



Stadt Zürich
Entsorgung + Recycling

KHKW HAGENHOLZ
SZENARIO 3. VERBRENNUNGSLINIE

MACHBARKEITSSTUDIE

Zürich, den 15. Mai 2013 (Rev.1)
FX9020.100

CSDINGENIEURE⁺

CSD FENIX AG
Hardturmstrasse 135
CH-8005 Zürich
t +41 44 296 70 00
e zuerich@csd.ch
www.csd.ch

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	6
1. EINLEITUNG	8
1.1 Ausgangslage	8
1.2 Zielsetzungen	8
2. GRUNDLAGEN	9
2.1 Abfallmengen	9
2.2 Vorhandene Anlagen des KHKW Hagenholz	9
2.2.1 Verbrennungslinien 2K1 und 2K3	10
2.2.2 Rauchgasreinigung	10
2.2.3 Energiezentrale	11
2.2.4 Thermische Simulation der bestehenden Anlagen	12
2.3 Nebenprojekte	13
2.3.1 Ausbau Fernwärme Zürich	13
2.3.2 Trockenschlacke-Austrag	14
2.3.3 FLUREC-Verfahren	14
3. KONZEPTE	15
3.1 Lösungen	15
3.2 Auslegung	17
3.2.1 Neue Verbrennungslinie mit gleicher Leistung wie 2K1 und 2K3	17
3.2.2 Leistungssteigerung 2K1 und 2K3	17
3.2.2.1 Nachrüstung des VLN Verfahrens	17
3.2.2.2 Verbrennungsrechnung	18
3.2.2.3 Abgas-Rezirkulation	19
3.2.2.4 Sauerstoffanreicherung (SYNCOM-Verfahren)	19
3.2.2.5 Vergleich der Verfahren zur Leistungssteigerung	19
3.2.2.6 Folgerungen	20
3.2.3 Erneuerungsstrategie 2K1/2K3	20
3.2.3.1 Rollende Erneuerung 2K1/2K3	20
3.2.3.2 Rollende Erneuerung 3. Verbrennungslinie	20
3.2.4 Anzahl der Verbrennungslinien	21
3.2.4.1 Drei Linien-Strategie	21
3.2.4.2 Zwei Linien-Strategie	21
3.2.5 Auslegung der Verbrennungslinie 3	21
3.2.5.1 Lösungen	21
3.2.5.2 Resultate	22
3.3 Verfahren	23
3.3.1 Verbrennung	23
3.3.1.1 Rostfeuerung	23

3.3.1.2	Wirbelschicht	23
3.3.1.3	Vergleich der Feuerungssysteme	23
3.3.1.4	Folgerungen	23
3.3.2	Dampfkessel	24
3.3.2.1	Verfahren	24
3.3.2.2	Folgerungen	25
3.3.2.3	Bemerkungen zu Problemen der vorhandenen Kessel 2K1/2K3	25
3.3.3	Entstickung	25
3.3.3.1	SCR-Verfahren	25
3.3.3.2	SNCR-Verfahren	26
3.3.3.3	Folgerungen	26
3.3.4	Rauchgasreinigung	26
3.3.4.1	Verfahren	26
3.3.4.2	Vorhandene Infrastruktur im KHKW	26
3.3.4.3	Folgerungen	26
3.3.5	Trockenentschlackung	27
3.3.6	Rückstandsbehandlung	27
3.3.6.1	Verfahren	27
3.3.6.2	Folgerungen	27
3.3.7	Energienutzung	27
3.3.7.1	Turbinensysteme	27
3.3.7.2	Energetischer Vergleich	27
3.3.7.3	Folgerungen	28
3.3.8	Weitere Massnahmen zur energetischen Optimierung	28
3.4	Mögliche Standorte	29
4.	VARIANTEN	30
4.1	Technische Varianten	30
4.1.1	Thermische Berechnung Rostfeuerung 55 MW (Beispiel)	31
4.1.2	Verzicht auf die nähere Untersuchung der Wirbelschicht	31
4.2	Standortvarianten	32
4.2.1	Flächenbedarf verschiedener KVA	32
4.2.2	Folgerungen für 3. Verbrennungslinie	32
4.2.3	Planungsgrundlagen für die 3. Verbrennungslinie	33
4.2.4	Platzreserve für Luftkondensator Linie 3 in der Energiezentrale	34
4.2.5	Aufstellung Variante1 (45 MW Kessel)	35
4.2.5.1	Feuerung/Kessel/Elektrofilter	35
4.2.5.2	Rauchgasreinigung	36
4.2.5.3	Luftkondensator	36
4.2.6	Aufstellung Variante 2 (55MW Kessel)	37
4.2.6.1	Bunker	37
4.2.6.2	Feuerung/Kessel/Elektrofilter	38
4.2.6.3	Rauchgasreinigung	38
4.2.6.4	Luftkondensator	38
4.2.7	Aufstellung Variante 3 (75 MW Kessel)	39
4.2.7.1	Bunker	39

4.2.7.2	Feuerung/Kessel/Elektrofilter	40
4.2.7.3	Rauchgasreinigung	40
4.2.7.4	Luftkondensator	40
4.3	Varianten der Energienutzung	40
4.3.1	Szenarien mit Fernwärme-Verbindungsleitung Josefstrasse	40
4.3.2	Folgerungen	41
5.	KOSTENERMITTLUNG	42
5.1	Untersuchte Varianten	42
5.2	Kostenschätzung für technische Anlagen	42
5.3	Kostenschätzung für Bauwerke	43
5.3.1	Hochbauten	43
5.3.2	Bunkervergrößerung	43
5.4	Investitionen	44
5.4.1	Neue Verbrennungslinie 3	44
5.4.2	Ersatzinvestition 2K1 und 2K3	44
5.5	Betriebskosten	45
5.5.1	Erlöse und Kosten des bestehenden KHKW	45
5.5.2	Zusatzerlöse und Zusatzkosten 3. Verbrennungslinie	45
5.5.3	Maximale Betriebskosten	46
5.5.4	Einfluss der Bunkervergrößerung auf die Betriebskosten	47
5.6	Zeitliche Szenarien für 3. Linie und Ersatz 2K1/2K3	47
5.6.1	Szenario 1: Neubau Linie 3 = 2020, Ersatz 2K1/2K3 = 2030	47
5.6.2	Szenario 2: Neubau Linie 3 = 2020, Ersatz 2K1/2K3 = 2035	48
5.6.3	Szenario 3: Neubau Linie 3 = 2025, Ersatz 2K1/2K3 = 2030	48
5.6.4	Szenario 4: Neubau Linie 3 = 2025, Ersatz 2K1/2K3 = 2035	49
5.7	Folgerungen aus den zeitlichen Szenarien	49
6.	VARIANTENVERGLEICH	50
6.1	Rekapitulation der Varianten	50
6.2	Bewertungsschema	50
6.3	Mittlere Verbrennungskosten	50
6.3.1	Kosten aller Varianten und Szenarien	50
6.3.2	Verbrennungskosten für Szenario 4	52
6.4	Bewertungstabelle	52
6.5	Ergebnisse	53
7.	SCHLUSSFOLGERUNGEN, EMPFEHLUNG	54
7.1	Technische Lösung	54
7.2	Standort	54
7.3	Ablaufplan der Erneuerung	55
7.4	Zeitliche Szenarien	56

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 2.1	Abfallmengen	9
Tabelle 2.2	Auslegungs- und Betriebsdaten 2K1 und 2K3	10
Tabelle 2.3	Energielieferung Fernwärme West/Ost	14
Tabelle 3.1	Funktionen und Lösungen	16
Tabelle 3.2	Vergleich der Verfahren zur Leistungssteigerung	20
Tabelle 3.3	Feuerungswärmeleistung der Verbrennungslinie 3	22
Tabelle 3.4	Kesselbauarten	24
Tabelle 4.1	Technische Varianten	30
Tabelle 4.2	Flächenbedarf und Raumhöhen verschiedener KVA	32
Tabelle 4.3	Gebäudeabmessungen der Varianten	33
Tabelle 4.4	Wirtschaftlichkeitsvergleich der Turbinenvarianten	40
Tabelle 5.1	Untersuchte Varianten	42
Tabelle 5.2	Bauvolumen der Varianten	43
Tabelle 5.3	Gesamtkosten Linie 3	44
Tabelle 5.4	Erlöse und Kosten des bestehenden KHKW Hagenholz	45
Tabelle 5.5	Erlöse und Kosten der dritten Verbrennungslinie	46
Tabelle 5.6	Betriebskostenrechnung	46
Tabelle 6.1	Verbrennungskosten Szenario 4	52
Tabelle 6.2	Bewertung der Varianten	52
Tabelle 6.3	Wichtigste Vor- und Nachteile der Varianten	53

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 2.1	Kennlinie der Dampfturbine	11
Abbildung 2.2	Thermische Berechnung der bestehenden Anlagen	13
Abbildung 3.1	Prinzip des VLN-Verfahrens	17
Abbildung 3.2	Verbrennung konventionell	18
Abbildung 3.3	Verbrennung VLN-Verfahren	18
Abbildung 3.4	Gegendruckturbine, Abdampf 1,3 bar	28
Abbildung 3.5	Kondensationsturbine, Abdampf 100 mbar	28
Abbildung 3.6	Standort-Lösungen für 3. Verbrennungslinie	29
Abbildung 4.1	Kreislaufrechnung für 55 MW Kessel	31
Abbildung 4.2	Platzreserve für dritten Luftkondensator in neuer Energiezentrale	34
Abbildung 4.3	Standorte für Szenario 1 (45 MW)	35

Abbildung 4.4	Standorte für Szenario 2 (55 MW)	37
Abbildung 4.5	Standorte für Szenario 3 (75 MW)	39
Abbildung 4.6	Konzept der Energienutzung	41
Abbildung 5.1	Kostenkurven der Verfahrenstechnik	42
Abbildung 5.2	Szenario 1: Neubau Linie 3 = 2020, Ersatz 2K1/2K3 =2030	47
Abbildung 5.3	Szenario 2: Neubau Linie 3 = 2020, Ersatz 2K1/2K3 =2035	48
Abbildung 5.4	Szenario 3: Neubau Linie 3 =2025, Ersatz 2K1/2K3 =2030	48
Abbildung 5.5	Szenario 4: Neubau Linie 3 =2025, Ersatz 2K1/2K3 =2035	49
Abbildung 6.1	Mittlere Verbrennungskosten 2015-2040 der Varianten und Szenarien	51
Abbildung 7.1	Phasenplan 3. Linie und Ersatz 2K1/2K3	55

ANHANGVERZEICHNIS

Anhang A	Dokumentenliste	57
----------	-----------------	----

ZUSAMMENFASSUNG

Das Abfallkonzept des Kantons Zürich sieht mittelfristig (ab 2025) die Konzentration der thermischen Abfallbehandlung auf weniger Standorte mit hohem Energienutzungsgrad vor. Eine Variante ist die Erweiterung des KHKW Hagenholz mit einer 3. Verbrennungslinie.

In der vorliegenden Studie ist die Machbarkeit der Erstellung einer 3. Verbrennungslinie im Hagenholz untersucht. Der Bau einer dritten Linie setzt die Erhöhung der angelieferten Abfallmenge voraus, es wird eine Zunahme von 240'000 t auf 345'000 t pro Jahr vorausgesetzt.

Sieben Lösungsvarianten für die zusätzliche Linie wurden untersucht:

- Variante 1A: 45MW-Kessel, im vorhandenen Kesselhaus;
- Variante 1B: 45MW-Kessel, an Stelle der Büroaufstockung;
- Variante 2A: 55MW-Kessel, im vorhandenen Kesselhaus;
- Variante 2B: 55MW-Kessel, an Stelle der Büroaufstockung;
- Variante 2C: 55MW-Kessel, an Stelle der LKW-Werkstatt und Tankstelle.
- Variante 3B: 75MW-Kessel, an Stelle der Büroaufstockung;
- Variante 3C: 75MW-Kessel, an Stelle von LKW- Werkstatt und Tankstelle.

Die langfristige Planung des KHKW umfasst auch den Ersatz der beiden vorhandenen Verbrennungslinien 2K1/2K3, wenn ihre Lebensdauer erreicht ist. Diese rollende Erneuerung, ohne Kapazitätseinbusse in der Bauphase, verlangt eine weitere Freifläche für den Ersatz von mindestens einer Verbrennungslinie.

Aus dem technischen Vergleich ergeben sich zwei bevorzugte Lösungen:

- Variante 1:
Neue 3. Linie mit 45 MW Wärmeleistung, Leistungssteigerung der bestehenden Kessel 2K1/2K3 durch Einbau des VLN (Very-Low-NOx)-Verfahrens;
- Variante 2:
Neue 3. Linie mit 55 MW Wärmeleistung, 2K1 und 2K3 bleiben unverändert.

Beide Varianten ermöglichen eine wirtschaftlich interessante Erhöhung der Verbrennungskapazität.

Bezüglich Standort der 3. Linie stehen zwei Lösungen im Vordergrund:

- Standort A:
Feuerung und Kessel der 3. Linie im bestehenden Kesselhaus, Rauchgasreinigung in der Verlängerung hinter dem vorhandenen RGR-Gebäude.
- Standort B:
Feuerung und Kessel der 3. Linie an Stelle der Büroaufstockung, Rauchgasreinigung in der Verlängerung hinter dem vorhandenen RGR-Gebäude.

Im Endausbau werden im Rahmen der rollenden Erneuerung von 2K1/2K3 beide Standorte A und B benötigt. Die Reihenfolge der Nutzung dieser beiden Flächen ist nicht festgelegt.

Die Kapazitätserhöhung bedingt auch den Ausbau der Anlagen zur Wärmenutzung. Die wirtschaftlichste Lösung ist eine neue Kondensationsturbine mit zugehörigem Vakuum-Luftkondensator.

Die neue Kondensationsturbine kann in der Energiezentrale auf der reservierten Fläche neben der vorhandenen Gegendruckturbine eingebaut werden. Der Vakuum-Luftkondensator benötigt aber dreimal mehr Fläche als die vorhandenen Gegendruck-Kondensatoren. Die Aufstellung muss deshalb im Aussenbereich möglichst nahe der Energiezentrale erfolgen, bevorzugt an Stelle der heutigen Hilfskessel, welche in Zukunft nicht mehr benötigt werden.

Die Überprüfung der zeitlichen Szenarien für den Neubau der 3. Linie und den Ersatz von 2K1/2K3 bestätigt die Erwartungen. Die Verbrennungskosten im Hagenholz sind am niedrigsten:

- je früher die 3. Linie erstellt wird;
- je später 2K1/2K3 ersetzt werden.

Die Studie hat gezeigt, dass eine 3. Verbrennungslinie im KHKW Hagenholz integriert werden kann, ohne dass sie den Betrieb oder den späteren Ersatz der heutigen Verbrennungslinien 2K1/2K3 behindert.

Eine Bedingung ist jedoch die Erweiterung des vorhandenen Abfallbunkers, der für die Anlieferung von 345'000 t/a zu klein ist. Diese Möglichkeiten sind in einer anderen Studie (Dokument 8 der Liste im Anhang) untersucht.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Der Kanton Zürich und die KVA Betreiber befassen sich mit dem zukünftigen Bedarf an Verbrennungskapazität und den Standorten der Anlagen. Für die regionale Entsorgung gibt es verschiedene strategische Optionen. Eine der Möglichkeiten ist die Erweiterung des KHKW Hagenholz mit einer 3. Verbrennungslinie. Das KHKW ist gut erschlossen, hat noch Platzreserven und Potenzial zur Steigerung der Wärmenutzung.

In der vorliegenden Machbarkeitsstudie wird die Machbarkeit einer 3. Verbrennungslinie im Hagenholz näher untersucht.

1.2 Zielsetzungen

Eine 3. Verbrennungslinie beeinflusst im gesamten Lebenszyklus, von der Erstellung bis zum Rückbau beziehungsweise Ersatz, den Betrieb und die Entwicklung des KHKW. Die Themenkreise sind:

- Standort auf dem Areal
- Technische Integration in die vorhandene Infrastruktur
- Nutzung von bestehenden Anlagen und Gebäuden
- Technische und bauliche Einschränkungen und Engpässe
- Optionen der Prozesswahl
- Optionen der Energienutzung
- Erstellungs- und Betriebskosten
- Auswirkung der veränderten Abfallmengen auf die Verbrennungskosten
- Auswirkungen des Erstellungs-Zeitpunkts auf die Verbrennungskosten
- Auswirkungen auf Rückbau beziehungsweise Ersatz einer Verbrennungslinie.

Dass Ziel der Untersuchungen besteht darin, für ERZ eine Handlungsempfehlung für die mögliche Integration einer 3. Verbrennungslinie auszuarbeiten.

2. Grundlagen

2.1 Abfallmengen

Das KHKW Hagenholz verbrannte im Jahr 2011 etwa 240'000 t Abfälle, davon wurden 13'000 t vor der Verbrennung zerkleinert.

Die Kapazität des vorhandenen Reissers im Bunker genügt nicht, um das gesamte Sperrgut einschliesslich Bau- und Produktionsabfälle zu verarbeiten. Deshalb ist vorgesehen, mit einer neuen Sperrgutbehandlung diesen Engpass beheben. Die Inbetriebnahme ist im Jahr 2013 oder 2014 vorgesehen.

In der Tabelle ist die Abfallmenge Basis 2011, ohne sowie mit einer neuen Sperrgutbehandlung, dem Szenario Linie 3 gegenübergestellt.

	Basis 2011	Basis 2011 mit neuer Sperrgutbehandlung	Szenario Verbrennungslinie 3
Fractionen	[t/a]	[t/a]	[t/a]
Siedlungsabfälle	171'000	171'000	185'000
Sperrgut	21'000	21'000	25'000
Bau- und Produktionsabfälle	16'000	16'000	60'000
Gewerbeabfälle	21'000	21'000	60'000
• davon zerkleinerte Abfälle *)	(13'000)	(47'500)	(115'000)
Sonderabfälle	11'000	11'000	15'000
TOTAL	240'000	240'000	345'000

Tabelle 2.1 Abfallmengen

*) Zerkleinert werden: 100% Sperrgut, 100% Bau- und Produktionsabfälle, 50% Gewerbeabfälle

2.2 Vorhandene Anlagen des KHKW Hagenholz

Das KHK Hagenholz wurde in den Jahren 2005 - 2010 umfassend erneuert. Die durchgeführten Massnahmen betrafen, in dieser Reihenfolge:

- Ersatz des Sperrgut-Schredders
- Verlängerung des Kehrichtbunkers (Bunker Nord)
- Annahmestelle für entwässerten Klärschlamm zur Mitverbrennung
- Neubau der Energiezentrale
- Ersatz Feuerung, Kessel und Elektrofilter 2K1, an Stelle der alten Energiezentrale
- Rückbau der alten Linie 2K1
- Ersatz Feuerung, Kessel und Elektrofilter 2K3, an Stelle der alten Linie 2K1
- Optimierung der Bunkerbewirtschaftung
(Versetzen des Shredders, Bunkertrennwand, Kranautomatik).

2.2.1 Verbrennungslinien 2K1 und 2K3

Die beiden Verbrennungslinien 2K1 und 2K3 sind im Wesentlichen baugleich. Die Daten je Linie sind:

Lastpunkt		Nominallast „NLP“	Maximale Dauerlast „MCR“	Mittlere Betriebsdaten
Feuerung				
• Brennstoffdurchsatz	t/h	13,35	19,22	15,0
• Unterer Heizwert	kJ/kg	12'960	9'000	11'600
• Brennstoffwärme (B x Hu)	MW	48,1	48,1	48,5
• stöchiometrischer Luftbedarf	Nm ³ /t	3'250	2'360	k. A.
• Primärluftmenge	m ³ /h	50'610	52'470	k. A.
• Primärlufttemperatur	°C	100	140	k. A.
• Sekundärluftmenge	m ³ /h	32'360	29'510	k. A.
• Sekundärlufttemperatur	°C	40	40	k. A.
Dampfkessel				
• Frischdampfdruck	bar	40	40	40
• Frischdampftemperatur	°C	400	400	400
• Frischdampfmenge	t/h	57,5	57,6	58
Rauchgas				
• Volumenstrom feucht / trocken	Nm ³ /h	95'900 / 84'100	99'400 / 83'200	100'000 / 86'000
• O ₂ -Gehalt feucht	Vol. % f.	8,8	7,9	8
• O ₂ -Gehalt trocken	Vol. % tr.	10,0	9,4	9,5
• theor. Feuerraumtemperatur	°C	1254	1209	k. A.
• Temperatur am Kesselaustritt	°C	255	255	260
• Temperatur vor Economiser 1	°C	231	231	240
• Temperatur nach Economiser 1	°C	160	160	160

Tabelle 2.2 Auslegungs- und Betriebsdaten 2K1 und 2K3

2.2.2 Rauchgasreinigung

Die Anlage wurde 1991 in Betrieb genommen, sie besteht aus folgenden Stufen:

- 3-feldriger Elektrofilter
- Rohgas-Katalysator
- Externer Economiser (Eco 1), ertüchtigt für 2K1 und 2K3 auf den Betriebsdruck 70 bar
- mehrstufiger Nasswäscher, System Von Roll.

Die Anlage ist über 20 Jahre alt, deshalb muss sie partiell saniert und den heutigen Erfordernissen angepasst werden. Der Stadtrat hat 2011 den Kredit für verschiedene Sanierungsmassnahmen bewilligt:

- Ersatz der Abwasserbehandlungsanlage
- Saure Aschenwäsche , ausgelegt für Flugasche/Filterstäube von 3 Verbrennungslinien (2 Linien KHKW Hagenholz und 1 Linie KHKW Josefstrasse)
- Sanierung der Wäscher, Ersatz der Gummierung durch Kunststoffbeschichtung.

2.2.3 Energiezentrale

Die Energiezentrale wurde 2005-2006 für die Verbrennungslinien 2K1 und 2K3 neu gebaut. Sie produziert Strom und liefert Dampf 13 bar für ein Dampfnetz und 1.2 bar Dampf für die Fernwärmeerzeugung (Heisswassernetz Vorlauf 120°C).

