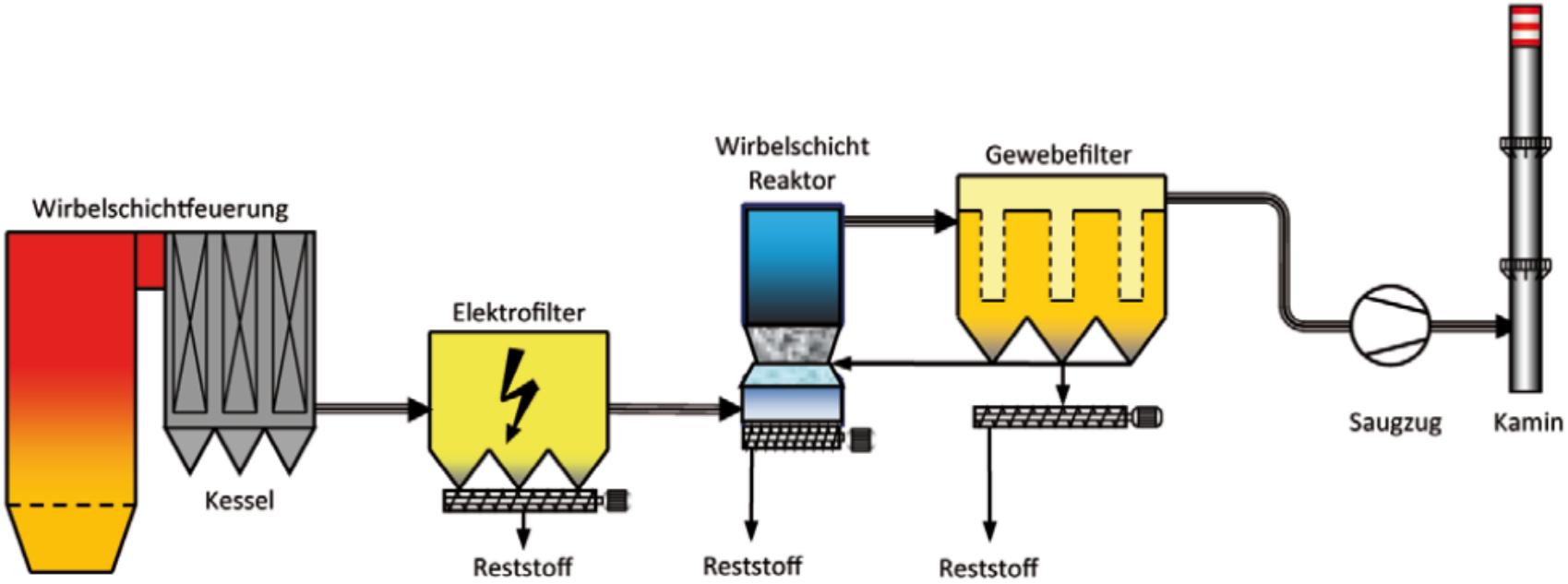
- Aufbau einer Abgasreinigung hinter Klärschlammverbrennung: Beispiel aus KSV Marl



Flugasche zur Phosphor-rückgewinnung

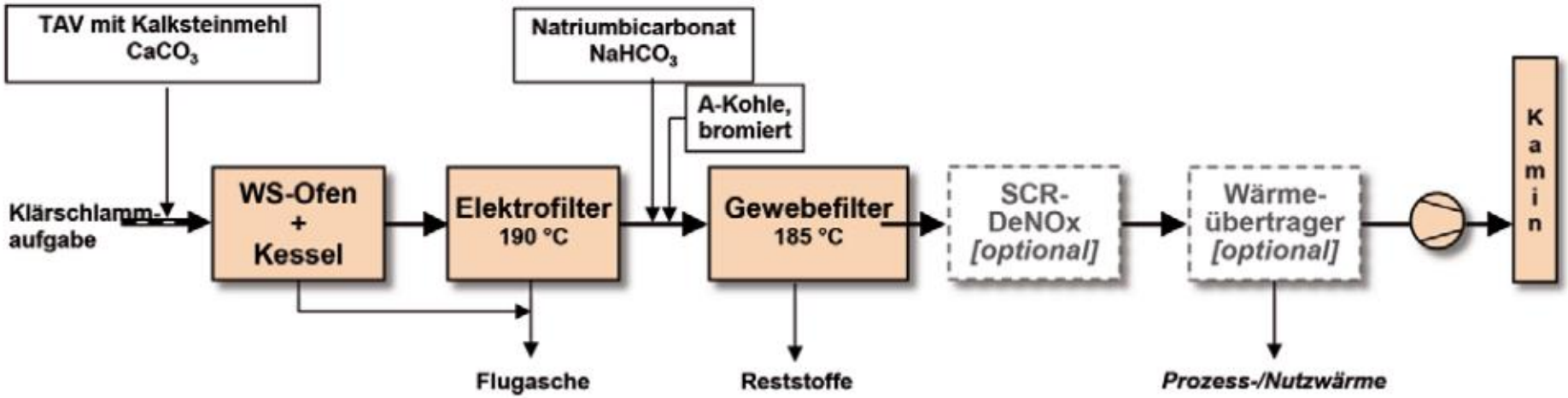
2. Abgasreinigungsanlagen hinter Klärschlammverbrennung