Sie umfasst folgende Hauptkomponenten:

- 1 Gegendruck-Entnahmeturbine (Frischdampf 38.5 bar(a), Entnahmedampf 13 bar(a), Abdampf 1.2 bar(a))
- 2 gemeinsame Luftkondensatoren
- 2 gemeinsame Speisewassergefäße
- je 1 linienbezogene Elektro- und Turbo-Speisewasserpumpe
- 1 gemeinsame Elektro-Speisewasserpumpe (Stand-by)
- Rohrleitungen, Verteiler und Armaturen

Die vorhandene Turbine ist ausgelegt für eine maximale Klemmenleistung von 19,5 MW. Sie erzeugt im Mittel bei reiner Verstromung (ohne Entnahme) 18,6 MW elektrisch aus der Dampfmenge von 2K1/2K3 (115 t/h Frischdampf).

Es können maximal 70 t/h 13bar Dampf entnommen werden. Der Eigenbedarf im Normalbetrieb beträgt 15 t/h. Der berechnete Turbinenwirkungsgrad beträgt 96,5%.

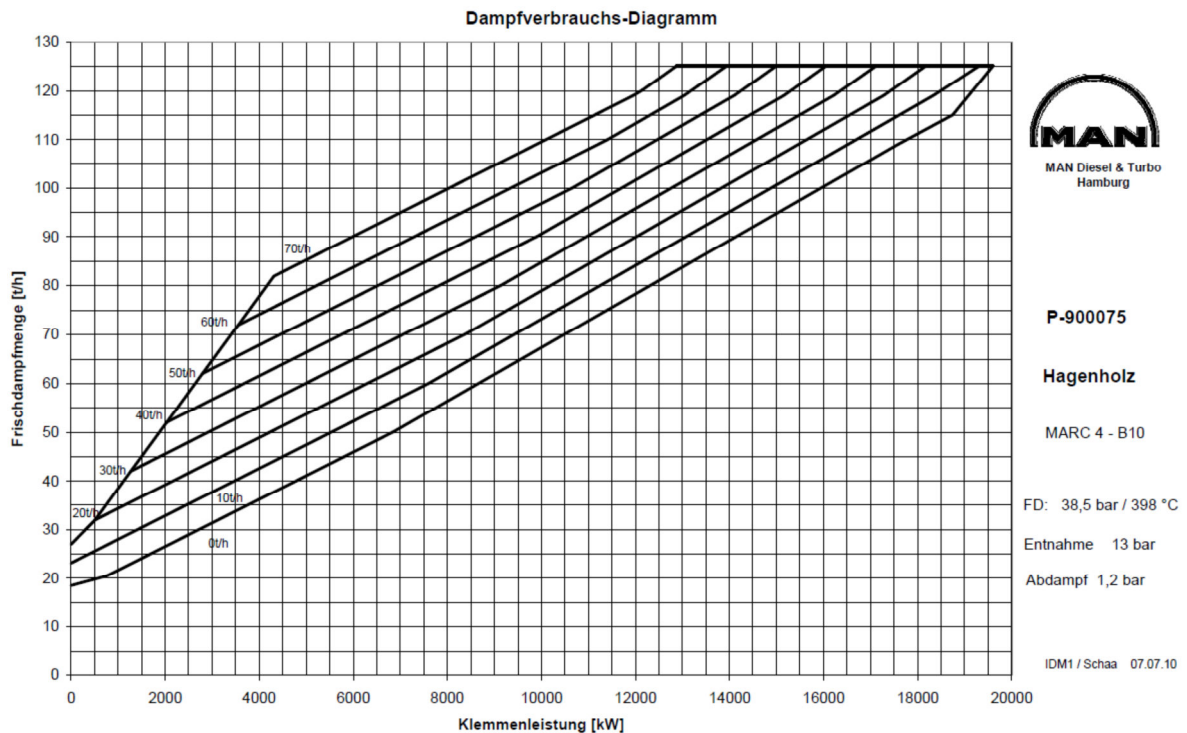


Abbildung 2.1 Kennlinie der Dampfturbine

Die Entnahme bei 13 bar dient der Versorgung des Dampfnetzes für die Industrie, der vergleichsweise hohe Abdampfdruck 1.2 bar wurde gewählt, um im Winter die gesamte Abwärme als Fernwärme nutzen zu können. Das KHKW kann die gelieferten Mengen nicht beeinflussen, Überschüsse werden kondensiert. Im Sommer sind deshalb die Verluste höher als bei einer Kondensationsturbine.

Die Erlöse für 13 bar Dampf (22.50 CHF/MWh) sind, bezogen auf den Energieinhalt, höher als für die Fernwärme (12.50 CHF/MWh). Unter Berücksichtigung der Stromerzeugung sind die Unterschiede klein.

Die Energiezentrale wurde räumlich sowie teilweise auch technisch für eine 3. Verbrennungslinie vorbereitet. Insbesondere ist Platz vorgesehen für die Aufstellung einer zusätzlichen Turbine, eines Speisewassergefässes mit Pumpen sowie eines Luftkondensators. Technisch sind die Hochdruck- und Mitteldruck- Verteiler für drei Linien dimensioniert und mit Reservestutzen ausgerüstet.

Eine Wasseraufbereitungsanlage ist nicht vorhanden, das Speisewasser wird vom HKW Aubrugg bezogen. Kapazität für eine 3. Verbrennungslinie im Hagenholz ist dort vorhanden.

2.2.4 Thermische Simulation der bestehenden Anlagen

Das Szenario 3. Verbrennungslinie hat Auswirkungen auf das bestehende Wasser/Dampf-System. Deshalb wurde der thermische Kreislauf vereinfacht dargestellt und berechnet. Die Simulation ergibt eine sehr gute Übereinstimmung mit den Daten von Feuerung, Kessel und Energienutzung.

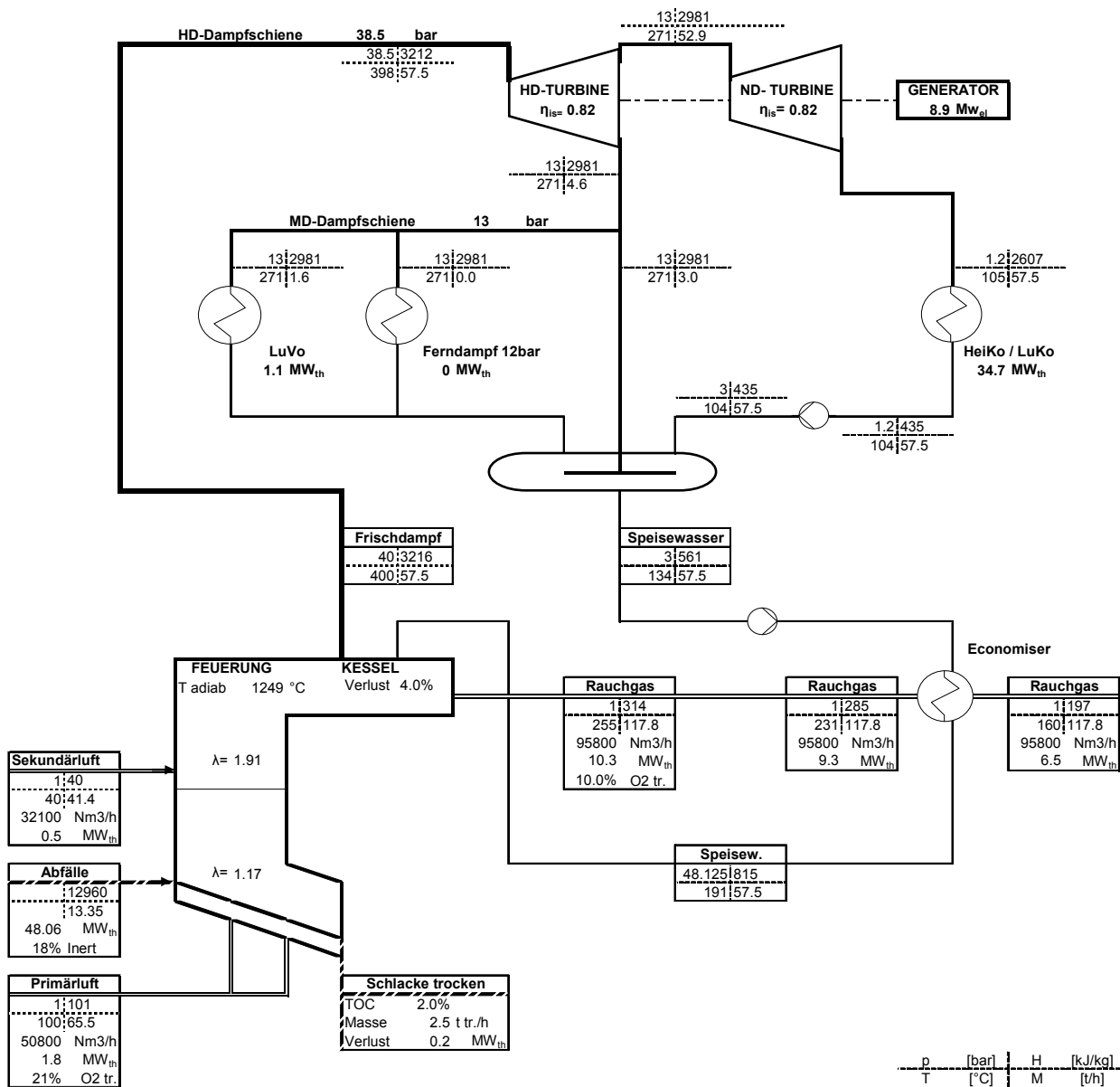


Abbildung 2.2 Thermische Berechnung der bestehenden Anlagen

2.3 Nebenprojekte

2.3.1 Ausbau Fernwärme Zürich

Im Rahmen einer möglichen Zusammenführung der Fernwärmen West/Ost mit einer Verbindungsleitung (VL) bis zum KHKW Josefstrasse wurden diverse Varianten untersucht. Die Untersuchung basiert auf den aktuellen Fernwärme-Daten, berücksichtigt aber auch Szenarien wie Rückgang des Fernwärmebedarfs durch bessere Isolierung, Erschliessung neuer Fernwärmegebiete sowie eine 3. Verbrennungslinie.

In der Tabelle sind die Ergebnisse für die relevanten Fälle zusammengestellt:

- Bestehende Anlagen SOLL 2011 und Prognose 2021
(Ausgangslage mit 2 Linien, Biomasse FW, keine Wärmeauskopplung RGR, ohne Verbindungsleitung an die Josefstrasse)
- 3 Verbrennungslinie und Heisswasser-Verbindungsleitung
(3 Linien, Biomasse FW, keine Wärmeauskopplung RGR, Verbindungsleitung mit Heisswasser an die Josefstrasse bzw. FW West/Ost)

Produktionsdaten für KHKW Hagenholz (KHKW2)		Bestehende Anlagen Lieferung SOLL 2011	Bestehende Anlagen (Variante „10“, 2021)	3. Linie und HW-VL (Variante „26“, 2035)
Heisswasser	GWh/a	319	378	504
Dampf	GWh/a	81	47	65
Strom	GWh/a	118 (92 Verkauf + 26 Eigenbedarf)		178

Tabelle 2.3 Energielieferung Fernwärme West/Ost

Die Daten der vorliegenden Machbarkeitsstudie 3. Verbrennungslinie unterscheiden sich geringfügig von der Fernwärmestudie in folgenden Punkten:

- 2011 war die Fernwärmelieferung etwas niedriger, dafür aber die Dampflieferung höher als die Annahme;
- Die Fernwärmestudie setzt die Erweiterung der Energiezentrale mit einer Gegendruckturbine voraus. Die vorliegende Studie basiert auf einer Kondensationsturbine (siehe Kapitel 3.3.7).
- In der Wirtschaftlichkeitsrechnung wird als Erlös nur der Stromverkauf berücksichtigt, nicht der Eigenbedarf;

2.3.2 Trockenschlacke-Austrag

ERZ plant zusammen mit der KEZO den Bau und Betrieb einer neuen Anlage zur Aufbereitung von Trockenschlacke. Diese Aufbereitungsanlage wird sich bei der KEZO befinden, deshalb muss die Schlacke im KHKW Hagenholz trocken ausgetragen und in Transportcontainer abgefüllt werden.

Die Abfüllung und Stapelung der Container benötigt eine Halle der Abmessungen 40 x 50 m hinter der bestehenden Rauchgasreinigung. Diese Fläche 2000 m² ist in der vorliegenden Planung berücksichtigt.

2.3.3 FLUREC-Verfahren

Das neue Verfahren der Abwasserbehandlung (ABA) und Flugaschenwäsche (FLUWA) kann zu einem späteren Zeitpunkt mit dem FLUREC-Verfahren zur Rückgewinnung von Schwermetallen nachgerüstet werden. Aus dem in der FLUWA anfallenden metallhaltigen Filtrat werden etwa 300 - 400 t/a Zink zurückgewonnen.

Das FLUREC-Verfahren benötigt gemäss Angabe BSH (6) einen Platzbedarf von ca. 1000m². Dabei können Flächen im Bereich der neuen FLUWA- und ABA genutzt werden. Der Rest, schätzungsweise 600m², benötigt ein neues Gebäude. Dieses sollte direkt an den nördlichen Teil des Rauchgasreinigungsgebäudes anschliessen, in welchem die neue ABA und FLUWA eingebaut werden,.

Die Fläche 600m² ist in der vorliegenden Planung berücksichtigt und frei gehalten.

3. Konzepte

3.1 Lösungen

Um alle möglichen Konzepte in die Untersuchung einzubeziehen, werden sie in einzelne Funktionen zerlegt und als Matrix aller möglichen Kombinationen dargestellt („Morphologischer Kasten“). Die Funktionen gliedern sich in die Aspekte Strategie, Technik und Standort.

Die unterschiedlichen Lösungen wurden mit ERZ diskutiert und ihre Machbarkeit und Realisierungschance gemeinsam bewertet.

grün = Üblicher Standard, bekannte Technologie
gelb = Alternative, machbar und prüfenswert
rot = nicht machbar oder nicht gewünscht

	Funktion		Lösung 1		Lösung 2		Lösung 3
1	Auslegung						
11	Verbrennungsleistung Linie 3	11.1	Gleich wie 2K1 und 2K3	11.2	Kleiner, durch Leistungssteigerung 2K1/2K3	11.3	Grösser, 150% von 2K1/2K3
12	Erneuerungsstrategie 2K1+2K3	12.1	Rollend, ohne Kapazitätslücke	12.2	Gleichzeitig, ohne Kapazitätslücke	12.3	Kapazitätslücke während Umbauphase
13	Anzahl der Verbrennungslinien	13.1	3 Linien Strategie	13.2	2 Linien Strategie		
14	Erstellungsjahr 3. Verbrennungslinie	14.1	Vor 2025	14.2	Nach 2025		
2	Technik						
21	Feuerung	21.1	Rostfeuerung, für Mischabfall	21.2	Wirbelschicht, für Feinfraktion		
22	Kessel	22.1	4-Zug Dackelkessel	22.2	5-Zug Dackelkessel mit vertikalem Economiser	22.3	4-Zug Vertikalkessel
23	Entstickung	23.1	Katalytisch im Rohgas (SCR)	23.2	Katalytisch im Reingas (SCR)	23.3	Nicht katalytisch im Kessel (SNCR), nur für Neuanlage mit VLN
24	Rauchgasreinigung	24.1	Nasswäsche	24.2	Nasswäsche abwasserfrei	24.3	Trockensorption (mit Kalk oder Bikarbonat)
25	Entschlackung	25.1	Trockenentschlacker, Abfüllung der Gesamtmenge in Container	25.2	Trockenentschlacker mit Trennung in Grobfraktion und Feinfraktion	25.3	Nassentschlacker wie bisher in Schlackenbunker
26	Behandlung der Abgasreinigungsrückstände	26.1	Bestehende Abwasserbehandlung und saure Aschenwäsche	26.2	Trockenverladung (bei trockener RGR)		
27	Dampfturbine	27.1	Entnahme-Kondensationsturbine (40 - 13 - 0,1 bar)	27.2	Kondensationsturbine (40 - 0,1 bar)	27.3	Entnahme-Gegendruckturbine wie vorhanden (40 - 13 - 1,2 bar)
3	Standort						
31	Bunker	31.1	Nutzung des vorhandenen Bunkers	31.2	Erweiterung des vorhandenen Bunkers	31.3	Neuer, separater Bunker
32	Aufstellung Feuerung und Kessel	32.1	Im vorhandenen Kesselhaus	32.2	Neben Kesselhaus, an Stelle Werkstatt / Büroaufstockung	32.3	Vor Bunker Nord
33	Aufstellung DeNOx	33.1	Neues Gebäude	33.2	Im vorhandenen Wäschergebäude		
34	Aufstellung Rauchgasreinigung	34.1	Neues Gebäude	34.2	Im vorhandenen Wäschergebäude		
35	Aufstellung Energienutzung	35.1	Integration in vorhandene Zentrale	35.2	Neue Energiezentrale		
36	Aufstellung Nebenanlagen (EMSRL usw.)	36.1	Im vorhandenen Kesselhaus	36.2	Umnutzung Werkstatt / Büroaufstockung	36.3	Neues Gebäude

Tabelle 3.1 Funktionen und Lösungen

3.2 Auslegung

3.2.1 Neue Verbrennungslinie mit gleicher Leistung wie 2K1 und 2K3

Die beiden Linien 2K1 und 2K3 haben eine nominale Brennstoffwärmeleistung von 48,06 MW.

Die Ergänzung mit einer dritten Linie gleicher Leistung ist der einfachste Weg, die Kapazität des KHK um 50% zu steigern.

3.2.2 Leistungssteigerung 2K1 und 2K3

Wenn die Verbrennungsleistung von 2K1 und 2K3 gesteigert wird, kann die 3. Verbrennungslinie etwas kleiner gebaut werden. Voraussetzung ist, dass diese Leistungssteigerung bei den bestehenden Verbrennungslinien machbar ist.

Es kommen drei verschiedene Konzepte in Frage, die auch vom Lieferant Martin eingesetzt werden:

- VLN-Verfahren (Very-Low-Nox)
- Abgasrezirkulation
- Sauerstoffanreicherung (SYNCOM Verfahren).

3.2.2.1 Nachrüstung des VLN Verfahrens

Das VLN Verfahren ermöglicht nach Angabe des Herstellers MARTIN bei bestehenden Anlagen eine Durchsatzserhöhung bei gleichem Abgasvolumenstrom.

VLN arbeitet mit mehr Primärluft im Brennraum (Luftüberschuss = 1,3) als die konventionelle Verbrennung (Luftüberschuss = 1,1 bis 1,2). 25% der Verbrennungsgase werden dann am Rostende abgezogen und im oberen Bereich des Feuerraums als Tertiärluft wieder eingedüst. Der Luftüberschuss im Brennraum wird durch Zugabe von Sekundärluft wieder auf 1,2 angehoben.

Gegenüber der konventionellen MARTIN Feuerung mit Luftüberschuss am Kesselende 1,8 - 2,0 ist dieser bei VLN auf 1,5 reduziert,.

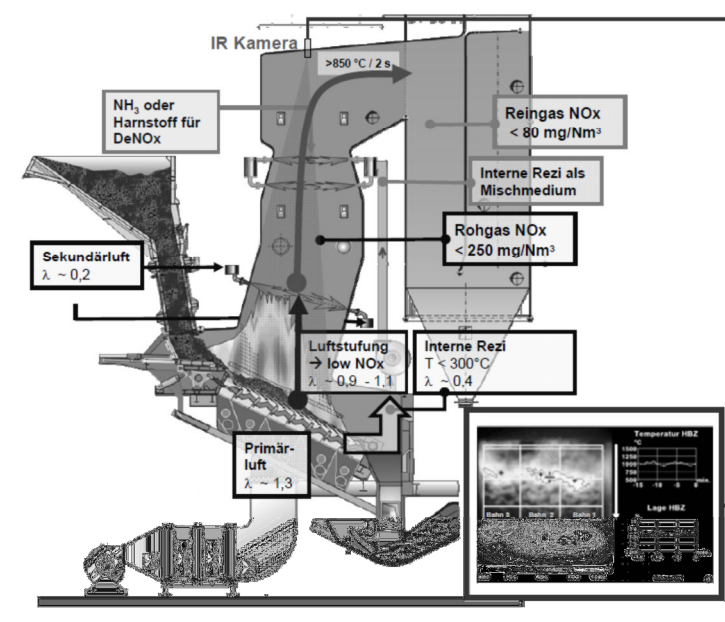


Abbildung 3.1 Prinzip des VLN-Verfahrens

Die Vorteile sind:

- Es werden NO_x-Werte unter 250 mg/Nm³ erreicht, anstelle 450 mg/Nm³ wie bisher (die höhere Verbrennungstemperatur reduziert das primäre NO_x teilweise wieder zu Stickstoff);
- Die Abgasmengen sind kleiner, bei gleichem Brennstoffdurchsatz;
- höherer Wirkungsgrad des Kessels infolge der geringeren Abgasverluste.

Für ERZ interessant ist neben der Leistungssteigerung insbesondere die Reduktion der Stickoxidbildung im Feuerraum. Die aktuell hohe Fracht der Stickoxide ist ein Problem für den vorhandenen Katalysator (Ammoniakverbrauch, Belagsbildung, Druckverlust).

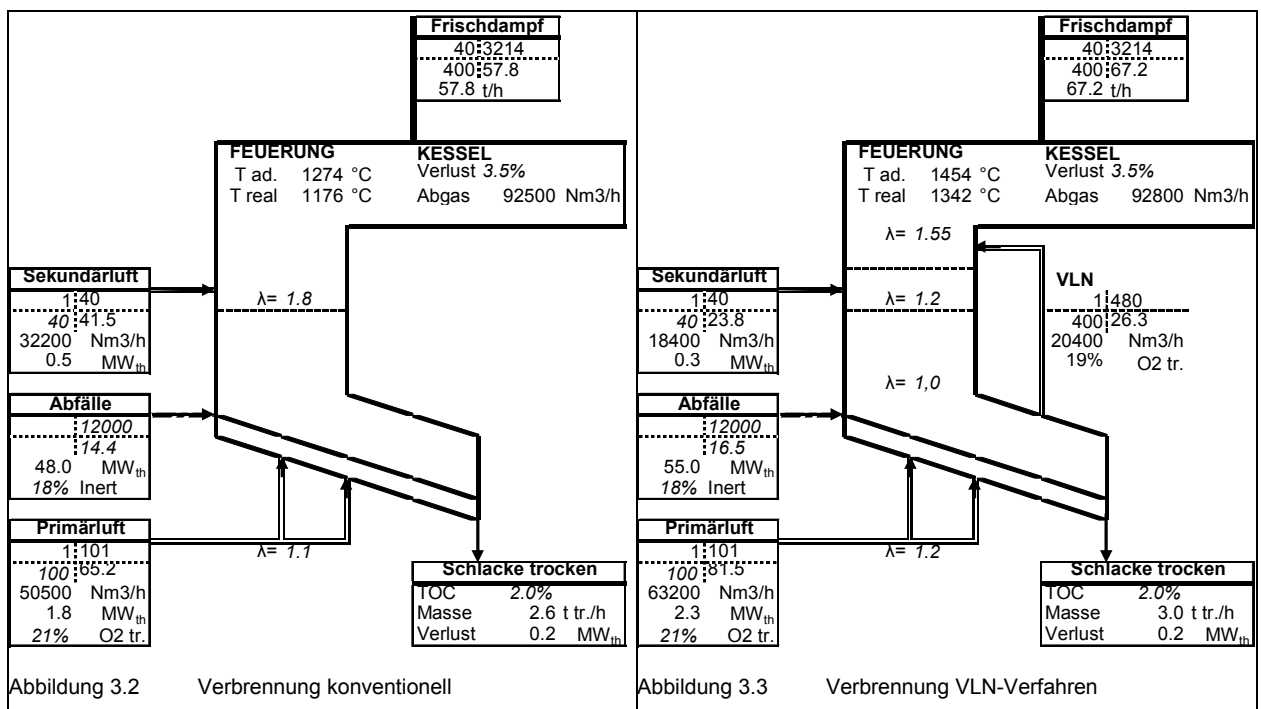
3.2.2.2 Verbrennungsrechnung

MARTIN hat die Umsetzung im KHKW Hagenholz in einer Studie (4) überprüft. Die Ergebnisse sind in einigen Punkten unklar:

- die Berechnungen gelten für maximale Last bei mittlerem Heizwert 9'000 kJ/kg, in Wirklichkeit sind es aber 12'000 kJ/kg.
- MARTIN geht davon aus, dass die thermische Leistung von Feuerung und Kessel ohne nachteilige Folgen von 48 MW auf 55 MW angehoben werden kann. Dies ergibt 10 t/h mehr Dampf, der in der vorhandenen Turbine nicht verarbeitet werden kann.
- Die Berechnungen sind nicht durchgängig nachvollziehbar (z.B. der Sauerstoffgehalt 19% der VLN Gase, oder die Verbrennungstemperatur und Abgasmenge, welche nicht mit dem Luftüberschuss 1.5 korrelieren).

Die Ergebnisse der eigenen rechnerischen Überprüfung sind in der Abbildung gezeigt.

- VLN ergibt bei gleichbleibender Brennstoffmenge maximal eine Reduktion der Abgasmenge um 15%, bzw. eine Leistungssteigerung von 15% bei unveränderter Abgasmenge.
- Bei Luftüberschuss 1.55 resultiert eine adiabate Verbrennungstemperatur 1454°C, höher als von MARTIN angegeben. Es besteht das Risiko der Verschlackung des Feuerraums.



3.2.2.3 Abgas-Rezirkulation

Die Abgas-Rezirkulation bezweckt, wie das VLN- Verfahren, die Reduktion der Abgasmenge durch geringeren Luftüberschuss. Für die externe Abgasrezirkulation werden Abgase möglichst im entstaubten Bereich hinter dem Elektrofilter entnommen und mit einem Ventilator in den Feuerraum zurückgeführt.

Im Unterschied zu VLN bewirkt die Rezirkulation:

- niedrigere Verbrennungstemperatur, gleich wie bei der konventionellen Verbrennung;
- höhere Rauchgasmenge, welche durch den Kessel gefahren wird.

Der Luftüberschuss im Abgas lässt sich bis 1,4 (6 Vol.% Sauerstoff) reduzieren, ohne dass sich der Ausbrand der Rauchgase und Schlacke merkbar verschlechtern.

3.2.2.4 Sauerstoffanreicherung (SYNCOM-Verfahren)

Eine andere Variante ist die Anreicherung der Verbrennungsluft mit Sauerstoff, in Verbindung mit der Rauchgas-Rezirkulation. Das SYNCOM-Verfahren der Firma Martin wurde in der MVA Coburg getestet und in der MVA Arnoldstein weiterentwickelt.

- Durch Anreicherung der Verbrennungsluft mit Sauerstoff (O₂-Gehalt bis 35%) wird eine 100°C höhere Temperatur auf dem Rost erreicht (>1.150°C);
- Die Schlacke wird teilweise gesintert, dadurch geringere Löslichkeit von Schwermetallen;
- Verringerung der Abgasmenge zur Rauchgasreinigung um ca. 20 %
 - Höherer Kessel-Wirkungsgrad;
 - Kleinere Flugaschemenge;
 - Kostenersparnis durch kleinere Komponenten bei Dampfkessel und Abgasreinigung.

Bei der Weiterentwicklung wird die Schlacke mechanisch aufbereitet, Feinanteile und Flugasche werden in die Feuerung zurückgeführt.

3.2.2.5 Vergleich der Verfahren zur Leistungssteigerung

Die thermische Berechnung für die Verfahren der Leistungssteigerung beruht auf folgenden Voraussetzungen:

- Steigerung der Brennstoffwärmeleistung der bestehenden Feuerungen von 48 auf 55 MW;
- maximale Rauchgasmenge zur RGR = 100'000 Nm³/h feucht (wie heute);
- Rezirkulation von 20% der Abgasmenge;
- Sauerstoffanreicherung bei SYNCOM auf 30 Vol.-% O₂.

Verbrennungsverfahren		Konventionell	VLN	Rezirkulation	SYNCOM
Kehrichtdurchsatz	[t/h]	14,4	16,5	16,5	16,5
Heizwert	[kJ/kg]	12'000	12'000	12'000	12'000
Bruttowärmeleistung	[MW _{th}]	48	55	55	55
Primärluft	[Nm ³ /h]	50'500	63'200	57'900	47'900
Sekundärluft	[Nm ³ /h]	32'200	18'400	21'100	26'300
Tertiärluft (VLN bzw. Rezi)	[Nm ³ /h]	0	20'400	20'000	20'000
Adiabate Feuerraumtemperatur	[°C]	1274	1454	1302	1324
Luftüberschuss am Kesselende	-	1.8	1.55	1.5	1.8
Rauchgas am Kesselende	[Nm ³ /h]	92'500	92'800	109'600	104'900

O ₂ tr. Am Kesselende	[Vol-% tr.]	9,3	7,5	7.0	9,3
Rauchgas zu RGR	[Nm ³ /h]	92'500	92'800	90'100	85'300
Frischdampfmenge	[t/h]	58	67	67	67

Tabelle 3.2 Vergleich der Verfahren zur Leistungssteigerung

Alle Verfahren ermöglichen 15% Durchsatzsteigerung bei gleichbleibender Rauchgasmenge zur RGR.

Die kritischen Betriebszustände sind grau markiert:

- bei VLN sind Feuerraumtemperatur und Dampfmenge im Kessel kritisch;
- bei der Rezirkulation sind Abgasmenge und Dampfmenge im Kessel kritisch;
- SYNCOM verhält sich gleich wie die Rezirkulation, aber die Abgasmenge in Kessel und Rauchgasreinigung sind geringer.

3.2.2.6 Folgerungen

Das VLN-Verfahren ermöglicht eine Durchsatzsteigerung um 15-20% mit vergleichsweise geringen technischen Eingriffen. Zusätzlich wird die Bildung von Stickoxid im Feuerraum reduziert, was die Funktion und Standzeit der vorhandenen Katalysatoren verbessert.

Schon bei 15% Leistungssteigerung ergeben sich kritische Verbrennungstemperaturen. Deshalb wurde in der vorliegenden Studie 10% mittlere Leistungssteigerung angenommen (von 48 MW auf 53 MW).

Das Langzeitverhalten des Umbaus ist vom Kessellieferanten zu überprüfen. Mögliche Nachteile sind:

- Verschlackung und Verschleiss der feuerfesten Platten.
MARTIN empfiehlt Cladding im unteren Bereich anstelle von Platten (von Rost bis zu hinterlüfteten Platten).
- Cladding verbessert den Wärmeübergang. Dies kann die Temperaturen in den übrigen Verdampfer- und den Überhitzer-Heizflächen beeinflussen.
- Hochtemperaturkorrosion im Feuerraum (bei hinterlüfteten Platten ist dieses Risiko kleiner) und im Endüberhitzer.
- Höhere Abgastemperatur am Kesselaustritt (Erhöhung gemäss MARTIN nur + 5°C).

3.2.3 Erneuerungsstrategie 2K1/2K3

3.2.3.1 Rollende Erneuerung 2K1/2K3

ERZ ist zur Entsorgung der angelieferten Abfälle verpflichtet und hat keine Möglichkeit zur längerfristigen Umlenkung der Abfallströme. Es kommt deshalb nur eine rollende Erneuerung, ohne Kapazitätslücke, in Frage. Die rollende Erneuerung von 2K1/2K3 kann auf zwei Arten realisiert werden:

- Entweder etappenweiser, zeitlich verschobener Ersatz der beiden Kessel. Dazu ist 1 freier Platz notwendig.
- Oder gleichzeitiger Neubau der beiden Kessel. Dazu sind 2 freie Plätze notwendig.

3.2.3.2 Rollende Erneuerung 3. Verbrennungslinie

Die Varianten zu 2K1/2K3 gelten analog auch für die 3. Verbrennungslinie:

- Entweder etappenweiser, zeitlich verschobener Ersatz der drei Kessel. Dazu ist 1 viertes freies Feld notwendig.
- Oder gleichzeitiger Neubau aller drei Kessel. Dazu sind 3 freie Reservefelder notwendig.

Die gleichzeitige Variante mit 3 Reservefeldern ist auszuschliessen, da auf dem Areal Hagenholz nicht genügend Platz vorhanden ist. Dies würde einen Neubau der KVA an einem neuen Standort bedingen.

Es wird nur die rollende Erneuerung mit 1 Reservefeld betrachtet.

3.2.4 Anzahl der Verbrennungslinien

3.2.4.1 Drei Linien-Strategie

Bisher verfügt das KHKW Hagenholz über 2 Verbrennungslinien. Die Kapazitätserweiterung erfordert eine dritte Linie, da der Ersatz der Kessel 2K1 und 2K3 kurz- und mittelfristig nicht in Betracht kommt.

- 3 Verbrennungslinien haben gegenüber 2 Linien die Vorteile der höheren Flexibilität bei schwankender Abfallmenge und des kleineren Engpasses bei Ausfall oder Revision einer Linie.
- Nachteilig sind die höheren Kosten für Betrieb und Unterhalt sowie der Platzbedarf.

3.2.4.2 Zwei Linien-Strategie

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit haben sich in den letzten Jahren grosse Einheiten mit Leistungen bis 110 MW besonders in Deutschland durchgesetzt. Auch in der Schweiz wurden mehrere Anlagen mit nur einer Verbrennungslinie gebaut mit dem Vorbehalt, dass bei einer Havarie oder Revision der Abfall in andere Anlagen abgefahren werden muss.

- Die 2-Linien Strategie bedingt eine 3. Verbrennungslinie mit höherer Leistung. In der Übergangszeit, bis zum Ersatz von 2K1 und 2K3, resultiert eine Überkapazität.
- Die 2-Linien Strategie kann sich lohnen, wenn die Kapazitätserhöhung zeitlich mit der Ersatzinvestition für 2K1 und 2K3 zusammenfällt.

3.2.5 Auslegung der Verbrennungslinie 3

3.2.5.1 Lösungen

Die Wahl der Strategie beeinflusst die Leistung der Verbrennungslinie 3, wie in der Tabelle dargestellt. Die Erhöhung der Abfallmenge betrifft hauptsächlich die mehrheitlich trockenen Abfälle aus Bau, Gewerbe und Industrie, mittlerer Heizwert geschätzt 13'500 kJ/kg.

- Durch die Steigerung der höherkalorischen Bau-, Industrie- und Gewerbeabfälle wird sich der mittlere Heizwert etwas erhöhen, geschätzt von 12'000 kJ/kg auf künftig 12'500 kJ/kg.
- Daraus resultiert ein Rückgang des Durchsatzes der Linien 2K1 und 2K3. Um dies zu kompensieren, benötigt die 3. Verbrennungslinie eine Leistung von 55 MW.
- Wenn 115'000 t/a Bau- und Gewerbeabfälle zerkleinert und separat in einer Wirbelschicht verbrannt werden, bleibt der Heizwert der übrigen Abfälle unverändert bei 12'000 kJ/kg.

3.2.5.2 Resultate

Für die Verbrennungslinie 3 ergeben sich Wärmeleistungen von aufgerundet 45 MW, 55 MW oder 75 MW.

Strategie	3-Linien Strategie			2-Linien Strategie
	Konventionelle Feuerung	Umrüstung 2K1 / 2K3 auf VLN	Wirbelschicht für I&G	Konventionelle Feuerung
Verbrannte Abfallmenge t/a	345'000	345'000	345'000	345'000
Mittlerer Heizwert kJ/kg	12'500	12'500	12'000 / 13'000	12'500
Betriebszeit h/a	8'000	8'000	8'000	8'000
Wärmeleistung 2K1/2K3 MW	48	53 (110%)	48	werden ersetzt
Durchsatz 2K1/2K3 t/h	13,8	15,2 (110%)	14,4	werden ersetzt
Durchsatz Linie 3 t/h	15,4	12,7	14,4	21.6
Wärmeleistung Linie 3 MW	55	45	55	75

Tabelle 3.3 Feuerungswärmeleistung der Verbrennungslinie 3

Eine weitere Variante mit 2 Linien VLN sowie einer neuen Wirbelschicht wird nicht untersucht. Die Leistung der Wirbelschicht könnte theoretisch von 55 auf 45 MW reduziert werden, dies ist nicht relevant.

3.3 Verfahren

3.3.1 Verbrennung

3.3.1.1 Rostfeuerung

Die Rostfeuerung ist die Technik der Wahl für Mischabfälle unterschiedlicher Abmessung und Zusammensetzung. Es sind keine vergleichbaren Techniken bekannt.

3.3.1.2 Wirbelschicht

Es besteht die Möglichkeit, den Feinmüll aus der Zerkleinerung von Sperrgut, Bau- und Gewerbeabfällen in einem separaten Bunker zu lagern und zu verbrennen.

Für solche Abfälle eignet sich die Wirbelschicht, welche einen guten Ausbrand und einen höheren thermischen Wirkungsgrad mit kleineren Luftüberschuss (6 Vol-% O₂) erzielt.

3.3.1.3 Vergleich der Feuerungssysteme

Vor- und Nachteile der Wirbelschichttechnik im Vergleich zur „klassischen“ Rostfeuerung, sind:

Vorteile der Wirbelschicht:

- Geringerer Bedarf an Verbrennungsluft mit positivem Effekt auf Investitionskosten (kleinere Anlage) und Betriebskosten (weniger zu behandelndes Rauchgas);
- Besserer Ausbrand und geringere Schadstoffbelastung der Bettasche (Schlacke) als Folge der Konzentration von Schadstoffen in der Flugasche;
- Breiteres Spektrum an Brennstoffen mit Bandbreite des Heizwertes von 10 MJ/kg (Klärschlamm auch als Monocharge) bis 28 MJ/kg (heizwertreiche Fraktionen z.B. aus MBA)
- Höherer energetischer Wirkungsgrad mehr Stromausbeute als Folge höherer Dampfparameter
- Geringerer Flächenbedarf.

Nachteile der Wirbelschicht:

- Vorzerkleinerung für Korngrößen <250 mm und Entfernung von Metallstücken;
- Grössere Menge an Flugasche, welche zu behandeln ist.

3.3.1.4 Folgerungen

Es ergeben sich zwei Optionen:

- entweder 2 bzw. 3 Verbrennungslinien mit Rostfeuerung für Mischabfälle;
- oder 2 Linien mit Rostfeuerung für Haushaltsabfälle sowie 1 Linie mit Wirbelschicht für zerkleinertes Sperrgut.

3.3.2 Dampfkessel

3.3.2.1 Verfahren

Die wichtigsten Varianten der Kesselausführung sind:

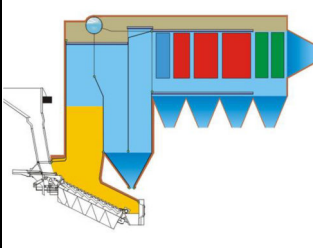
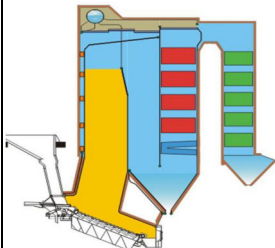
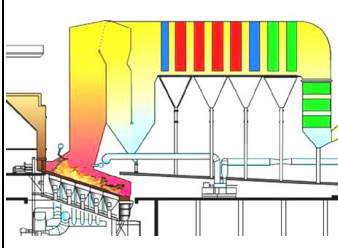
Bauart	4-Zug Dackelkessel	4-Zug Vertikalkessel	5-Zug Kessel
Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> 3 vertikale Strahlungszüge mit Verdampferwänden 1 horizontaler Konvektionszug mit hängenden Überhitzer- und Eco-Bündeln 	<ul style="list-style-type: none"> 2 vertikale Strahlungszüge mit Verdampferwänden 1 vertikaler Konvektionszug mit Überhitzer-Bündeln 1 vertikaler Konvektionszug mit Eco-Bündeln 	<ul style="list-style-type: none"> 3 vertikale Strahlungszüge mit Verdampferwänden 1 horizontaler Konvektionszug mit hängenden Überhitzer-Bündeln 1 vertikaler Konvektionszug mit Economiser
			
Baulänge (abhängig von Abgastemperatur)	25 - 40 m	20 - 25 m	25-35 m
Bauhöhe abhängig von Rostsystem	35 - 40 m	40 - 45 m	35 - 40 m
Abreinigung Konvektionsheizflächen	Klopfeinrichtungen	Russbläser, Kugelregen für Economiser	Klopfeinrichtung, Kugelregen für Economiser
Staub nach Kessel:			
• Normalbetrieb	1 - 2 g/m³	1 - 2 g/m³	1 - 2 g/m³
• während Abreinigung	2 - 3 g/m³	3 - 4 g/m³	2 - 3 g/m³
Kosten	etwas höher als Vertikalkessel, Instandhaltung und Wirkungsgrad etwas besser.	5 - 10% preisgünstiger als Horizontalkessel, aber Unterhalt teurer.	wie Dackelkessel.
Besondere Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> niedrige Bauhöhe gute Reinigung der Bündel niedriger Staubgehalt und konstanter Abgasstrom bei Abreinigung. 	<ul style="list-style-type: none"> kurze Baulänge Ausbaubarkeit der Bündel. 	<ul style="list-style-type: none"> wie Dackelkessel kürzere Baulänge bei tiefen Abgastemperaturen <200°C Besserer Ausgleich der Abgastemperatur im Eco
Besondere Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> Länge des Kessels Abgas-Temperaturschichtung im Horizontalteil 	<ul style="list-style-type: none"> Breite des Kessels (wegen Russbläser) Dampfverbrauch 5% Anstieg der Abgasmenge beim Russblasen. 	<ul style="list-style-type: none"> Länge des Kessels

Tabelle 3.4 Kesselbauarten

Die herstellerspezifische Form des Feuerraumes richtet sich nach der jeweiligen Flammenform und der Eindüsung von Sekundärluft. Die Feuerung mit Mittelstrom oder Gegenstrom ist heute Stand der Technik. Die Gleichstromfeuerung eignet sich nur bei sehr niedrigen Heizwerten.

3.3.2.2 Folgerungen

Die Reisezeit und Verfügbarkeit von Horizontalkesseln ist wegen der besseren Abreinigung und dem geringeren Risiko der Hochtemperatur-Korrosion im Überhitzer im Durchschnitt etwas besser als bei Vertikalkesseln. Aus diesen Gründen wird der Horizontalkessel für die Kehrlichtverbrennung bevorzugt, sofern die Platzverhältnisse diese Bauart zulassen.

Insbesondere bei der zukünftigen Mitverbrennung von grösseren Anteilen an Gewerbeabfällen kann sich Kesselkorrosion verstärken. Die Rauchgaszusammensetzung, die Temperaturen und die Schadstoffgehalte schwanken stärker als bei Haushaltabfällen, so dass sich die bauartbedingten Nachteile eines Kessels deutlich auswirken.

Für die Machbarkeitsstudie gelten folgende Voraussetzungen:

- 1. Priorität: 4-Zug-Horizontalkessel (Dackelkessel)
- 2. Priorität, falls Horizontalkessel zu lang: 4-Zug-Vertikalkessel oder 5-Zugkessel

3.3.2.3 Bemerkungen zu Problemen der vorhandenen Kessel 2K1/2K3

Die beiden Verbrennungslinien im Hagenholz sind mit 4-Zug Dackelkesseln ausgerüstet. Diese Technik hat sich für die Abfallverbrennung sehr gut bewährt, der Nachteil ist die Baulänge des horizontalen Konvektionszugs. Durch enge Rohrteilungen war es im Hagenholz möglich, die Kessel im vorhandenen Kesselhaus mit nur 26 m Länge aufzustellen.

Es resultierten daraus eine starke Verschmutzung des Überhitzers und hohe Abgastemperaturen, die verlangte Reisezeit konnte zu Beginn nicht erreicht werden.

Diese Mängel wurden durch den Austausch des Endüberhitzers (grössere Rohrteilung), den Einbau einer Online-Reinigung (Shower Cleaning) und geänderte Schaltung der Überhitzer (Gleichstrom/Gegenstrom) behoben. Mittlerweile werden die erwarteten Reisezeiten von 8300 h pro Jahr erreicht und die Temperatur vor Überhitzer ist unter 630° C. Das vorhandene System kann deshalb als geeignet angesehen werden.

3.3.3 Entstickung

Die aus dem Feuerraum austretenden Rauchgase weisen NO_x-Konzentrationen im Bereich von 250 - 450 mg/m³N tr. auf. Sie sind unter den Grenzwert < 80 mg/m³N tr. zu reinigen.

3.3.3.1 SCR-Verfahren

Die selektive katalytische Entstickung (SCR) ist in KHKW Hagenholz seit vielen Jahren mit Erfolg in Betrieb. Zwei Einsatzbereiche sind möglich:

- im Rohgas hinter einer Entstaubungsanlage (Elektrofilter);
- im Reingas hinter einer trockenen oder nassen Rauchgasreinigung.