- Aufbau einer Abgasreinigung hinter Klärschlammverbrennung: Beispiel aus KSV Bonn



2. Abgasreinigungsanlagen hinter Klärschlammverbrennung

- Alternative: Trockenes Verfahren mit Natriumbicarbonat



3. Energierückgewinnung bei Abgasreinigungsanlagen

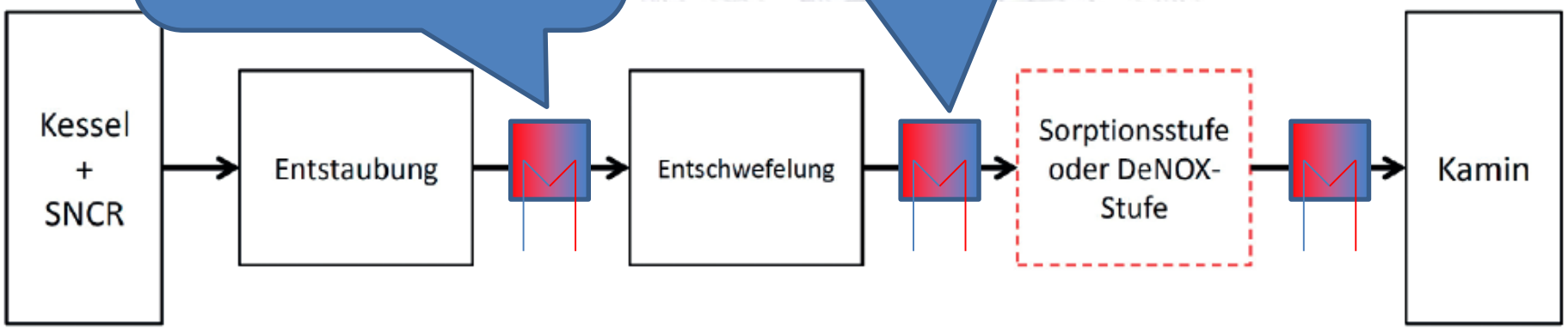
- Die Hauptnutzung der thermischen Energie im Abgas erfolgt bereits im Kessel
- Bei MKSV reicht die erzeugte Energie lediglich für die eigene Nutzung aus (Trocknungsprozesse, Nebenanlagen, etc.)
- Mit Abgastemperaturen nach Kessel bis ca. 250 °C ist jedoch das Potenzial einer weiteren energetischen Nutzung gegeben
- Beispiele aus Abfallverbrennungsanlagen bekannt (Bsp. MVA Delfzijl, MVA Wuppertal)

3. Energierückgewinnung bei Abgasreinigungsanlagen

a) Energieauskoppelung mit Abgas-Wärmeübertrager

- Hohe Energiereserven
- Kein Staub (Rippenrohr möglich)
- Hoher Säureanteil (Temp. Austritt > Säuretaupunkt)

- Keine Säure→ kleinere Austrittstemperaturen möglich
- Position eher für trockene Verfahren