Durch unvollständige Reaktion des Ammoniaks und durch Oxidation von SO₂ zu SO₃ am Katalysator (Konversion) kann Ammonhydrogensulfat (NH₄HSO₄) entstehen, welche sich als klebriges Reaktionsprodukt an der Katalysatoroberfläche ablagert. Um dies zu verhindern, muss die Betriebstemperatur der SCR-Anlage höher sein als die Kondensationstemperatur von NH₄HSO₄.

- Bei SO₃-Konzentrationen unter 0,5 mg Nm³ (Reingas-Katalysator) genügen Betriebstemperaturen über 190°C;
- bei SO₃-Konzentrationen über 10 mg Nm³ (Rohgas-Katalysator) sind Temperaturen über 230°C notwendig.

3.3.3.2 SNCR-Verfahren

Zur Minderung der Stickoxide bei der selektiven nichtkatalytischen Reduktion SNCR wird Ammoniakwasser oder Harnstoff im Feuerraum eingedüst. Merkmale des Verfahrens:

- SNCR funktioniert wirkungsvoll nur im Temperaturfenster 800 - 950°C,
- das Reduktionsmittel muss im Überschuss dosiert werden, da nur 30-50% davon reagieren, der Rest wird verbrannt oder entweicht als Ammoniakschlupf;
- bei üblichen Rohgaskonzentrationen und NO_x-Restgehalt unter dem Grenzwert 80 mg/Nm³ entsteht ein Ammoniakschlupf über dem Grenzwert NH₃ >5 mg/Nm³.

Der Schlupf ist in der nachfolgenden Rauchgasreinigung abzuscheiden, mit Schlupfkatalysator oder Nasswäscher und Stripper. SNCR eignet sich deshalb am besten bei niedrigen Rohgaskonzentrationen, z.B. in Kombination mit primären Massnahmen wie das VLN- Verfahren.

3.3.3.3 Folgerungen

Eine SCR-Anlage mit Katalysator benötigt wesentlich mehr Platz als die im Kessel integrierte SNCR. Deshalb wird die Machbarkeit nur mit dem Konzept SCR überprüft.

3.3.4 Rauchgasreinigung

3.3.4.1 Verfahren

Zur Abscheidung der Stäube, der sauren Gase und der Schwermetalle aus den Rauchgasen werden unterschiedliche Verfahren eingesetzt:

- Trockensorption, einstufig oder zweistufig, bestehend jede Stufe aus Reaktor und Gewebefilter. Reagenzien sind Kalkhydrat oder Bikarbonat.
- Quasitrocken Verfahren, bestehend aus Sprühabsorber und Staubfilter (Elektro- oder Gewebefilter). Reagenz ist Kalkmilch.
- Nassreinigung mit Abwasser, bestehend aus Elektrofilter und mehrstufigem Nasswäscher. Reagenzien sind Kalkmilch und Natronlauge. Das Abwasser wird gereinigt und abgeleitet.
- Nassreinigung ohne Abwasser, bestehend aus Sprühtrockner, Elektrofilter und Nasswäscher. Reagenzien sind Kalkmilch und Natronlauge. Das Abwasser wird im Sprühtrockner mit der Rauchgaswärme verdampft.

Zur gezielten Abscheidung von Dioxinen/Furanen, besonders hinter einer Rohgas-SCR, werden die Verfahren oft mit einem Gewebefilter und Aktivkoks oder Aktivkohle-Zugabe kombiniert.

3.3.4.2 Vorhandene Infrastruktur im KHKW

Die Nassreinigung mit Abwasser erfordert eine Abwasseraufbereitung, welche im KHKW derzeit gemeinsam mit einer Flugaschenwäsche neu erstellt wird. Die Leistung ist für drei Verbrennungslinien dimensioniert.

3.3.4.3 Folgerungen

Für die Wahl des geeigneten Verfahrens zur Rauchgasreinigung sind die geforderte Reinigungsleistung und die Wirtschaftlichkeit massgebend. Bei der Aufstellung ergeben sich zwei Konzepte:

- Der Platzbedarf einer einstufigen Trockensorption oder einer Nasswäsche mit Abwasser (Abwasserreinigung ist vorhanden) ist vergleichsweise gering;
- Die Nassreinigung ohne Abwasser, die Nassreinigung mit Gewebefilter oder die zweistufige Trockensorption sind aufwändiger, sie benötigen eine zusätzliche grosse Komponente.

Bezüglich Aufstellung werden deshalb die Verfahren mit dem grössten Platzbedarf berücksichtigt. Dies lässt alle Optionen offen.

3.3.5 Trockenentschlackung

ERZ hat mit der KEZO eine Betriebsgesellschaft für die Aufbereitung und Verwertung der Trockenschlacke gegründet. Ein Projekt zur Trockenentschlackung und Verladung in Container im Hagenholz ist in Vorbereitung.

Aus diesem Grund wird nur dieses Konzept betrachtet.

3.3.6 Rückstandsbehandlung

3.3.6.1 Verfahren

ERZ erstellt zur Zeit eine neue Flugaschenwäsche (FLUWA), welche die Kesselaschen und Filterstäube von drei Verbrennungslinien behandeln kann. Als Laugungsmittel dient die saure Abschlammung der Nasswäscher. In einem ersten Schritt werden die Rückstände der beiden Verbrennungslinien Hagenholz sowie der Linie Josefstrasse in dieser Anlage behandelt. Nach der geplanten Stilllegung des KHKW Josefstrasse steht die Kapazität für die dritte Verbrennungslinie im Hagenholz zur Verfügung.

Die Trockensorption und das Quasitrockenverfahren erzeugen Rückstände mit hohem Anteil an basischen Produkten, welche die saure Aschenwäsche unwirksam machen. Die Rückstände mit Bikarbonat-Verfahren werden rezykliert, die Rückstände mit Kalkhydrat werden deponiert.

3.3.6.2 Folgerungen

Für die Aufstellung der 3. Verbrennungslinie ist die Rückstandsbehandlung nicht massgebend, da die FLUWA vorhanden ist. Falls die Rückstände in dieser FLUWA behandelt werden sollen, eignet sich nur eine nasse Rauchgasreinigung.

Es bleiben aber alle Optionen offen.

3.3.7 Energienutzung

3.3.7.1 Turbinensysteme

Mit den neuen Feuerungs- und Kesselanlagen stehen zukünftig grössere Frischdampfmenngen zur Verfügung, die einer wirtschaftlichen, energetischen Nutzung zugeführt werden müssen.

Unter Berücksichtigung der unter Kapitel 2 aufgeführten Randbedingungen der vorhandenen Energiezentrale sind 2 Turbinentypen machbar:

- Gegendruckturbine, Abdampfdruck 1,3 bar, Nutzung für Fernwärme;
- Entnahme-Kondensationsturbine, Entnahme 1,3 bar für Fernwärme, Abdampfdruck ~0,1 bar.

Niedrigere Abdampfdrücke als 0,1 bar sind machbar, wenn Fluss- oder Seewasser zur Kühlung zur Verfügung steht. Der Fluss Glatt ist in der Nähe, die Nutzungsmöglichkeit wäre zu klären.

3.3.7.2 Energetischer Vergleich

Die Abbildungen zeigen den Unterschied zwischen der Gegendruckturbine und Kondensationsturbine. Die Kondensationsturbine entspannt den Dampf bis ins Vakuum. Die Stromproduktion ist proportional zur Länge der Entspannungslinie, die Vorteile der Kondensationsturbine sind daraus sofort ersichtlich.

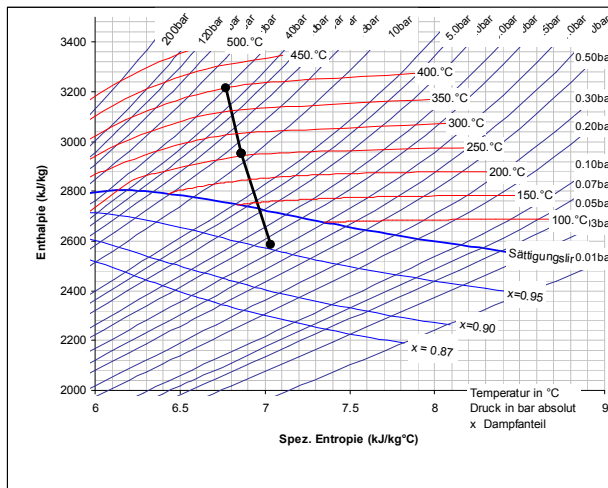


Abbildung 3.4 Gegendruckturbine, Abdampf 1,3 bar

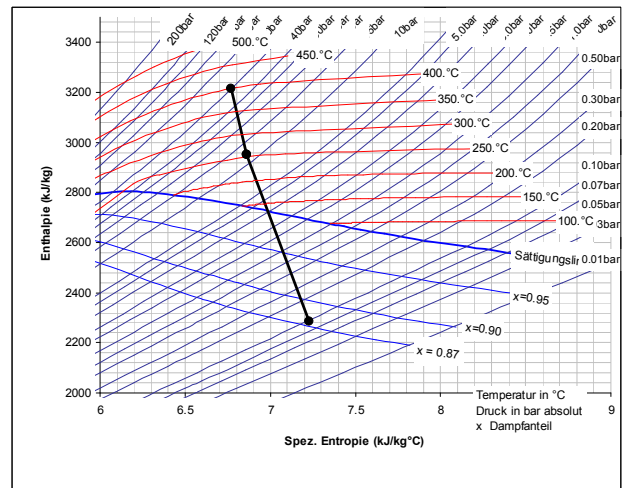


Abbildung 3.5 Kondensationsturbine, Abdampf 100 mbar

3.3.7.3 Folgerungen

Gemäss Angabe ERZ ist es bisher nur während 2-3 Monaten im Winter möglich, den gesamten Abdampf der Gegendruckturbine in die Fernwärme einzuspeisen. Eine zusätzliche Gegendruckturbine ist deshalb nicht zweckmässig.

In der Machbarkeitsstudie wird die Lösung mit Entnahme-Kondensationsturbine betrachtet. Sie erfordert wegen des niedrigen Abdampfdruckes eine wesentlich grössere Fläche für den Luftkondensator.

3.3.8 Weitere Massnahmen zur energetischen Optimierung

Die weiteren Massnahmen zur Optimierung der Energieeffizienz bei Abfallverbrennungsanlagen sind:

- Minderung der Abgastemperatur nach Kessel und im Kamin;
- Erhöhung der Dampftemperatur;
- Verringerung des Kondensationsdruckes;
- mehrstufige Kondensat- und Speisewasser-Vorwärmung;
- Höhere Luft-Vorwärmung;
- Zwischenüberhitzung des Dampfes;
- Trockene Rauchgasreinigung;
- Rückgewinnung von Rauchgas-Abwärme;
- Erhöhung der Wärmenutzung durch Dampf, Fernwärme oder Kälteerzeugung.

Diese Massnahmen sind später im Vorprojekt/Projekt zu überprüfen, für die Machbarkeitsstudie ist die energetische Optimierung nicht ausschlaggebend.

3.4 Mögliche Standorte

Die Möglichkeiten der Aufstellung einer 3. Verbrennungslinie und die dazu verfügbaren Freiflächen auf dem Areal Hagenholz sind durch bestehende Bauten und zukünftige Projekte beschränkt.

- Das bestehende Rauchgasreinigungsgebäude bildet einen Querriegel vor dem Kesselhaus;
- Die Aufstellung der Linie 3 südlich der beiden vorhandenen Verbrennungslinien ist durch die Strasse und den Neubau der Energiezentrale verunmöglicht;
- Der Trockenschlacke-Austrag beansprucht eine Fläche für Befüllung und Lagerung der Container;
- Die Fläche des heutigen Recyclinghofs ist für die zukünftige Sperrgutbehandlung und/oder ein Ballenlager reserviert.

Der Situationsplan zeigt die möglichen Flächen für die Aufstellung einer 3. Verbrennungslinie:

- Standort Süd (A), im vorhandenen Kesselhaus (früher Linie 2K3);
- Standort Mitte (B), an Stelle der heutigen Büroaufstockung und seitlich daneben;
- Standort Nord (C), an Stelle der heutigen LKW-Werkstatt und der Tankstelle.

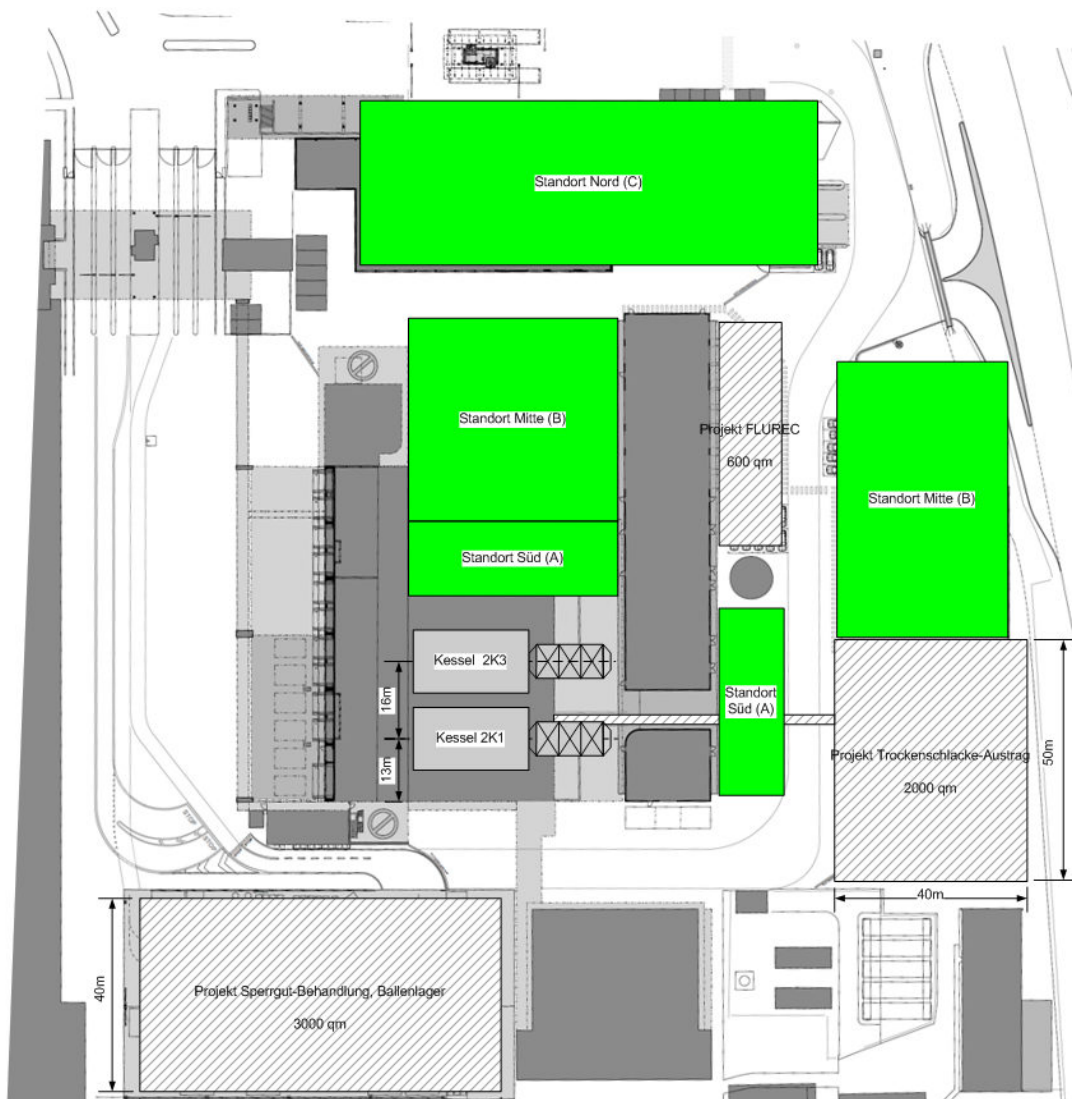


Abbildung 3.6 Standort-Lösungen für 3. Verbrennungslinie

4. Varianten

4.1 Technische Varianten

Aus den verschiedenen Lösungsansätzen resultieren für die 3. Verbrennungslinie:

- 3 thermische Leistungen 45MW, 55MW oder 75MW;
- 2 Technologien Rostfeuerung oder Wirbelschicht.

Varianten		1	2	2a	3
Strategie		Leistungserhöhung 2K1/2K3 (mit VLN)	Konventionelle Rostfeuerung	Wirbelschicht für Feinmüll	Konventionelle Rostfeuerung
Verbrennungslinien gesamt		3 Linien			2 Linien
Feuerung Linie 3		Rost	Rost	Wirbelschicht	Rost
Abfallfraktion		Mischabfälle	Mischabfälle	Feinmüll	Mischabfälle
Kapazität Linie 3	t/a	100'000	120'000	115'000	173'000
Feuerungswärmeleistung	MW	44	54	54	75
Heizwert	kJ/kg	12'500	12'500	13'500	12'500
Durchsatz Linie 3	t/h	13,0	15,8	14,6	21,6
Kessel Linie 3					
Dampfparameter	bar/°C	40 / 400			
Dampfmenge	t/h	54	66	68	91
Rauchgasreinigung Linie 3					
Rauchgasmenge		90'000	110'000	100'000	150'000
Entstickung		Rohgas-SCR oder Reingas-SCR			
Staubabscheidung		Elektro- oder Gewebefilter			
Gasreinigung		Nass oder Trockenreinigung			
Energienutzung Linie 3					
Frischdampfmenge Gesamt	t/h	182	182	184	182
Dampfmenge auf vorh. Turbine	t/h	115			
Bauart vorhandene Turbine	-	Entnahme-Gegendruckturbine			
Dampfmenge auf neue Turbine	t/h	66	66	68	66
Bauart neue Turbine	-	Entnahme-Kondensationsturbine			
Klemmenleistung neue Turbine	MW el	14,5	14,5	14,9	14,5
Abdampfmenge zu LUKO	t/h	55	55	57	55
Abdampfdruck/Temperatur	bar/°C	0,1/45			

Tabelle 4.1 Technische Varianten

Die höhere Dampfproduktion der Wirbelschicht ist bedingt durch den geringeren Luftüberschuss Faktor 1,5 statt 1,8 bei der konventionellen Rostfeuerung. Es ergibt sich eine etwa 3% höhere Dampfproduktion.

4.1.1 Thermische Berechnung Rostfeuerung 55 MW (Beispiel)

Die Daten wurden aus der Berechnung des thermischen Kreislaufs ermittelt. Das Schema zeigt die Ergebnisse für eine Rostfeuerung mit 55 MW Bruttowärmeleistung.

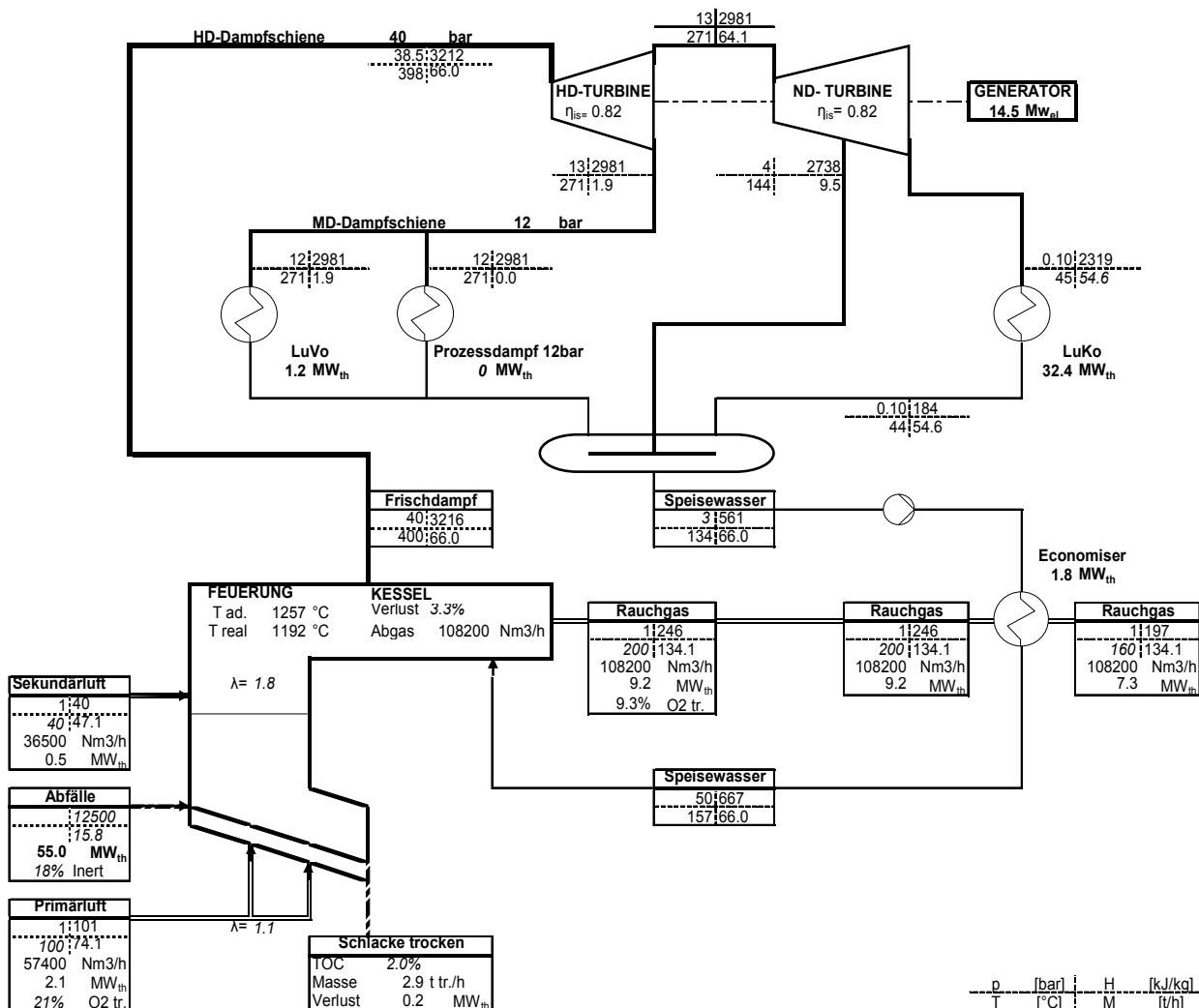


Abbildung 4.1 Kreislaufrechnung für 55 MW Kessel

4.1.2 Verzicht auf die nähere Untersuchung der Wirbelschicht

Die Variante 2b, Monoverbrennung von zerkleinertem Sperrgut in einer Wirbelschicht, wird in der Machbarkeitsstudie nicht weiter untersucht aus folgenden Gründen:

- Anstelle einer Rostfeuerung kann auch eine Wirbelschicht gleicher Leistung realisiert werden;
- bezüglich Kosten ergeben sich keine relevanten Unterschiede;
- die Wirbelschicht setzt die Realisierung einer Zerkleinerungsanlage mit Feinmüllbunker für 115'000 t/a Sperrgut voraus. Wenn diese Randbedingungen erfüllt sind, kommt die Technologie in Betracht.