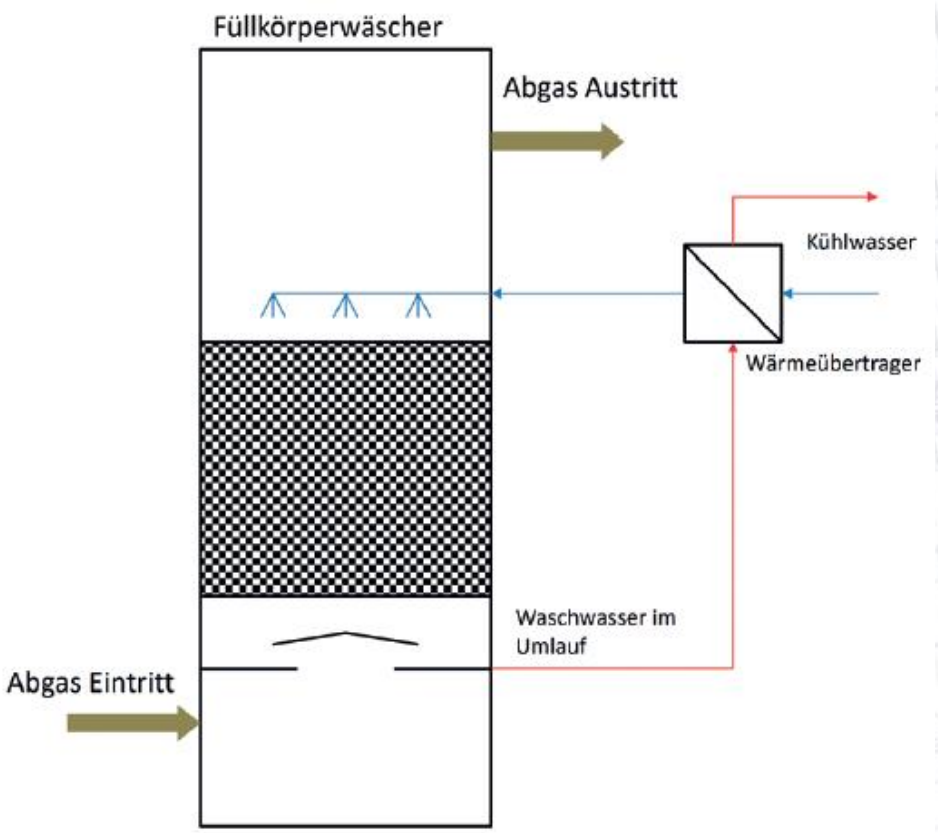
3. Energierückgewinnung bei Abgasreinigungsanlagen

b) Abgaskondensation

- Rückgewinnung der latente Wärme aus dem Abgas
- Abkühlung des Abgases unterhalb des Taupunktes
- Rückgewinnung der Kondensationsenergie als Niedertemperaturwärme
- Voraussetzung ist eine sehr niedrige Rücklauftemperatur
- Ausführung als Rohrkondensator oder als Füllkörperwäscher

3. Energierückgewinnung bei Abgasreinigungsanlagen

b) Abgaskondensation



- Temperaturniveau i.d.R < 50 °C
- Höher Wärmestrom

3. Energierückgewinnung bei Abgasreinigungsanlagen

c) Energiewandlung und –nutzung

- Bei der rekuperative Wärmeauskoppelung über Wärmeübertrager kann die Energie direkt in Fernwärme umgewandelt werden (90 °C < T < 150 °C) oder zur Kondensatvorwärmung genutzt werden
- Bei der Abgaskondensation ist eine Erhöhung des Temperaturniveau je nach Fall Sinnvoll

  →Wärmepumpe
- Erzeugung von Strom auch möglich
  - <u>ORC-Prozess</u>

3. Energierückgewinnung bei Abgasreinigungsanlagen

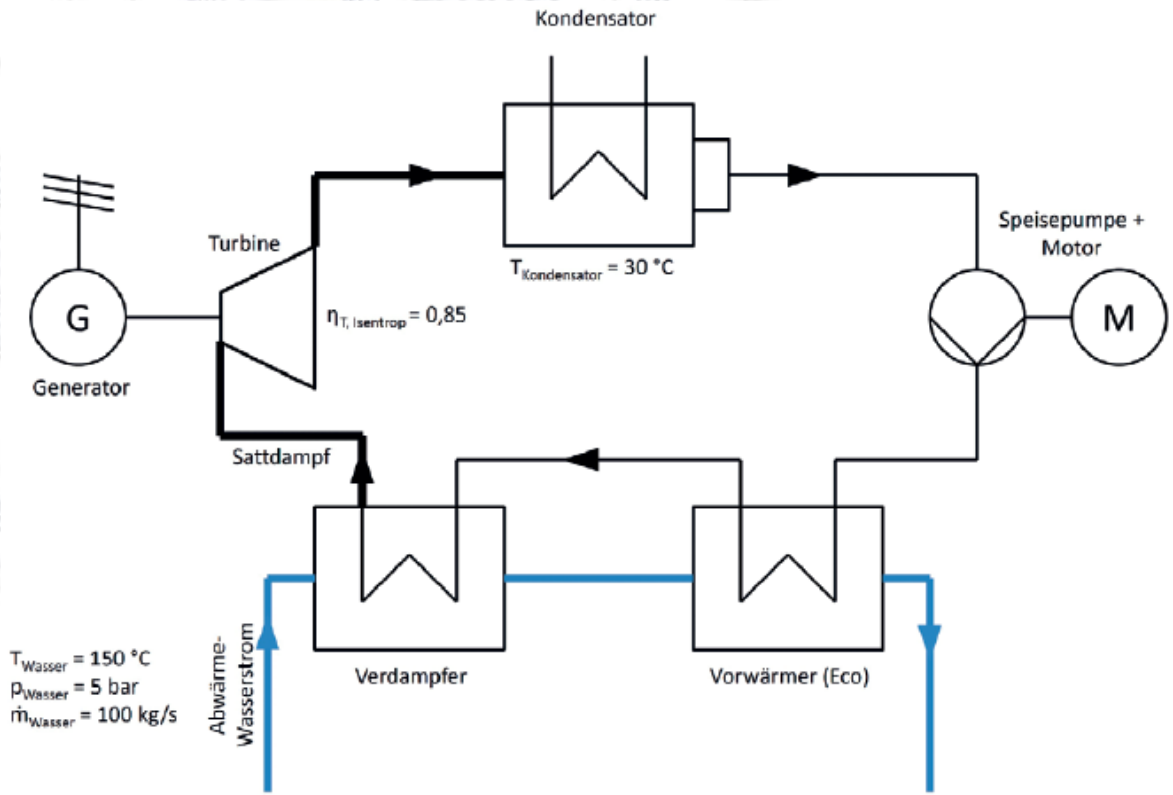
c) Energiewandlung und –nutzung

- ORC-Prozess:

Einsatz von Flüssigkeiten mit niedrigem Dampfdruck

Temperaturbereich ab 100 °C bis 450 °C

→ Stromerzeugung in manche Fällen rentabel



4. Fallbetrachtung

- Aufzeigen des Energienutzungspotenzials anhand drei definierten Beispiele, auf Basis eines einheitlichen Verbrennungsszenarios:
  - Konzept 1: Nasswäscher mit Abgas-Wärmeübertrager
  - Konzept 2: Nasswäscher mit Kondensationswäscher
  - Konzept 3: Trockenes Abgasreinigungsverfahren mit Wärmeübertrager