Es wird darauf hingewiesen, dass insbesondere eine Sperrgutbehandlung gemäss Variante Nord (siehe Machbarkeitsstudie Sperrgutbehandlung & Bunkerkonzept von Oktober 2012) in Kombination mit einer Wirbelschicht Anlage geeignet wäre.

4.2 Standortvarianten

4.2.1 Flächenbedarf verschiedener KVA

Für die Ermittlung des Flächenbedarfs wurde die Fläche (Footprint) und die Gebäudehöhe anderer KVA mit vergleichbarer Leistung konsultiert:

- KVA Lausanne 2x 40 MW
- KVA Thun 1x 46 MW
- Renergia Perlen 2x 47 MW
- KHKW Hagenholz 2x 48 MW
- KVA Bern Forsthaus 1x 57 MW

Die Abmessungen beziehen sich nicht nur auf die technischen Einrichtungen, sondern beinhalten auch die Flächen für Nebenräume, Schaltanlagen, Podeste und Erschliessungen.

Eigenschaft		Hagenholz	Lausanne	Thun	Renergia Perlen	Bern Forsthaus
Wärmeleistung	MW	2x 48	2x 40	46	2 x 47	57
Dampfproduktion	t/h	2x 57.5	2x 47.5	55	2x 56	69
Grundriss						
Feuerung/Kessel, je Linie						
• Länge x Breite = Fläche	m	26x17=440	32x13=430	30x16=480	33x18=600	35x18=630
• Höhe	m	39	34	38	40	42
Elektrofilter, je Linie						
• Länge x Breite = Fläche	m	20x12=240	18x10=150	25x10=250	15x12=180	24x13=320
• Höhe	m	20	22	23	20	28
Rauchgasreinigung, inkl. externer Eco, je Linie						
• Länge x Breite = Fläche	m	62x10=620	40x13=520	25x25=620	40x18=720	45x18=810
• Höhe	m	29	25	27	28	28
Luftkondensator, je Linie						
• Länge x Breite = Fläche	m	20x10=200	26x16=420	25x20=500	38x14=530	27x25=670
• Höhe	m	15	18	17	22	25

Tabelle 4.2 Flächenbedarf und Raumhöhen verschiedener KVA

4.2.2 Folgerungen für 3. Verbrennungslinie

Der Vergleich zeigt erhebliche Differenzen zwischen den untersuchten KVA.

- Die Kessellänge im KHKW Hagenholz war durch das bestehende Kesselhaus begrenzt. Es musste deshalb eine kompakte Bauweise gewählt werden. Ein weiterer Grund ist die höhere Abgastemperatur 250°C wegen dem Rohgas-Katalysator.
- Die Kesselbreite hängt von der Wärmeleistung ab. Die Faustformel Kesselhausbreite = mindestens 30% der Wärmeleistung trifft zu.
- Die Elektrofilter sind teilweise 2-feldrig, teilweise 3-feldrig.

- Die Unterschiede in der Rauchgasreinigung sind verfahrensbedingt. Anlagen mit Nasswäscher und Trockensorption (Gewebefilter) benötigen am meisten Fläche.
- Die Aufstellungsfläche des Luftkondensators ist proportional der Dampfmenge nach der Formel $\sim 10 \text{ m}^2/\text{t}$ Abdampf (bei 0,1 bar). Der LuKo des KHKW Hagenholz, benötigt wegen der höheren Abdampftemperatur von 105°C nur etwa einem Drittel der Fläche eines Vakuumkondensators.

4.2.3 Planungsgrundlagen für die 3. Verbrennungslinie

Aus den Erfahrungswerten können die Gebäudeabmessungen für die Varianten hergeleitet werden.

Variante	1	2	3
Strategie	Leistungssteigerung 2K1/2K3 (VLN)	Rostfeuerung	Rostfeuerung
Wärmeleistung Linie 3	45 MW	55 MW	75 MW
Kesselhaus			
Länge	<ul style="list-style-type: none"> 26 m (kompakter Dackelkessel) 30 m (konventioneller Dackelkessel) 	32 m (konventioneller Dackelkessel)	40 m (konventioneller Dackelkessel)
Breite	15m (Dackelkessel) 20m (Vertikalkessel)	18m (Dackelkessel) 22m (Vertikalkessel)	23m (Dackelkessel)
Höhe	40m (Dackelkessel) 45m (Vertikalkessel)	40m (Dackelkessel) 45m (Vertikalkessel)	45m (Dackelkessel) 50m (Vertikalkessel)
Konsequenzen	Die Aufstellung im bestehenden Kesselhaus ist nur mit einem kompakten Dackelkessel möglich.	Der Kessel ist länger als das bestehende Kesselhaus.	Nicht möglich, der Kessel ist grösser als das bestehende Kesselhaus.
Elektrofilter			
Länge	3-feldrig = 17m / 2-feldrig = 11m	3-feldrig = 20m / 2-feldrig = 15m	3-feldrig = 25m / 2-feldrig = 19m
Konsequenzen	3-feldriger Filter vor RGR ist nur in Kombination mit kompaktem Dackelkessel (wie vorhanden) machbar. Sonst 2-feldrig.	Hinter einem Dackelkessel hat nur ein 2-feldriger E-Filter vor dem RGR Gebäude Platz.	Der E-Filter kann nicht zwischen Kesselhaus und RGR gestellt werden.
Rauchgasreinigung			
Gebäudefläche	600m ² . Grundriss abhängig von Komponenten.	700m ² . Grundriss abhängig von Komponenten.	900 m ² . Grundriss abhängig von Komponenten.
Luftkondensator			
Aufstellfläche	600m ² für alle Varianten. Grundriss ist abhängig von Anzahl und Anordnung der Ventilatoren		

Tabelle 4.3 Gebäudeabmessungen der Varianten

4.2.4 Platzreserve für Luftkondensator Linie 3 in der Energiezentrale

In der vorhandenen Energiezentrale ist neben den beiden eingebauten LuKo eine Freifläche von 200m² (20x10m) für die Aufstellung eines dritten Luftkondensators mit 2 Ventilatoren reserviert.

Diese Fläche ist ausreichend für eine Dampfmenge von 66 t/h bei einem Kondensationsdruck von 1,3 bar.

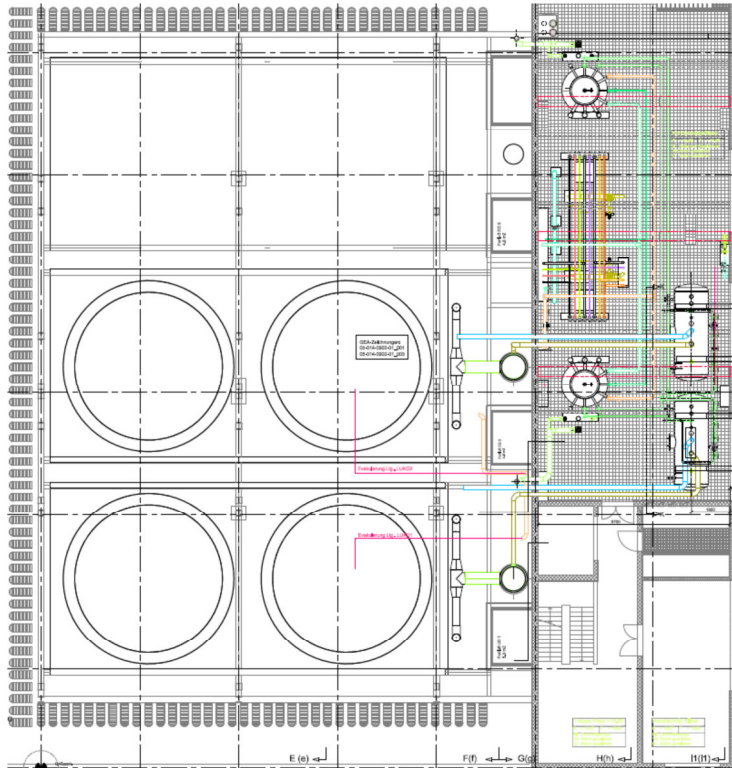


Abbildung 4.2 Platzreserve für dritten Luftkondensator in neuer Energiezentrale

Bei dem Kondensationsdruck 0,1 bar vergrößert sich die Fläche für die Kondensation der gleichen Dampfmenge um das 3-fache, auf etwa 600 m². Dies ist bedingt durch die Differenz zwischen Dampf und Umgebungstemperatur, welche bei der Kondensationsturbine etwa 3x kleiner ist.

4.2.5 Aufstellung Variante1 (45 MW Kessel)

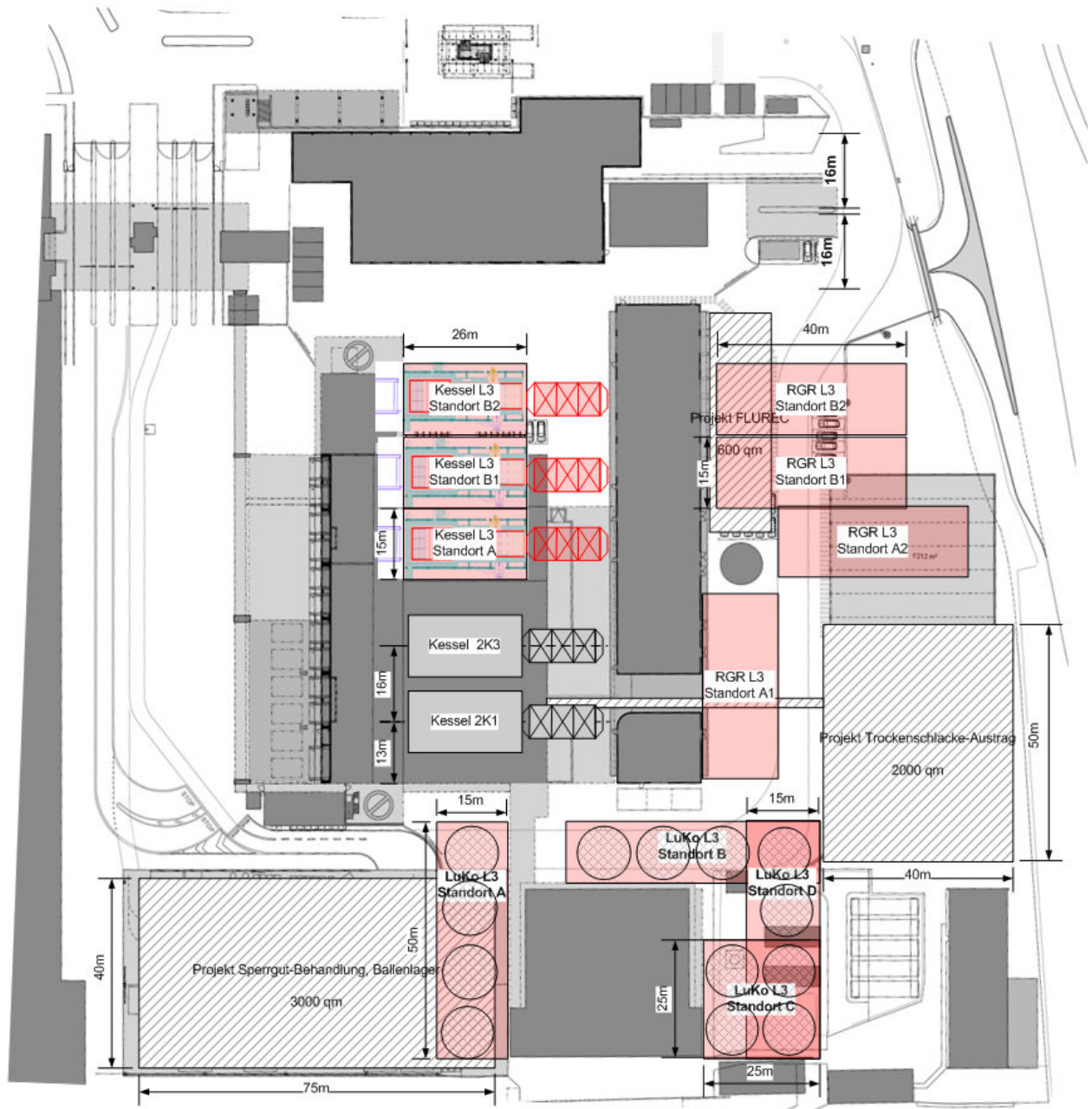


Abbildung 4.3 Standorte für Szenario 1 (45 MW)

4.2.5.1 Feuerung/Kessel/Elektrofilter

Der Abstand zwischen Bunker und Rauchgasreinigung beträgt 43m. Folgende Lösungen sind machbar, um an den Standorten A oder B den Kessel und den Staubfilter aufzustellen:

- kompakter Dackelkessel mit 3-feldrigem Elektrofilter (wie bestehend) an Standorten A oder B
- Konventioneller Dackelkessel mit 2-feldrigem Elektrofilter an Standorten A oder B

Ein Vertikalkessel mit 3feldrigem Elektrofilter an Standort A erfordert die Erhöhung des bestehenden Kesselhauses, diese Variante ist deshalb am Standort B besser geeignet.

4.2.5.2 Rauchgasreinigung

Die Rauchgasreinigung ist bezüglich Anordnung der Komponenten relativ flexibel. Die Form des Gebäudes kann deshalb weitgehend den Platzverhältnissen angepasst werden.

- In der Planung Hagenholz 2015 ist der Standort A für die RGR Linie 3 vorgesehen. Dieser Standort erfordert eine lange Abgasleitung und liegt auf dem Transportweg des geplanten Trockenschlacke-Austrags.
- Die Standorte B ergeben sich aus der linienbezogenen Anordnung als logische Fortsetzung der Kesselachse. Einige Komponenten werden auf ein Podest gestellt, um die Durchfahrt für LKW frei zu halten. Falls die FLUREC realisiert wird, kann dieses Gebäude für eine spätere Erweiterung mit der Rauchgasreinigung Linie 3 geplant werden.

4.2.5.3 Luftkondensator

Der LuKo 3 muss möglichst nahe der Energiezentrale sein, um den Druckverlust in der Abdampfleitung der Turbine zu minimieren. Die Fläche eines Vakuumluftekondensators beträgt mindestens 600 m².

- Der Standort A ist nur machbar, wenn die Fläche westlich der Energiezentrale nicht für ein zukünftiges Ballenlager benötigt wird. Die Sperrgutannahme und -Behandlung haben daneben Platz.
- Die Standorte C/D befinden sich im Bereich der Hilfskessel Container, welche mittelfristig abgebaut werden. Da der LuKo auf Stahlstützen von mindestens 6m Höhe steht, könnte er auch über die Hilfskessel gebaut werden. Bei Variante D kann auch das Kamin stehen bleiben.
- Der Standort B steht über der Durchfahrt, er beansprucht kein Baufeld, könnte aber während der Bauzeit den Verkehr behindern.

4.2.6 Aufstellung Variante 2 (55MW Kessel)

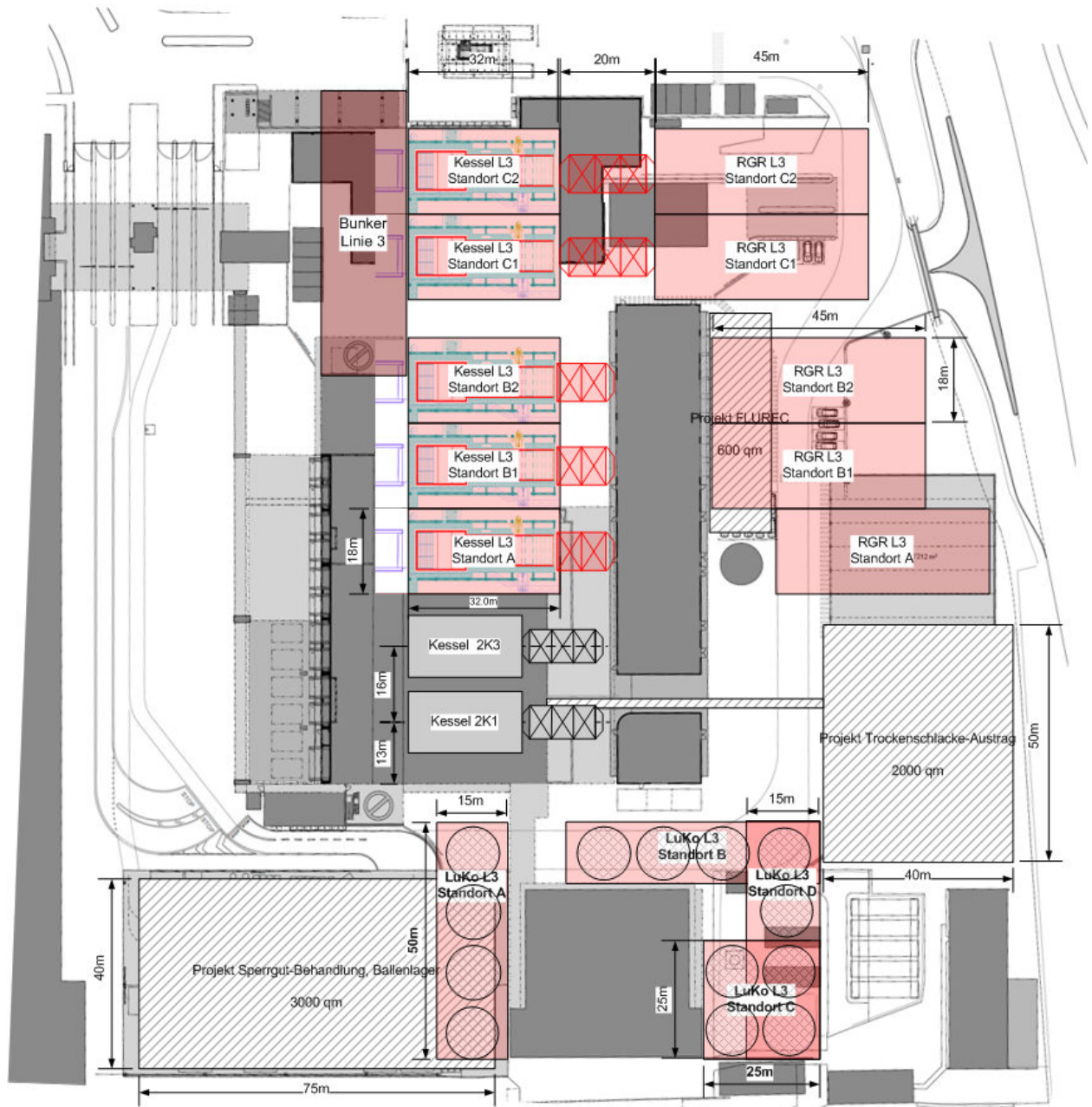


Abbildung 4.4 Standorte für Szenario 2 (55 MW)

4.2.6.1 Bunker

Der heutige Bunker ist zu klein, um die Erhöhung der Abfallmenge auf 345.000 t/a zu verarbeiten. Mögliche Lösungen:

- Erstellung eines Vorbunkers nördlich der Leitwarte;
- Verbreiterung des bestehenden Bunkers, teilweise oder auf der ganzen Länge;
- Verlängerung des bestehenden Bunkers, insbesondere bei Standort C.

Bei Standort C würden mindesten 100.000 t/a in der nördlichen Bunkerverlängerung angeliefert, um lange Kranwege zu vermeiden.

4.2.6.2 Feuerung/Kessel/Elektrofilter

Die verfügbare Länge zwischen Bunker und Rauchgasreinigung lässt nur Platz für ein 2-feldriges Elektrofilter. Sollte diese Variante gewählt werden, ist eine Reingasschaltung des Katalysators vorzuziehen.

Alternativ kann der Elektrofilter auch hinter das Rauchgasreinigungsgebäude gestellt werden (siehe Szenario 3).

4.2.6.3 Rauchgasreinigung

Die geeignete Aufstellung ist in einer Linie mit dem Kessel, damit auf beiden Seiten die Erweiterung frei bleibt. Dies lässt sich bei allen Varianten A/B/C realisieren.

4.2.6.4 Luftkondensator

Gleich wie bei Variante 1.