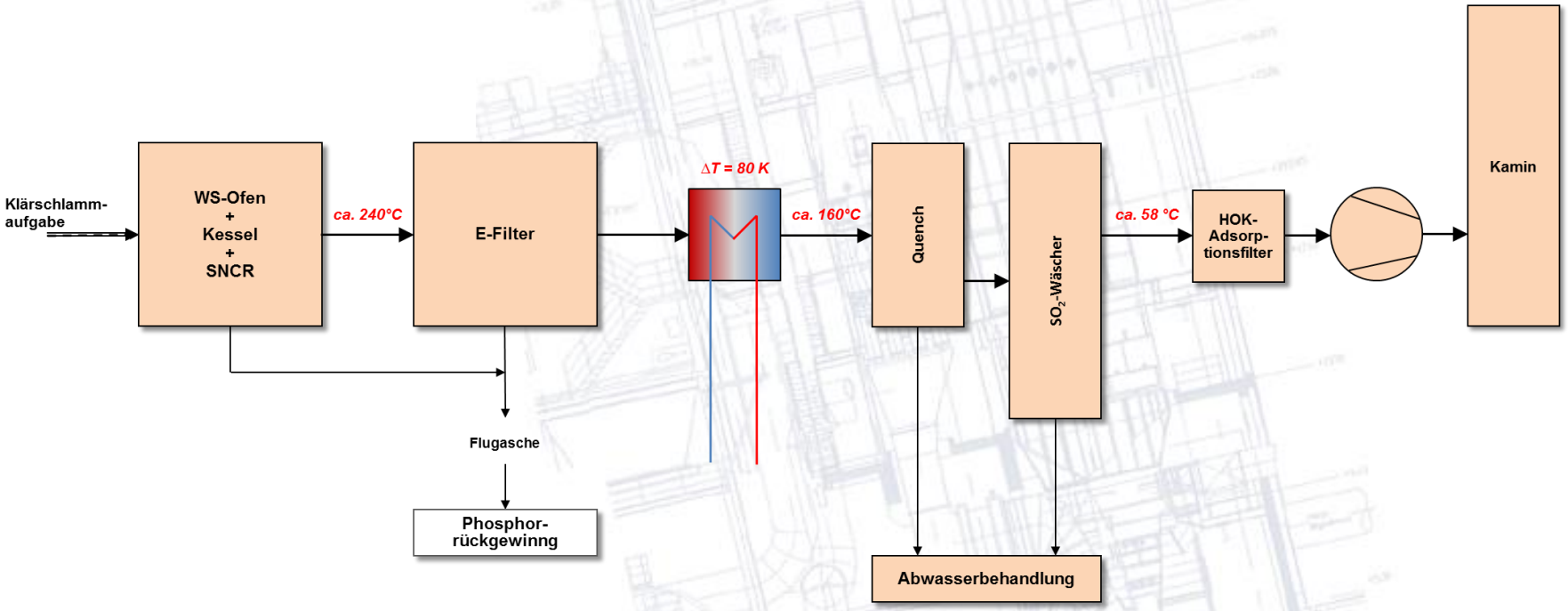
4. Fallbetrachtung

- Verbrennungsszenario

Parameter	Einheit	Wert
Brennstoff		
Gesamt Klärschlammdurchsatz	t/a t_{TS}/a	60.000 33.000
Trockensubstanzgehalt	Ma.-%	55
Restfeuchte	Ma.-%	45
Betriebsstunden	h	7.800
Abgaseigenschaften		
Volumenstrom	$m^3/h_{i.N.tr.}$ $m^3/h_{i.N.f.}$	40.000 48.780
Massenstrom	kg/h	60.760
H_2O-Gehalt	Vol.-%	18
O_2-Gehalt	Vol.-$\%_{tr.}$	8
CO_2-Gehalt	Vol.-$\%_{.tr.}$	11
SO_2 Rohgas	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	2.500
HCl-Rohgas	$mg/m^3_{i.N.tr.}$	150

4. Fallbetrachtung

- Konzept 1: Nasswäscher mit Abgas-Wärmeübertrager



4. Fallbetrachtung:

Konzept 1: Ergebnisse

Parameter	Einheit	ORC-Anlage	Fernwärme	Kondensat-Vorwärmung
Rücklauftemperatur Wärmeübertrager	[°C]	158	120	100
Vorlauftemperatur Wärmeübertrager	[°C]	60	60	50
Wärmestrom	[kW]	1.780	1.780	1.780
Wärmeaustauschfläche[1]	m²	496	406	358
elektr. Wirkungsgrad	%	12	-	-
Stromerzeugung	kW_{el}	214	-	-
Jahresvollbenutzungsstunden	h/a	7.800	7.800	7.800
Erzeugte Strommenge	kWh_{el}/a	1.665.959	-	-
Erzeugte Wärmemenge	kWh/a	-	13.882.990	13.882.990
CO_2-Einsparung				
aus Strom				
spez. Kennwert[2]	kg_{CO2}/kWh_{el}	0,52	-	-
Menge CO_2	t/a	866	-	-
aus Wärme				
spez. Kennwert[3]	kg_{CO2}/kWh	-	0,296	-
Menge CO_2	t/a	-	4.109	-
Versorgung Haushalte				
mit Strom				
spez. Kennwert[4]	kWh_{el}/a	2.750	-	-
Anzahl Haushalte	-	606	-	-
mit Wärme				
spez. Kennwert[5]	kWh/a	-	5.750	-
Anzahl Haushalte	-	-	2.414	-
Einsparung Dampf	t/a	-	-	20.032
bei 200°C, 15 bar		-	-	