4.2.7 Aufstellung Variante 3 (75 MW Kessel)

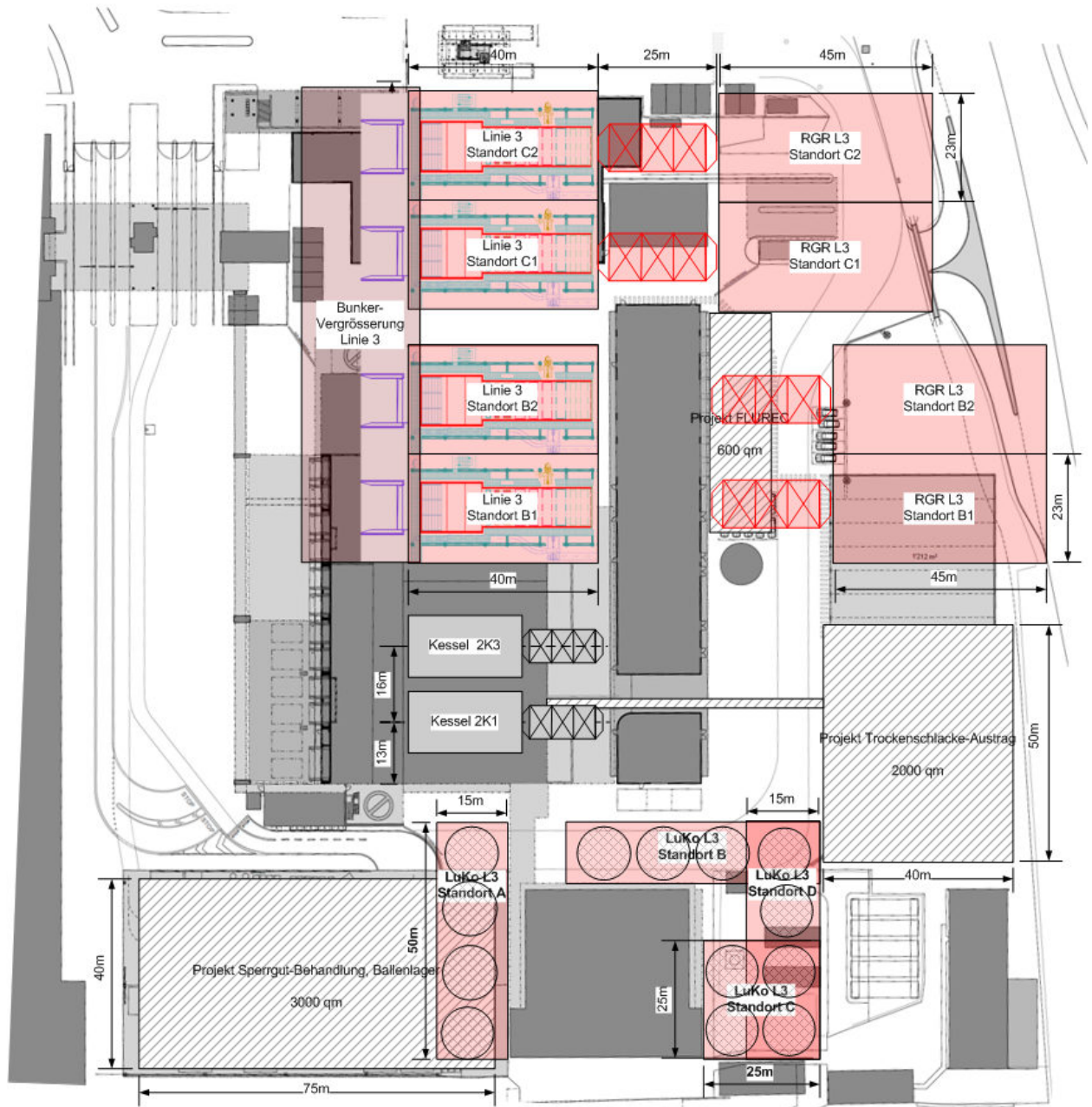


Abbildung 4.5 Standorte für Szenario 3 (75 MW)

4.2.7.1 Bunker

Der Standort B1 befindet sich noch innerhalb des heutigen Bunkers, die höhere Abfallmenge 345'000 t/a erfordert für Linie 3 eine Verbreiterung des bestehenden Bunkers.

Für die Standorte B2 und C muss der bestehende Bunker nach Norden verlängert werden. Zusätzlich sollte eine Verbreiterung oder eine Bewirtschaftung mit mehreren Anlieferstellen gewählt werden, um die höheren Abfallmengen nicht über grosse Strecken mit dem Kran transportieren zu müssen.

4.2.7.2 Feuerung/Kessel/Elektrofilter

- Ein 75 MW Kessel ist länger, breiter und höher als das bestehende Kesselhaus, Standort A ist nicht machbar.
- Für Standort B1 sind Teile des Kesselhauses und die Büroaufstockung abzubauen und ein neues Kesselhaus ist zu erstellen.
- Der Elektrofilter muss an den Standorten B getrennt vom Kessel hinter dem Rauchgasreinigungsgebäude aufgestellt werden.
- Der Standort C ermöglicht die optimale Aufstellung in einer Linie, allerdings müssen die bestehende LKW-Werkstatt und die Tankstelle abgebrochen und an anderer Stelle aufgebaut werden.

4.2.7.3 Rauchgasreinigung

Gleiche Bemerkungen wie bei Variante 1.

4.2.7.4 Luftkondensator

Gleiche Bemerkungen wie bei Variante 1.

4.3 Varianten der Energienutzung

4.3.1 Szenarien mit Fernwärme-Verbindungsleitung Josefstrasse

Für die Energienutzung werden zwei Lösungen untersucht:

- Gegendruckturbine, wie bestehend
- Entnahme-Kondensationsturbine

Die Kreislaufberechnung liefert für die beiden Varianten folgende Ergebnisse:

Turbinentyp	Gegendruckturbine		Entnahme-Kondensationsturbine	
	IST 2011	FW-Verbund Heisswasser	IST 2011	FW-Verbund Heisswasser
Mittlere Frischdampfmenge auf neue Turbine (8000 h/a)	66 t/h		66 t/h	
Frischdampf	40bar / 400°C		40bar / 400°C	
Abdampf	1,2bar/105°C		0,1bar/45°C	
Zusätzliche Wärmelieferung pro Jahr	0 GWh/a	184 GWh/a	0 GWh/a	184 GWh/a
Mittlere Wärmeauskopplung L3 (8000 h/a)	0 MW	23 MW	0 MW	23 MW
Mittlere Klemmenleistung Turbine L3 (8000 h/a)	10.3	10.3	14,5	11.9
Stromproduktion pro Jahr	82 GWh/a	82 GWh/a	116 GWh/a	95 GWh/a
Abzüglich Stromeigenbedarf pro Jahr	12 GWh/a	12 GWh/a	12 GWh/a	12 GWh/a
Stromabsatz pro Jahr	70 GWh/a	70 GWh/a	104 GWh/a	83 GWh/a
Wärmeerlös pro Jahr (12.50 CHF/MWh)	0	2'300 TCHF	0	2'300 TCHF
Stromerlös pro Jahr (80 CHF/MWh)	5'600 TCHF	5'600 TCHF	8'300 TCHF	6'600 TCHF
Total Erlöse pro Jahr aus Linie 3	5'600 TCHF	7'900 TCHF	8'300 TCHF	8'900 TCHF

Tabelle 4.4 Wirtschaftlichkeitsvergleich der Turbinenvarianten

4.3.2 Folgerungen

Der Einbau einer Entnahme-Kondensationsturbine bringt Zusatzerlös im Vergleich zur Gegendruckturbine:

- 2,7 Mio. CHF pro Jahr im IST-Zustand der Energielieferung, ohne FW-Verbindungsleitung;
- 1,0 Mio. CHF pro Jahr mit Fernwärme-Verbund Josefstrasse.

Mit dem Zusatzerlös sind die Mehrkosten von Kondensationsturbine und Luftkondensator zu finanzieren.

- Im Ist-Zustand mit Verstromung lohnt sich die Kondensationsturbine auf jeden Fall;
- Im Falle des Fernwärme-Verbundes Josefstrasse ist die Wirtschaftlichkeit der Kondensationsturbine bei Mehrinvestitionen <10 Mio. CHF erfüllt.

Die Abbildung zeigt die technische Umsetzung des Konzepts, abhängig von der gewählten Variante.

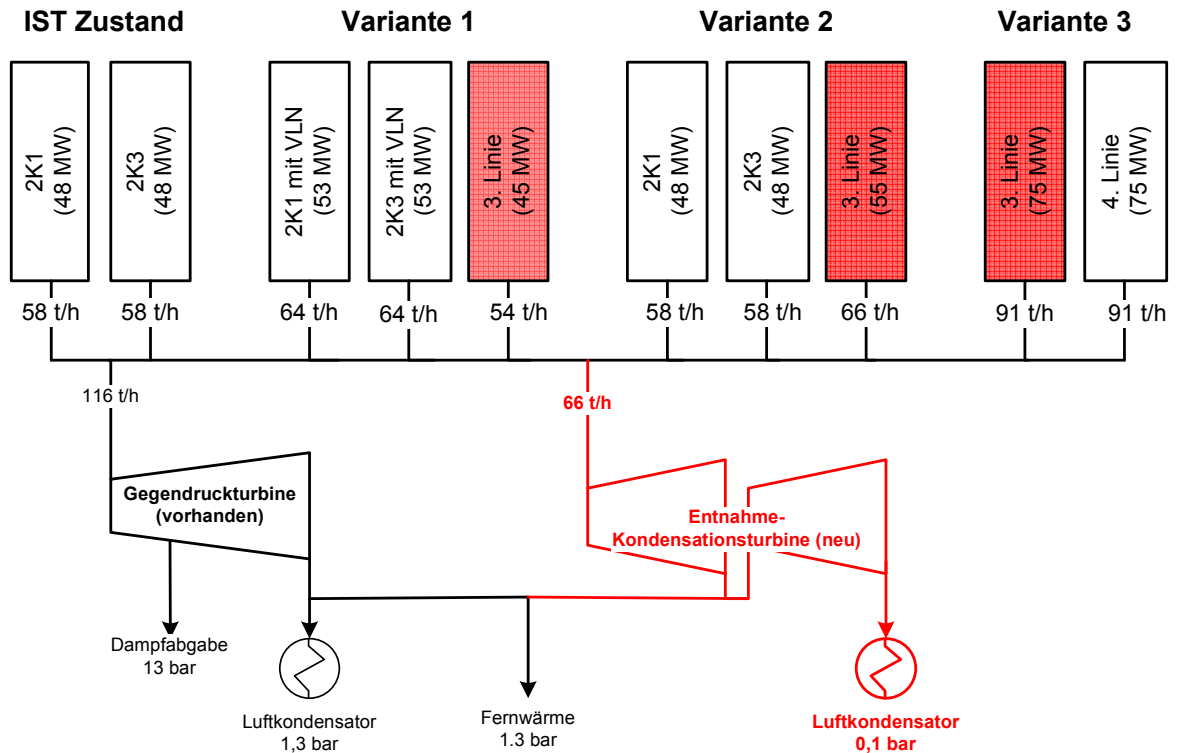


Abbildung 4.6 Konzept der Energienutzung

In der Studie ist die Kondensationsturbine berücksichtigt. Die Gegendruckturbine bleibt immer machbar, sie kostet weniger und der Kondensator benötigt weniger Platz.

5. Kostenermittlung

5.1 Untersuchte Varianten

Um die Anzahl der Varianten einzuschränken, werden die Standorte B1/B2 und C1/C2 zusammengefasst. Sie unterscheiden sich nur unwesentlich, zudem ist für die rollende Erneuerung von 2K1 und 2K3 immer ein weiterer Reserveplatz erforderlich.

- Standort A „SÜD“ (im vorhandenen Kesselhaus)
- Standort B „MITTE“ (an Stelle der Büroaustockung)
- Standort C „NORD“ (an Stelle der LKW Werkstatt und Tankstelle)

Es ergeben sich folgende Technologie/Standort-Kombinationen:

Variante	1A	1B	2A	2B	2C	3B	3C
Strategie	3 Verbrennungslinien		3 Verbrennungslinien			2 Verbrennungslinien	
Technologie	Neue Rostfeuerung 45 MW + Leistungssteigerung 2K1/2K3		Neue Rostfeuerung 55 MW			Neue Rostfeuerung 75 MW	

Tabelle 5.1 Untersuchte Varianten

5.2 Kostenschätzung für technische Anlagen

Es wurden die Erfahrungswerte für eine Verbrennungslinie in den letzten 10 Jahren zusammengestellt, mit folgenden Korrekturen:

- Hochrechnung auf den Kostenstand 2012 mit einer mittleren Jahreststeuerung von 3%.
- Bei Anlagen mit 2 Linien wurden die Kosten um 15% Engineering-Aufwand erhöht und halbiert.

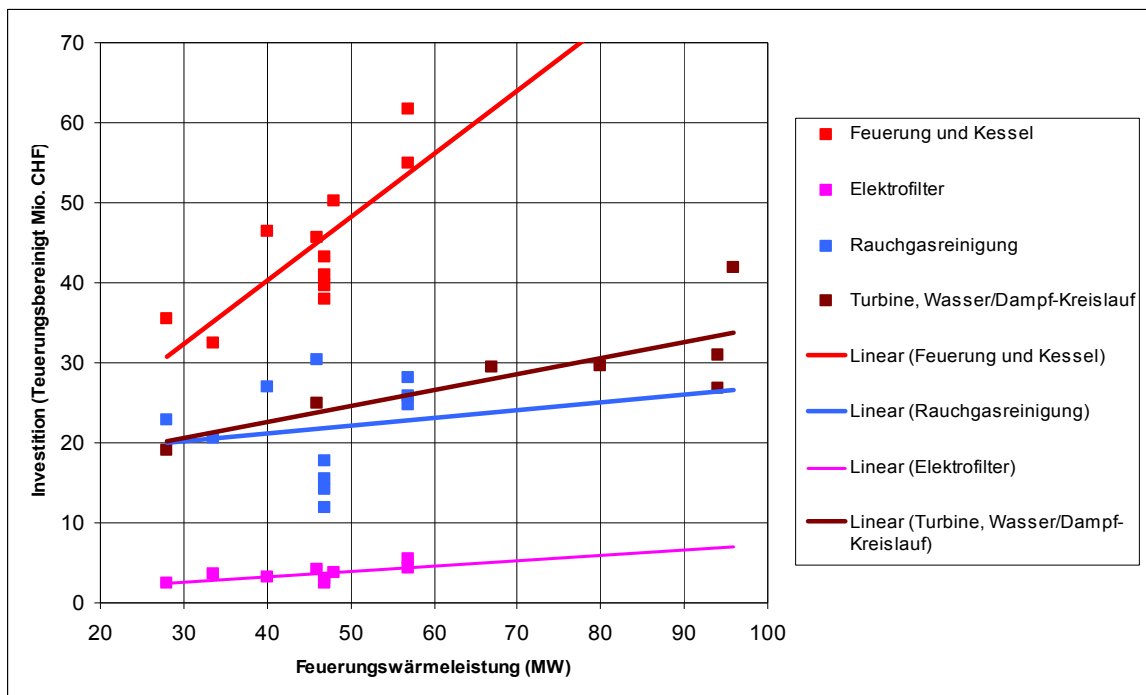


Abbildung 5.1 Kostenkurven der Verfahrenstechnik

Die Kostenkurven dienen nur der Orientierung, da bezüglich Lieferumfang und Technik Unterschiede zwischen den Anlagen bestehen. Erhebliche Abweichungen ergeben sich auch aus der Marktsituation zum Zeitpunkt der Ausschreibung.

- Beim Los Feuerung und Kessel ist zu berücksichtigen, dass die beiden Anlagen mit der grössten Leistung in Hochpreisphasen bestellt wurden. Die Kurve wird zu steil.
- Die Kosten der Rauchgasreinigung sind stark durch die Unterschiede zwischen nassen und trockenen Verfahren beeinflusst. Die Kurve wird zu flach.
- Elektrofilter und thermische Anlage zeigen einen normalen Kosten/Leistungs-Verlauf.
- Die Kosten für die Energiezentrale beinhalten den vollständigen Wasser/Dampf-Kreislauf. Für die 3. Verbrennungslinie sind aber nur die Turbogruppe, der Luftkondensator und die Verbindungsleitungen zu berücksichtigen.

5.3 Kostenschätzung für Bauwerke

5.3.1 Hochbauten

Die Baukosten der Varianten werden mit Erfahrungswerten von vergleichbaren Anlagen pro umbautes Volumen geschätzt.

- Prozessgebäude, gedämmt 400 CHF/m³
- Podest für Elektrofilter 4'000 CHF/m²
- Zuschlag für Haustechnik 15% der Baukosten
- Zuschlag für Umgebung 5% der Baukosten
- Zuschlag Baunebenkosten 10% der Baukosten

Es müssen folgende Bauvolumen neu erstellt werden:

Variante		1A	1B	2A	2B	2C	3B	3C
Neubau Kesselhaus	m ³ Volumen	--	18'000	--	22'000	22'000	32'000	32'000
Neubau Rauchgasreinigung	m ³ Volumen	16'000	16'000	18'000	18'000	18'000	25'000	25'000
Podest Elektrofilter	m ² Podest	250	250	300	300	300	400	400

Tabelle 5.2 Bauvolumen der Varianten

5.3.2 Bunkervergrösserung

Die Kapazität des Bunkers muss für eine 3 Verbrennungslinie vergrössert werden. Es gibt 3 Optionen, siehe Studie Bunkerkonzept (8):

- Separater Vorbunker, angeordnet vor dem bestehenden Bunker;
- Verbreiterung des bestehenden Bunkers, entweder auf der ganzen Länge oder teilweise;
- Verlängerung des bestehenden Bunkers Richtung Norden oder separater Bunker Nord (nur für Variante C Standort NORD).

Die Kostenschätzungen (8) sind zwischen 19,0 (Vorbunker) und 63,0 Mio. CHF (Bunkerverbreiterung lang).

In der Kostenschätzung wurde zur Vergleichbarkeit bei allen Varianten 26 Mio. CHF für eine mittelteure Lösung eingesetzt

5.4 Investitionen

5.4.1 Neue Verbrennungslinie 3

Variante		1A	1B	2A	2B	2C	3B	3C
Feuerungsleistung	MW	45	45	55	55	55	75	75
Technische Anlagen	Mio. CHF	102.8	102.8	109.1	109.1	109.1	132.6	132.6
Feuerung / Kessel Linie 3	Mio. CHF	50.0	50.0	55.0	55.0	55.0	70.0	70.0
Elektrofilter	Mio. CHF	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0	5.0	5.0
Rauchgasreinigung Linie 3	Mio. CHF	20.0	20.0	25.0	25.0	25.0	30.0	30.0
EMSRL (12% von Anlagen)	Mio. CHF	8.8	8.8	10.1	10.1	10.1	12.6	12.6
Umrüstung 2K1/2K3 auf VLN	Mio. CHF	6.0	6.0					
Turbine, Luftkondensator	Mio. CHF	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Bauwerke	Mio. CHF	38.0	42.8	39.1	45.8	50.8	54.1	59.1
Anpassungen Kesselhaus	Mio. CHF	3.0		3.0				
Neubau Kesselhaus	Mio. CHF		7.2		8.8	8.8	12.8	12.8
Neubau Rauchgasreinigung	Mio. CHF	6.4	6.4	7.2	7.2	7.2	10.0	10.0
Podest Elektrofilter	Mio. CHF	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6
Gebäudetechnik (15% von Bauwerken)	Mio. CHF	1.6	2.2	1.7	2.6	2.6	3.7	3.7
Bunkervergrösserung	Mio. CHF	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
Neubau LKW-Werkstatt, Tankstelle	Mio. CHF					5.0		5.0
Diverses (ca. 10%)	Mio. CHF	15.0	15.6	16.9	17.4	20.5	17.7	20.7
TOTAL Verbrennungslinie 3 ohne MWST	Mio. CHF	155.7	161.1	165.1	172.3	180.4	204.4	212.4

Tabelle 5.3 Gesamtkosten Linie 3

5.4.2 Ersatzinvestition 2K1 und 2K3

Auf Basis der Kosten für die Linie 3 lassen sich die Ersatzinvestitionen abschätzen:

- Variante A: 2 neue Verbrennungslinien 53 MW 240 Mio. CHF
- Variante A: 2 neue Verbrennungslinien 48 MW 220 Mio. CHF
- Variante C: 1 neue Verbrennungslinie 75 MW 150 Mio. CHF

5.5 Betriebskosten

5.5.1 Erlöse und Kosten des bestehenden KHKW

Der Einfluss der 3. Verbrennungslinie auf die Verbrennungskosten kann nur unter Berücksichtigung des bestehenden KHKW Hagenholz beurteilt werden.

Es wurden dazu die Daten des Betriebsjahres 2011 für die Verbrennung von 263'277 t Abfälle (inkl. Klärschlamm) vom Controlling ERZ übernommen.

Rechnung 2011 Grundlage [TCHF]	
Primärerlös IST	19'030 Spezifische Erlöse IST = 72.-/t
Erlös aus Heisswasserlieferung IST	4'000 318'885 MWh x 12.50 CHF/MWh
Erlös aus Dampflieferung IST	1'820 80'989 MWh x 22.50 CHF/MWh
Erlös aus Stromlieferung IST	7'480 92'843 MWh x 80.50 CHF/MWh
Übrige Erlöse IST	5'730
Primärkosten IST	33'870 Spezifische Primärkosten IST = 128.-/t
Personalkosten IST 2011	13'170
Chemikalien IST	540
Dienstleistungen IST	1'020
Energie, Wasser, Abwasser IST	660
Entsorgung und Transport IST	6'860
Unterhalt Liegenschaften IST	3'560
Unterhalt und Erneuerung Anlagen IST	8'060
Finanzkosten IST	30'000 Spezifische Finanzkosten IST = 114.-/t
Zinsen IST	16'000 ERZ interner Zinssatz = 7%/a
Abschreibungen IST	14'000 Anlagen sind 2025 abgeschrieben.
Total Betriebskosten IST	44'840 170.-/t (für 264'000 t/a inkl. Klärschlamm)

Tabelle 5.4 Erlöse und Kosten des bestehenden KHKW Hagenholz

5.5.2 Zusatzerlöse und Zusatzkosten 3. Verbrennungslinie

Änderung Bemerkungen	
Zusatzerlöse	
Zusatzerlös aus Heisswasserlieferung	0.- FW-Verbund Josefstrasse nicht berücksichtigt
Zusatzerlös aus Dampflieferung	0.- Keine Erhöhung vorgesehen
Zusatzerlös aus Stromlieferung	8'300 TCHF Nur Verstromung (104'000 MWh x 80 CHF)
Zusatzkosten	
Zusatz-Personalkosten	0.- Kein zusätzliches Personal für 3. Linie
Zusatzkosten für Chemikalien, Dienstleistungen, Energie, Wasser, Abwasser, Entsorgung, Transport	37.80 CHF/t Gleich pro Tonne Abfall wie IST

Zusatzkosten Unterhalt Liegenschaften	1% v. Invest Erfahrungswert
Zusatzkosten Unterhalt und Erneuerung Anlagen	2.5 % v. Invest Erfahrungswert
Finanzierung	
Annuität Technik 3. Linie	9,6 %/a ERZ: Interner Zinssatz 5%, Abschreibung 15a
Annuität Gebäude 3. Linie	6,5 %/a ERZ: Interner Zinssatz 5%, Abschreibung 30a

Tabelle 5.5 Erlöse und Kosten der dritten Verbrennungslinie

5.5.3 Maximale Betriebskosten

In der Tabelle sind die maximalen Betriebskosten bis 2025, unter Berücksichtigung der 3. Linie inklusive Abschreibung von 2K1 und 2K3, berechnet. Die Szenarien lassen sich daraus berechnen.