[1] Gas/Flüssigkeits-Rohrbündel Wärmetauscher im Gegenstrom, Wärmedurchgangskoeff. = 40 W/(m².K)
[2] Strom-Mix Deutschland, Quelle: LfU (2016): "Treibhausgas-Emissionsfaktoren der Strom- und Wärmeerzeugung in Deutschland"; Bezugsjahr 2014
[3] Wärme-Mix Deutschland, Quelle: LfU (2016): "Treibhausgas-Emissionsfaktoren der Strom- und Wärmeerzeugung in Deutschland"; Bezugsjahr 2014
[4] 3 Personenhaushalt, ohne elektr. WWB → 2.000-3.500 kWh pro Jahr
[5] 3 Personenhaushalt → 100 m² → 25-90 kWh pro m² und Jahr

ORC-Anlage

Versorgung von 606 Haushalte mit Strom

Einsparung von 866 t/a CO_2

Fernwärme

Versorgung von 2.414 Haushalte mit Wärme

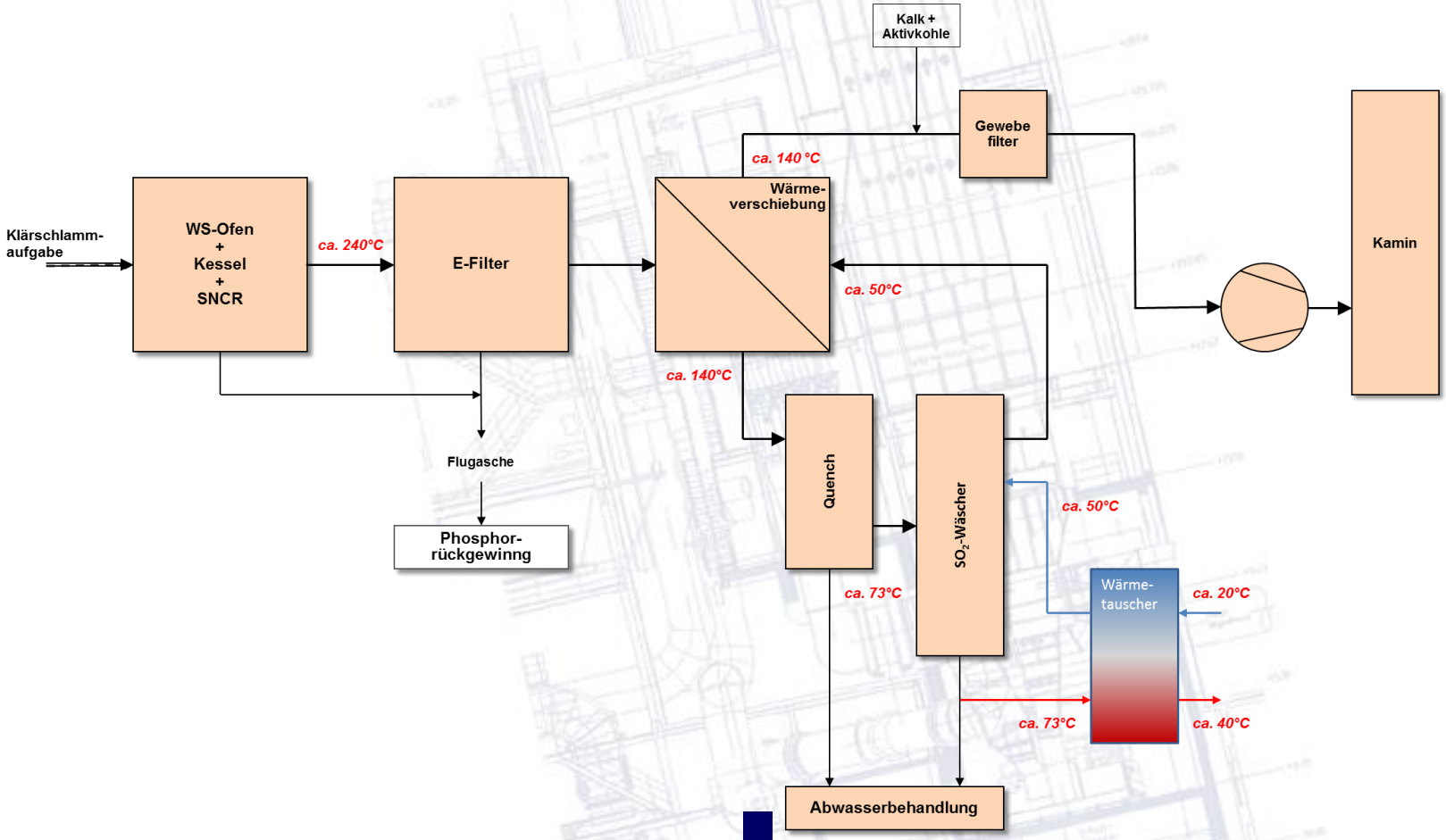
Einsparung von 4.109 t/a CO_2

Kondensatvorwärmung

Einsparung von 20.032 t/a Dampf

4. Fallbetrachtung

- Konzept 2: Nasswäscher mit Abgaskondensation



4. Fallbetrachtung:

Konzept 2: Ergebnisse

Parameter	Einheit	Fernwärme (Einspeisung in Rücklauf)	Vorwärmung Nachspeisewasser
Rücklauftemperatur Wärmeübertrager	[°C]	48	100
Vorlauftemperatur Wärmeübertrager	[°C]	20	50