Variante		IST	1A	1B	2A	2B	2C	3B	3C
Total Primärerlöse	TCHF/a	19'030	27'330	27'330	27'330	27'330	27'330	27'330	27'330
Erlös aus Lieferung Heisswasser IST	TCHF/a	4'000	4'000	4'000	4'000	4'000	4'000	4'000	4'000
Erlös aus Dampflieferung IST	TCHF/a	1'820	1'820	1'820	1'820	1'820	1'820	1'820	1'820
Erlös aus Stromlieferung IST	TCHF/a	7'480	7'480	7'480	7'480	7'480	7'480	7'480	7'480
Zusatzerlös aus Linie 3	TCHF/a		8'300	8'300	8'300	8'300	8'300	8'300	8'300
Erlös Diverser	TCHF/a	5'730	5'730	5'730	5'730	5'730	5'730	5'730	5'730
Total Primärkosten	TCHF/a	33'870	39'979	40'039	40'229	40'309	40'359	41'019	41'069
Personalkosten IST	TCHF/a	13'170	13'170	13'170	13'170	13'170	13'170	13'170	13'170
Chemikalien IST	TCHF/a	540	472	472	472	472	472	472	472
Zusatzkosten für Linie 3	TCHF/a		240	240	240	240	240	240	240
Dienstleistungen IST	TCHF/a	1020	891	891	891	891	891	891	891
Zusatzkosten für Linie 3	TCHF/a		450	450	450	450	450	450	450
Energie/Wasser/Abwasser IST	TCHF/a	660	577	577	577	577	577	577	577
Zusatzkosten für Linie 3	TCHF/a		290	290	290	290	290	290	290
Entsorgung und Transport	TCHF/a	6860	5'990	5'990	5'990	5'990	5'990	5'990	5'990
Zusatzkosten für Linie 3	TCHF/a		3'000	3'000	3'000	3'000	3'000	3'000	3'000
Unterhalt, Erneuerung Anlagen IST	TCHF/a	8060	8'060	8'060	8'060	8'060	8'060	8'060	8'060
Zusatzkosten für Linie 3	TCHF/a		2'870	2'870	3'110	3'110	3'110	3'740	3'740
Unterhalt Liegenschaften IST	TCHF/a	3560	3'560	3'560	3'560	3'560	3'560	3'560	3'560
Zusatzkosten für Linie 3	TCHF/a		410	470	420	500	550	580	630
Total Finanzierung	TCHF/a	30'000	40'010	40'310	40'910	41'410	41'810	44'410	44'710
Zinsen Anlagen und Gebäude IST	TCHF/a	16'000	13'980	13'980	13'980	13'980	13'980	13'980	13'980
Abschreibung Anlagen und Gebäude IST		14'000	12'230	12'230	12'230	12'230	12'230	12'230	12'230
Annuität Anlagen Linie 3 (9,6 %/a)	TCHF/a		11'100	11'100	12'000	12'000	12'000	14'400	14'400
Annuität Bauten Linie 3 (6,5 %/a)	TCHF/a		2'700	3'000	2'700	3'200	3'600	3'800	4'100
TOTAL BETRIEBSKOSTEN	TCHF	44'840	52'660	53'020	53'810	54'390	54'840	58'100	58'450

Tabelle 5.6 Betriebskostenrechnung

5.5.4 Einfluss der Bunkervergrößerung auf die Betriebskosten

In den Kosten aller Varianten ist zum Vergleich eine Bunkervergrößerung für 26 Mio. CHF gemäss Machbarkeitsstudie „Sperrgut-Behandlung & Bunkerkonzept“ (8) berücksichtigt.

Die teureren Bunkervarianten erhöhen die Verbrennungskosten wie folgt:

- Variante Bunkerverbreiterung kurz (44 Mio. CHF) + 4.- CHF/t
- Variante Bunkerverbreiterung lang (63 Mio. CHF) + 8.- CHF/t.

5.6 Zeitliche Szenarien für 3. Linie und Ersatz 2K1/2K3

5.6.1 Szenario 1: Neubau Linie 3 = 2020, Ersatz 2K1/2K3 =2030

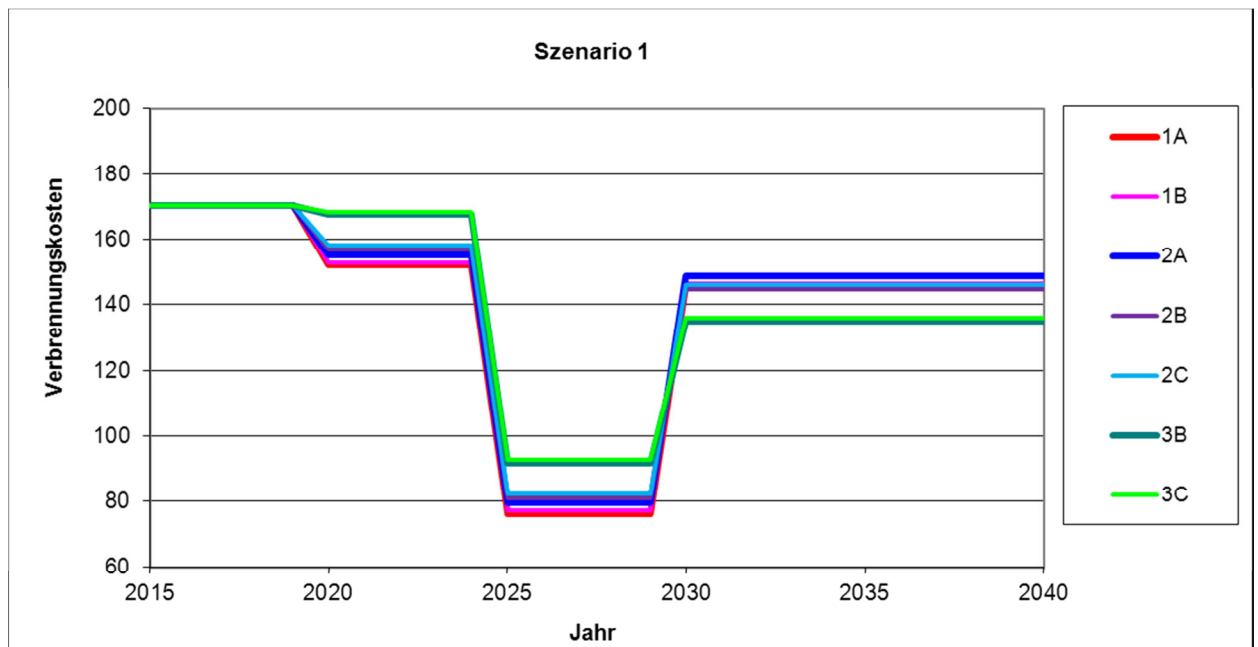


Abbildung 5.2 Szenario 1: Neubau Linie 3 = 2020, Ersatz 2K1/2K3 =2030

5.6.2 Szenario 2: Neubau Linie 3 = 2020, Ersatz 2K1/2K3 =2035

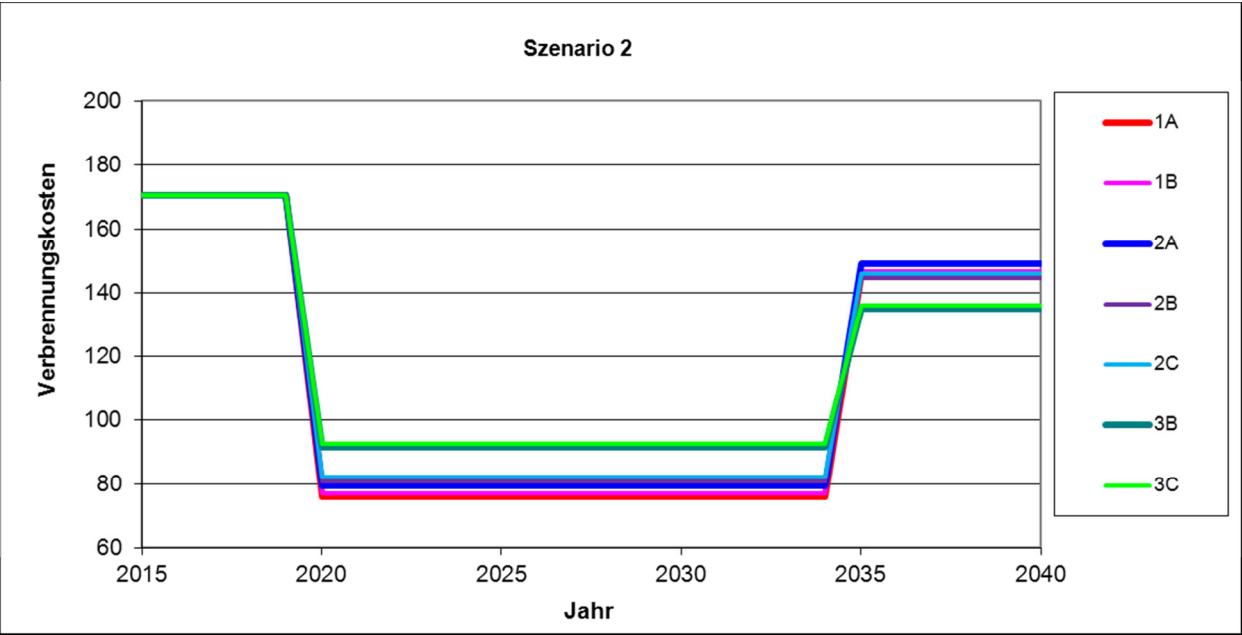


Abbildung 5.3 Szenario 2: Neubau Linie 3 = 2020, Ersatz 2K1/2K3 =2035

5.6.3 Szenario 3: Neubau Linie 3 =2025, Ersatz 2K1/2K3 =2030

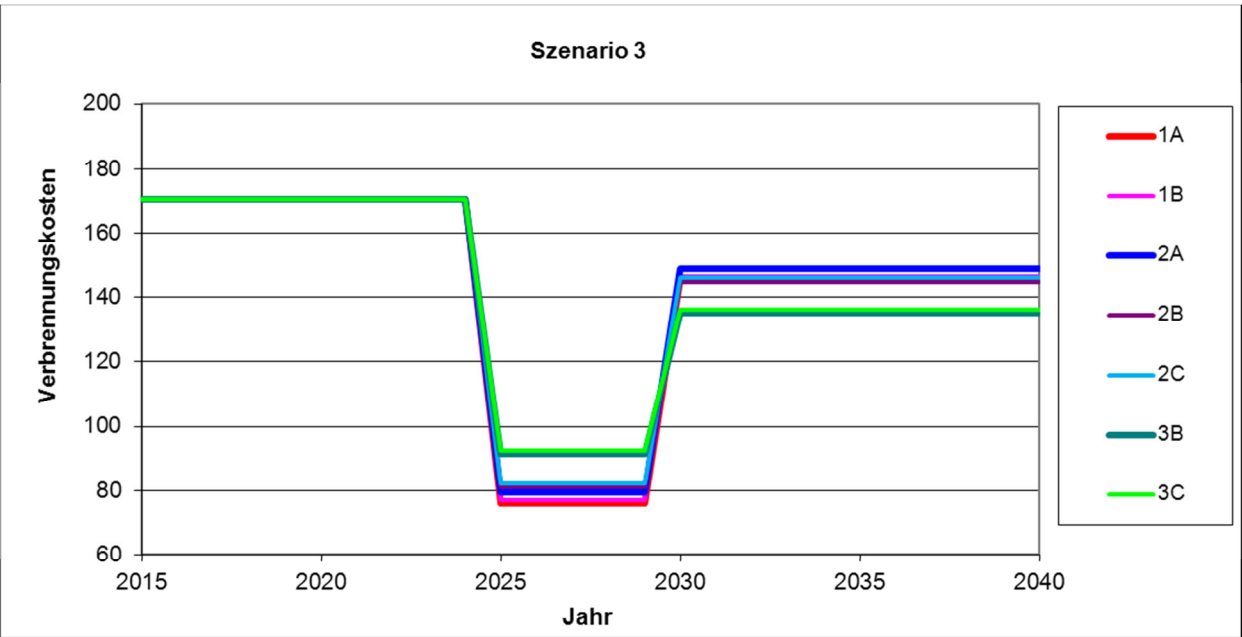


Abbildung 5.4 Szenario 3: Neubau Linie 3 =2025, Ersatz 2K1/2K3 =2030

5.6.4 Szenario 4: Neubau Linie 3 =2025, Ersatz 2K1/2K3 =2035

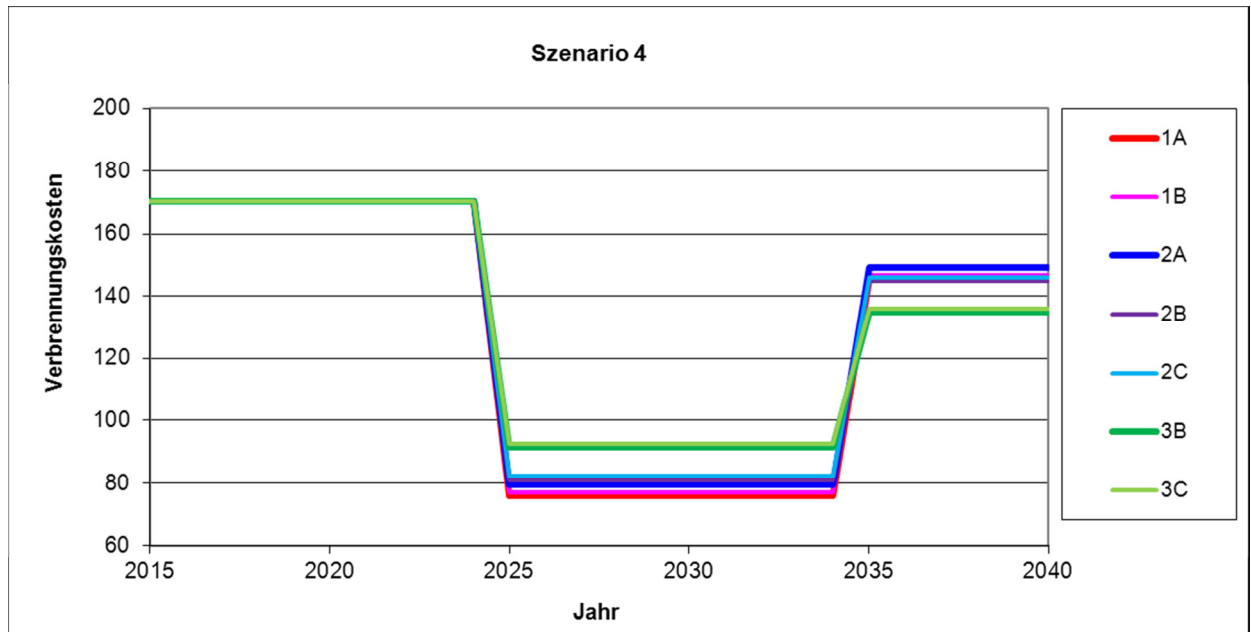


Abbildung 5.5 Szenario 4: Neubau Linie 3 =2025, Ersatz 2K1/2K3 =2035

5.7 Folgerungen aus den zeitlichen Szenarien

- Die Verbrennungskosten der Varianten 1A/1B/2A/ 2B unterscheiden sich für alle Szenarien nur wenig;
- Die Variante 3 mit nur 2 Verbrennungslinien (2 Linien-Strategie) ergibt langfristig die niedrigsten Kosten;
- die Überkapazität der Variante 3 in der Zeit zwischen dem Neubau der Linie 3 und dem Ersatz von 2K1/2K3 erhöht die Kosten. Je näher diese beiden Zeitpunkte sind, desto interessanter wird Variante 3.

6. Variantenvergleich

6.1 Rekapitulation der Varianten

- | | |
|----------------|--|
| ■ Variante 1A: | 45MW-Kessel im vorhandenen Kesselhaus |
| ■ Variante 1B: | 45MW-Kessel anstelle bzw. neben Büroaufstockung |
| ■ Variante 2A: | 55MW-Kessel im vorhandenen Kesselhaus |
| ■ Variante 2B: | 55MW-Kessel anstelle bzw. neben Büroaufstockung |
| ■ Variante 2C: | 55MW-Kessel und RGR anstelle LKW- Werkstatt und Tankstelle |
| ■ Variante 3B: | 75MW-Kessel anstelle bzw. neben Büroaufstockung |
| ■ Variante 3C: | 75MW-Kessel und RGR anstelle LKW- Werkstatt und Tankstelle |

6.2 Bewertungsschema

Die Verbrennungskosten werden quantitativ verglichen.

- Die niedrigsten Kosten erhalten 3 Punkte, die höchsten Kosten erhalten 1 Punkt;
- Die Kosten dazwischen werden linear interpoliert.

Als Basis dienen die mittleren IST-Verbrennungskosten bis zum Jahr 2040 ohne 3. Linie.

Sie betragen im Mittel 155 CHF/t (

- bis 2025: 170.-
- ab 2025: 78.-
- nach Ersatzinvestition 2K1+2K3: 178.-

Die Bewertung der qualitativen Kriterien erfolgt durch die Punkteverteilung:

- | | |
|------------|--|
| ■ 3 Punkte | Projektziele vollständig erfüllt; |
| ■ 2 Punkte | Projektziele weitgehend erfüllt, unwesentliche Mängel; |
| ■ 1 Punkt | Projektziele nicht erfüllt. |

6.3 Mittlere Verbrennungskosten

6.3.1 Kosten aller Varianten und Szenarien

In der Abbildung sind die gemittelten Verbrennungskosten über 25 Jahre (2015 – 2040) für die verschiedenen Varianten und Szenarien verglichen.

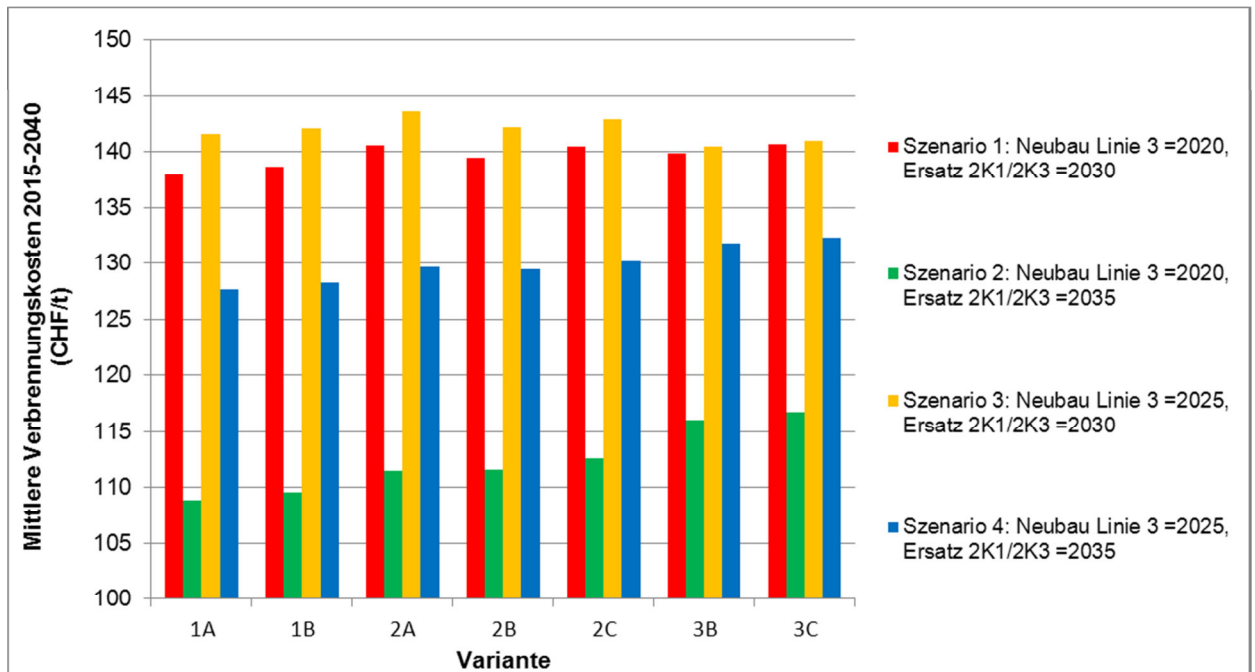


Abbildung 6.1 Mittlere Verbrennungskosten 2015-2040 der Varianten und Szenarien

Es lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

Massnahme	Auswirkung	Bemerkungen
Neue 3. Verbrennungslinie	Je früher der Bau der 3. Verbrennungslinie, desto niedriger die mittleren Verbrennungskosten	<ul style="list-style-type: none"> Die Abfälle müssen vorhanden sein. Der Kanton Zürich sieht diese Massnahme frühestens ab 2025 vor. Die Szenarien 1 und 2 sind deshalb eher unwahrscheinlich.
Ersatz 2K1 und 2K3	Je später der Ersatz von 2K1 und 2K3, desto niedriger die Verbrennungskosten.	Die Investition soll möglichst lange genutzt werden.
Umrüstung 2K1 und 2K3 auf VLN	Die Umrüstung der bestehenden Linien auf VLN ist vorübergehend preiswerter als eine grössere 3. Linie. Nach dem Ersatz 2K1/2K3, sind die Varianten 1 und 2 gleichwertig.	<ul style="list-style-type: none"> Die vorübergehende Kapazitätserhöhung 2K1/2K3 durch VLN ist im Kostenvergleich nicht berücksichtigt. Es wären dazu zusätzlich 50.000 t/a Siedlungsabfälle erforderlich.
2-Linien Strategie	Die 2-Linien Strategie zahlt sich dann aus, wenn weniger als 5 Jahre zwischen Neubau der 3. Linie und dem Ersatz 2K1/2K3 sind.	
Standort 3. Linie	Der Standort A im vorhandenen Kesselhaus ist etwas preiswerter als ein neues angebautes Kesselhaus. Der Standort C (Nord) ist teurer als A und B wegen dem neuen Bunker und dem Ersatz von LKW-Werkstatt und Tankstelle	<ul style="list-style-type: none"> Für die Vergrösserung des Bunkervolumens wurde die Minimalvariante „Vorbunker angebaut“ berücksichtigt. Die Auswirkungen einer Bunkerverbreiterung sind in Kapitel 5.5.4 dargelegt

6.3.2 Verbrennungskosten für Szenario 4

Der wahrscheinlichste Fall ist das Szenario 4 aus folgenden Gründen:

- Der Erstellungszeitpunkt der 3. Verbrennungslinie entspricht der kantonalen Abfallplanung;
- Die möglichst lange Nutzung von 2K1/2K3 ist für ERZ wirtschaftlich am günstigsten.