Wärmestrom	[kW]	2.006	2.006
Wärmeaustauschfläche[1]	m²	28	28
Einsatz Wärmepumpe			
Eintrittstemperatur	°C	48	48
Austrittstemperatur	°C	88	88
Leistungszahl COP	-	4	4
Strombedarf Wärmepumpe	kWh/a	3.911.748	3.911.748
Jahresvollbenutzungsstunden	h/a	7.800	7.800
Erzeugte Strommenge	kWh_{el}/a	-	-
Erzeugte Wärmemenge	kWh/a	15.646.992	15.646.992
CO_2-Einsparung			
aus Wärme			
spez. Kennwert[3]	kg_{CO2}/kWh	0,296	-
Menge CO_2	t/a	4.632	-
Versorgung Haushalte			
mit Wärme			
spez. Kennwert[5]	kWh/a	5.750	-
Anzahl Haushalte	-	2.721	-
Einsparung Dampf	t/a	-	22.577
bei 200°C, 15 bar		-	

[1] Gas/Flüssigkeits-Rohrbündel Wärmetauscher im Gegenstrom, Wärmedurchgangskoeff. = 40 W/(m².K)
[3] Wärme-Mix Deutschland, Quelle: LfU (2016): "Treibhausgas-Emissionsfaktoren der Strom- und Wärmeerzeugung in Deutschland"; Bezugsjahr 2014
[4] 3 Personenhaushalt, ohne elektr. WWB → 2.000-3.500 kWh pro Jahr
[5] 3 Personenhaushalt → 100 m² → 25-90 kWh pro m² und Jahr

Fernwärme

Versorgung von 2.721 Haushalte mit Wärme
Einsparung von 4.632 t/a CO_2 (nur bezogen auf den Wärmeanteil)

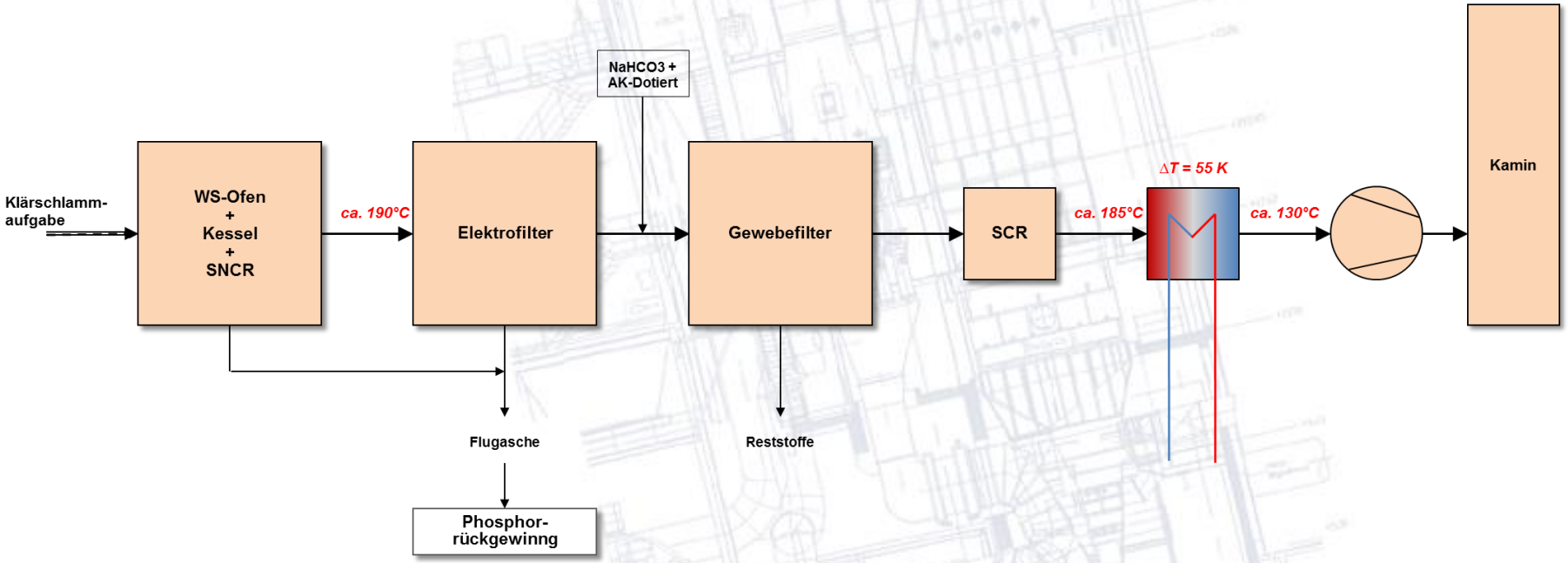
Vorwärmung Speiswasser

Einsparung von 22.577 t/a Dampf

Strombedarf: 3.900 MWh/a

4. Fallbetrachtung

- Konzept 3: Trockenes Abgasreinigungsverfahren mit Abgas-Wärmeübertrager



4. Fallbetrachtung:

Konzept 3: Ergebnisse

Parameter	Einheit	Fernwärme (Einspeisung in Vorlauf)	Kondensat-Vorwärmung
Rücklauftemperatur Wärmeübertrager	[°C]	120	100
Vorlauftemperatur Wärmeübertrager	[°C]	60	50
Wärmestrom	[kW]	1.202	1.202
Wärmeaustauschfläche[1]	m²	445	364
Jahresvollbenutzungsstunden	h/a	7.800	7.800
Erzeugte Strommenge	kWh_{el}/a	-	-
Erzeugte Wärmemenge	kWh/a	9.376.919	9.376.919
CO_2-Einsparung			
aus Wärme			
spez. Kennwert[3]	kg_{CO2}/kWh	0,296	-
Menge CO_2	t/a	2.776	-
Versorgung Haushalte			
mit Wärme			
spez. Kennwert[5]	kWh/a	5.750	-
Anzahl Haushalte	-	1.631	-
Einsparung Dampf	t/a	-	13.530
bei 200°C, 15 bar		-	

[1] Gas/Flüssigkeits-Rohrbündel Wärmetauscher im Gegenstrom, Wärmedurchgangskoeff. = 40 W/(m².K)

[3] Wärme-Mix Deutschland, Quelle: LfU (2016): "Treibhausgas-Emissionsfaktoren der Strom- und Wärmeerzeugung in Deutschland"; Bezugsjahr 2014

[4] 3 Personenhaushalt, ohne elektr. WWB → 2.000-3.500 kWh pro Jahr

[5] 3 Personenhaushalt → 100 m² → 25-90 kWh pro m² und Jahr

Fernwärme

Versorgung von 1.631 Haushalte

Einsparung von 2.776 t/a CO_2

Kondensatvorwärmung

Einsparung von 13.530 t/a Dampf

Fazit

- Durch die Novellierung der AbfKlärV ist ein Zuwachs an Monoklärschlammverbrennungsanlage in den nächsten Jahre zu erwarten
- Die Anforderungen an Abgasreinigungsverfahren sind hoch
- Konzepte mit maximaler Energienutzung und Rohstoffrückgewinnung sind anzustreben
- Trotz Wärmeverluste sind Energienutzungspotenziale in der Abgasreinigung gegeben

Vielen Dank und HerzLICHe Grüße aus dem Herzen der Natur!!

ete.a

Ingenieurgesellschaft für Energie- und Umweltengineering & Beratung mbH

Fürstliches Hofgut Kolnhausen 12

35423 Lich

☏ +49 6404-658164

🖷 +49 6404-658165

✉ info@ete-a.de

www.ete-a.de