Variante	ohne 3. Linie	1A	1B	2A	2B	2C	3B	3C
Mittlere Verbrennungskosten Szenario 4	155.--	128.--	129.--	130.--	130.--	131.--	132.--	133.--

Tabelle 6.1 Verbrennungskosten Szenario 4

Alle Varianten mit 3 Verbrennungslinien haben niedrigere Verbrennungskosten wegen der Kapazitätserhöhung des KHKW (die Mengenerhöhung reduziert die fixen Kosten).

6.4 Bewertungstabelle

Projektziele	Gewicht	Erfüllungsgrad der Varianten (für wahrscheinlichstes Terminalszenario 4)						
Varianten		1A	1B	2A	2B	2C	3B	3C
Niedrige Verbrennungskosten	40%							
Mittelfristig niedrige Verbrennungskosten (bis 2040 inkl. Ersatzmassnahmen 2K1/2K3)	40%	3.0	2.9	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6
Integration in vorhandenes KHKW	30%							
Geringer Flächenverbrauch auf dem Areal Hagenholz	10%	3	2	3	2	1	2	1
Nutzung der vorhandenen Infrastruktur (Bunker, Kesselhaus, Kamin, ABA, FLUWA)	10%	3	3	3	3	1	3	1
Freifläche und durchgängiges Konzept für die rollende Erneuerung von 2K1/2K3 (2030/2035)	10%	3	3	2	3	1	2	3
Bau und Betrieb	30%							
Gute Zugänglichkeit für Bau/Montage Linie 3 und Ersatz 2K1/2K3.	10%	1	2	1	2	3	2	3
Kompakter Aufbau, kurze Verbindungsleitungen für Rauchgas, Dampf, Kondensat usw.	10%	3	3	3	3	1	3	1
Wenig Abbrüche, Ersatzmassnahmen und Provisorien durch Neubau der 3. Verbrennungslinie	10%	2	2	2	2	1	2	1
TOTAL	100%	2.7	2.7	2.5	2.6	1.9	2.5	2.1
BESTVARIANTEN		1	1		1			

Tabelle 6.2 Bewertung der Varianten

Die Verbrennungskosten der Varianten für die 3. Verbrennungslinie unterscheiden sich beim zeitlichen Szenario 4 nur wenig, sie ermöglichen deshalb keine klare Differenzierung.

Eine eindeutige Empfehlung für die Kesselvarianten 1 (45 MW) oder 2 (55 MW), beziehungsweise die Standorte A oder B ist deshalb nicht möglich. Lediglich der Standort C (an Stelle LKW-Werkstatt und Tankstelle) fällt deutlich ab.

6.5 Ergebnisse

Variante	Wichtigste Vorteile	Wichtigste Nachteile
1A	<ul style="list-style-type: none"> Niedrigste Kosten aller Varianten durch Leistungssteigerung der bestehenden Kessel Nutzung des bestehenden Kesselhauses Beste Integration in vorhandene Infrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> Der vorgesehene Standort A1 der RGR hinter dem bestehenden RGR-Gebäude ist für die rollende Erneuerung von 2K1/2K3 ungeeignet Nur am Standort A2 ist die RGR für spätere Linien erweiterbar Zugänglichkeit von Norden für die rollende Erneuerung von 2K1 und 2K3 ist erschwert
1B	<ul style="list-style-type: none"> Niedrige Kosten Platzsparende und erweiterungsfähige Anordnung von Kessel und RGR auf einer Linie 	<ul style="list-style-type: none"> Abbruch der Büroaufstockung
2A	<ul style="list-style-type: none"> Nutzung des bestehenden Kesselhauses Beste Integration in vorhandene Infrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> Aufstellung der RGR in Distanz hinter dem bestehenden Kamin ist nicht optimal
2B	<ul style="list-style-type: none"> Platzsparende und erweiterungsfähige Anordnung von Kessel und RGR 	<ul style="list-style-type: none"> Abbruch der Büroaufstockung
2C	<ul style="list-style-type: none"> Neue Verbrennungslinie in idealer Aufstellung, Erstellung praktisch unabhängig vom Bestand und vom laufenden Betrieb KHK möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Kosten Benötigt viel Fläche für Neuanlage keine Nutzung der vorhandenen Infrastruktur (Bunker) Standort ist zu klein für 3 Linien-Strategie, daher ungeeignet Abbruch und Ersatz von Lkw Werkstatt und Tankstelle notwendig
3B	<ul style="list-style-type: none"> Platzsparende und erweiterungsfähige Anordnung von Kessel und RGR 	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Kosten Abbruch der Büroaufstockung
3C	<ul style="list-style-type: none"> Neue Verbrennungslinie in idealer Aufstellung, Erstellung praktisch unabhängig vom Bestand und vom laufenden Betrieb KHK möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Höchste Kosten aller Varianten Abbruch und Ersatz von Lkw Werkstatt und Tankstelle notwendig

Tabelle 6.3 Wichtigste Vor- und Nachteile der Varianten

7. Schlussfolgerungen, Empfehlung

In der vorliegenden Studie wurden die Machbarkeit einer Erweiterung des KHKW Hagenholz mit einer dritten Verbrennungslinie untersucht und Empfehlungen für die geeignete Lösung in Bezug auf Technik und Standort ausgearbeitet.

Der Bau einer zusätzlichen Linie setzt eine Erhöhung der angelieferten Abfälle voraus, es wurde die Zunahme von 240'000 t auf 345'000 t pro Jahr angenommen.

Die langfristige Planung des KHKW setzt auch den Ersatz der beiden vorhandenen Verbrennungslinien 2K1 und 2K3 voraus, wenn die Betriebsdauer erreicht ist. Diese rollende Erneuerung ohne Kapazitätseinbusse bedeutet eine zusätzliche Freifläche für den Ersatz von mindestens einer Verbrennungslinie, was in der Studie ebenfalls berücksichtigt ist.

7.1 Technische Lösung

Aus dem technischen Vergleich ergeben sich zwei bevorzugte Lösungen:

- Variante 1: Neue 3. Verbrennungslinie mit 45 MW Wärmeleistung, Leistungssteigerung der bestehenden Linien 2K1 und 2K3
- Variante 2: Neue 3. Verbrennungslinie mit 55 MW Wärmeleistung;

Beide Varianten ermöglichen die Erhöhung der Kapazität des KHKW mit den niedrigsten Kosten.

Die Leistungssteigerung von 2K1 und 2K3 um 10-15 % ist durch Ergänzung mit dem VLN (Very Low NOx)-Verfahren des Lieferanten MARTIN möglich. Das VLN ist nicht nur wegen der Leistungssteigerung interessant, sondern auch wegen des niedrigeren Stickoxidgehaltes der Abgase am Kesselaustritt.

Die Kapazitätserhöhung bedingt auch einen Ausbau der Anlagen zur Wärmenutzung. Die wirtschaftlichste Lösung ist eine zusätzliche Kondensationsturbine mit einem neuen Vakuum-Luftkondensator.

7.2 Standort

Bezüglich des Standorts sind ebenfalls zwei Varianten im Vordergrund:

- Standort A: Feuerung und Kessel im bestehenden Kesselhaus, Rauchgasreinigung in Verlängerung hinter dem vorhandenen RGR-Gebäude
- Standort B: Feuerung und Kessel neben dem Kesselhaus anstelle der Büroaufstockung, Rauchgasreinigung in Verlängerung hinter dem vorhandenen RGR-Gebäude

Beide Standorte ermöglichen die Anbindung an den bestehenden Bunker und die Erneuerung unter Betrieb der bestehenden Verbrennung. Der Standort A im Kesselhaus nutzt zudem das vorhandene Volumen des Gebäudes, er ist daher etwas preiswerter als die Variante B mit neuem Kesselhaus.

Langfristig werden beide Standorte benötigt, sie sind daher gleichwertig.

Die zweite Turbine kann in die vorhandene Energiezentrale eingebaut werden kann, dort ist bereits Platz reserviert. Der Vakuum-Luftkondensator benötigt jedoch dreimal mehr Fläche als die vorhandenen Gegendruck-Kondensatoren. Die bevorzugte Aufstellung, an Stelle der heutigen Hilfskessel welche in naher Zukunft nicht mehr benötigt werden, ist ebenfalls in der Skizze dargestellt.

7.3 Ablaufplan der Erneuerung

Der Ablauf zur Kapazitätserhöhung und rollenden Erneuerung von 2K1/2K3 erfordert drei Phasen:

- in der ersten Phase (rot) wird die dritte Verbrennungslinie erstellt. Gleichzeitig muss die Bunkerkapazität vergrößert und die Energienutzung für die zusätzliche Dampfmenge ausgebaut werden.
- In der zweiten Phase (blau) wird die erste der beiden bestehenden Verbrennungslinien durch einen Neubau auf der Freifläche neben der dritten Verbrennungslinie ersetzt. Die alte Linie im Kesselhaus wird abgebrochen.
- In der dritten Phase (gelb) wird die zweite der bestehenden Verbrennungslinien ersetzt, entweder an der freigewordenen Stelle der ersten Linie, oder auf der Freifläche neben die zweite Linie.

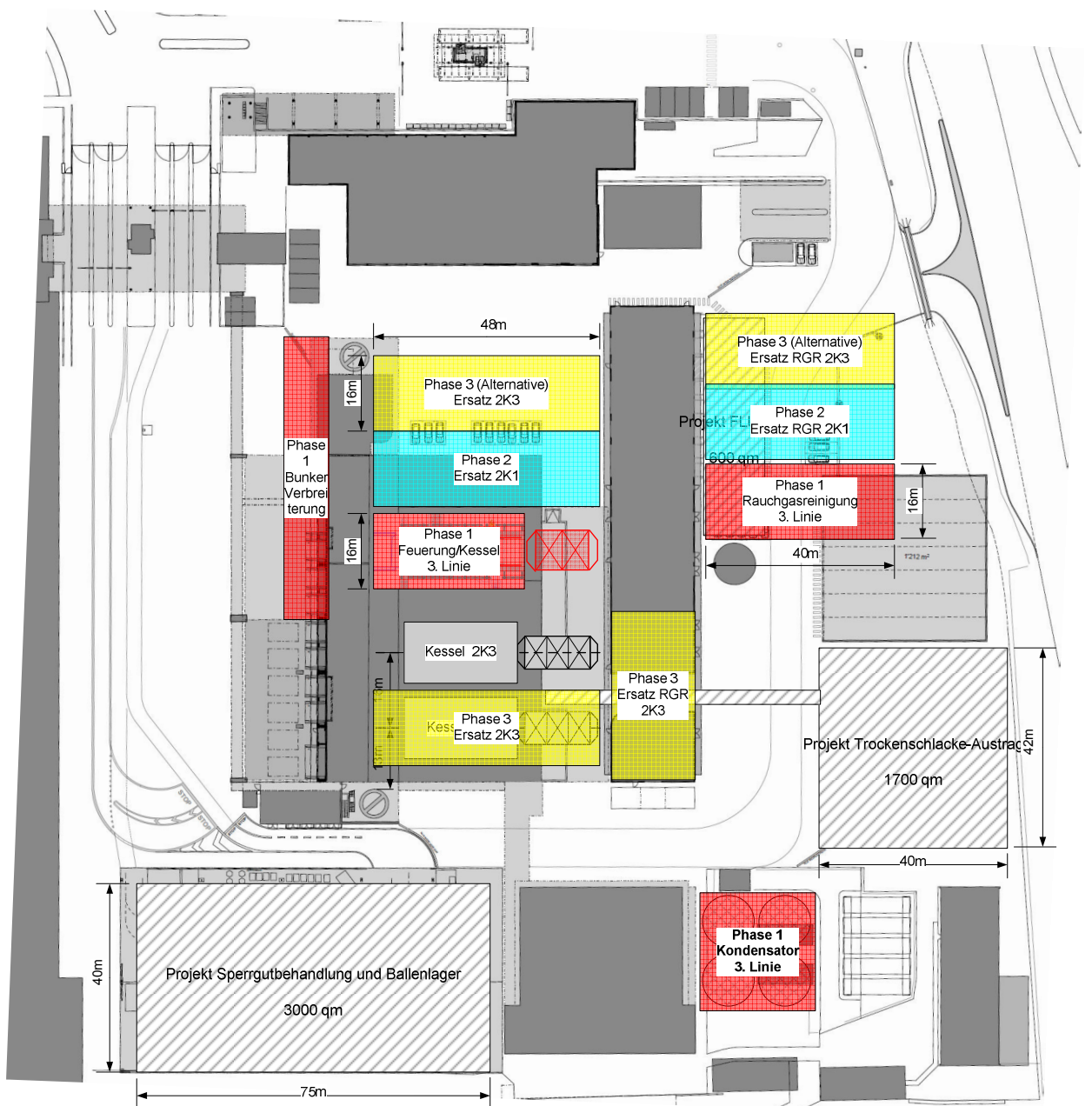


Abbildung 7.1 Phasenplan 3. Linie und Ersatz 2K1/2K3

Auf diese Weise ist eine möglichst reibungslose Abwicklung möglich, es bleibt immer eine freie Fläche für den nachfolgenden Erneuerungsschritt bestehen.

Anstelle dieses Vorschlags ist es auch möglich, die 3. Verbrennungslinie neben dem Kesselhaus neu zu bauen und den Ersatz der vorhandenen Linien innerhalb des Kesselhauses durchzuführen.

7.4 Zeitliche Szenarien

Die Überprüfung der zeitlichen Szenarien für den Neubau dritte Linie und den Ersatz von 2K1/2K3 bestätigt die Erwartungen:

- je früher die dritte Linie erstellt wird, desto niedriger die Verbrennungskosten;
- je später 2K1/2K3 ersetzt werden, desto niedriger die Verbrennungskosten.

Die Strategieänderung von 3 kleineren Linien auf 2 grosse Linien ist nur dann wirtschaftlich, wenn der Neubau der 3. Linie und der Ersatz von 2K1/2K3 sehr zeitnah, d.h. in der gleichen Erneuerungsphase sind.

Die Studie hat gezeigt, dass eine 3. Verbrennungslinie im KHKW Hagenholz integriert werden kann, ohne dass sie den Betrieb oder den späteren Ersatz der heutigen Verbrennungslinien 2K1/2K3 behindert.

Die einzige Bedingung ist die Erweiterung des vorhandenen Abfallbunkers, der für die Bewirtschaftung von 345'000 t/a zu klein ist.

CSD FENIX AG

Christoph Müller

Reto Streule

Zürich, den 15. Mai 2013 (Rev.1)

ANHANG A DOKUMENTENLISTE

1. Entsorgung + Recycling Zürich: Betriebsrapport KHKW Hagenholz Periode 2011, Januar 2012
2. Entsorgung + Recycling Zürich: Auszug Mittel- und Langfrist-Planung Hagenholz, Stand Juli 2012
3. Tensor Consulting AG, Grundlagenbericht Umwelt, Dezember 2009
4. Martin GmbH: Nachrüstung der Ofenlinien 2K1 und 2K3 mit dem Martin VLN-Verfahren, Machbarkeitsstudie, Juni 2010
5. Martin GmbH: Richtpreis für das Martin VLN-Verfahren, März 2012
6. BSH Umweltservice AG: Ergänzung FLUWA zu FLUREC - Konzeptvorschlag März 2011
7. Durena AG: Fernwärme Zürich - Variantenübersicht, September 2011
8. CSD FENIX AG: Machbarkeitsstudie Sperrgutbehandlung und Bunkerkonzept, November 2012, Revision Mai 2012



Stadt Zürich
Entsorgung + Recycling

KHKW HAGENHOLZ
SPERRGUTBEHANDLUNG UND BUNKERKONZEPT
MACHBARKEITSSTUDIE

Zürich, den 15. Mai 2013 (Rev.1)
FX9022.100

CSDINGENIEURE⁺

CSD FENIX AG
Hardturmstrasse 135
CH-8005 Zürich
t +41 44 296 70 00
e zuerich@csd.ch
www.csd.ch

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	5
1. EINLEITUNG	7
1.1 Ausgangslage	7
1.1.1 Sperrgutbehandlung	7
1.1.2 Bunkerkonzept	7
1.2 Aufgabenstellung	7
1.3 Zielsetzung	8
2. GRUNDLAGEN	9
2.1 Abfallmengen	9
2.2 Auslegung der Sperrgutbehandlung	9
2.3 Bisherige Studien	10
2.3.1 Bisherige Studien zur Sperrgut Behandlung	10
2.3.2 Bisherige Studien zur Bunkervergrößerung	10
3. SPERRGUTKONZEPTE	11
3.1 Lösungsansätze	11
3.2 Sperrgutannahme	12
3.3 Zerkleinerung	13
3.3.1 Auswahlkriterien	13
3.3.2 Maschinen	13
3.3.3 Auslegung der Zerkleinerungsanlage	13
3.3.4 Redundanz	14
3.4 Feinmüllbunker	14
3.5 Vermischung	14
3.6 Verbrennung	14
3.7 Ballenpresse	14
3.8 Aufstellung	15
4. VARIANTEN DER SPERRGUTBEHANDLUNG	17
4.1 Technische Konzepte	17
4.2 Variante 1-SÜD	18
4.2.1 Aufstellung	18
4.2.2 Verfahrensbeschreibung	18
4.3 Variante 2-SÜD	20
4.3.1 Aufstellung	20
4.3.2 Verfahrensbeschreibung	20
4.3.3 Varianten für Aufgabe in den Kehrichtbunker	21

4.4	Variante 3-SÜD	23
4.4.1	Aufstellung	23
4.4.2	Verfahrensbeschreibung	23
4.5	Variante 4-SÜD	25
4.5.1	Aufstellung	25
4.5.2	Verfahrensbeschreibung	25
4.5.3	Varianten für Aufgabe in den Kehrlichtbunker	26
4.6	Variante 1-NORD	26
4.6.1	Aufstellung	26
4.6.2	Verfahrensbeschreibung	27
4.7	Variante 2-NORD	28
4.7.1	Aufstellung	28
4.7.2	Verfahrensbeschreibung	28
4.8	Variante 3-NORD	30
4.8.1	Aufstellung	30
4.8.2	Verfahrensbeschreibung	30
4.9	Variante 4-NORD	31
4.9.1	Aufstellung	31
4.9.2	Verfahrensbeschreibung	32
5.	VARIANTENVERGLEICH DER SPERRGUT-BEHANDLUNG	33
5.1	Rekapitulation der geprüften Varianten	33
5.2	Kostenschätzung	33
5.2.1	Kostenschätzung der Technik	33
5.2.2	Kostenschätzung der Gebäude	33
5.2.3	Investitionen	34
5.3	Bewertungsschema	35
5.3.1	Muss-Kriterien	35
5.3.2	Soll-Kriterien	35
5.4	Bewertungstabelle	35
5.5	Vor- und Nachteile der Varianten	36
5.6	Ergebnis	36
6.	BUNKERKONZEPTE	37
6.1	Vorhandener Bunker	37
6.1.1	Beschreibung	37
6.1.2	Kosten / Realisierung	38
6.2	Vorbunker angebaut	38
6.2.1	Beschreibung	38
6.2.2	Kosten und Realisierung	39
6.3	Variante 2: Vorbunker abgesetzt (mit Zwischenraum)	39
6.3.1	Beschreibung	40
6.3.2	Kosten und Realisierung	40

6.4	Variante 3: Bunkerverbreiterung kurz	41
6.4.1	Beschreibung	41
6.4.2	Kosten und Realisierung	42
6.5	Variante 4: Bunkerverbreiterung lang	42
6.5.1	Beschreibung	42
6.5.2	Kosten und Realisierung	43
7.	VARIANTENVERGLEICH DER BUNKERKONZEPTE	44
7.1	Kostenschätzung	44
7.2	Bunkerbewirtschaftungs-Konzepte	44
7.2.1	Bewirtschaftung des bestehenden Bunkers	44
7.2.2	Bewirtschaftung des vergrößerten Bunkers	45
7.3	Kombinationen von Sperrgutbehandlung und Bunkerkonzept	45
7.4	Bewertungstabelle	46
7.5	Wesentliche Vor- und Nachteile der Varianten	46
7.6	Ergebnis	47
8.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	48
8.1	Sperrgutannahme und Vorbehandlung	48
8.2	Bunkerkonzept	48
8.3	Empfehlung und weiteres Vorgehen	49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1	Abfallmengen	9
Tabelle 2.2	Auslegung der Sperrgut Behandlung	9
Tabelle 3.1	Funktionen und Lösungen	11
Tabelle 3.2	Systeme der Sperrgut Annahme	12
Tabelle 3.3	Handelsübliche Zerkleinerungsmaschinen	13
Tabelle 3.4	Auslegung der Zerkleinerungsanlage	14
Tabelle 3.5	Charakterisierung der Ballen	15
Tabelle 5.1	Rekapitulation der Varianten	33
Tabelle 5.2	Investitionen der Varianten Sperrgut-Behandlung	34
Tabelle 5.3	Spezifische Kosten der Sperrgut Behandlung	34
Tabelle 5.4	Bewertungstabelle Sperrgut-Behandlung	35
Tabelle 5.5	Vor- und Nachteile der Varianten	36
Tabelle 7.1	Baukostenschätzung Bunkerkonzepte	44
Tabelle 7.2	Bewertung der Bunkerkonzepte	46
Tabelle 7.3	Wichtigste Vor- und Nachteile der Varianten	47

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1	Standortvarianten	16
Abbildung 4.1	Technische Konzepte und Optionen der Sperrgutbehandlung	17
Abbildung 4.2	Aufstellung Variante 1-SÜD	18
Abbildung 4.3	Aufstellung Variante 2-SÜD	20
Abbildung 4.4	Förderband unterhalb der Leitwarte	22
Abbildung 4.5	Förderband oberhalb der Leitwarte	22
Abbildung 4.6	Aufstellung Variante 3-SÜD	23
Abbildung 4.7	Aufstellung Variante 4-SÜD	25
Abbildung 4.8	Aufstellung Variante 1-NORD	26
Abbildung 4.9	Aufstellung Variante 2-NORD	28
Abbildung 4.10	Variante 3-NORD	30
Abbildung 4.11	Variante 4-NORD	31
Abbildung 6.1	Heutiger Bunker	37
Abbildung 6.2	Vorbunker angebaut	38
Abbildung 6.3	Vorbunker abgesetzt	39
Abbildung 6.4	Bunkerverbreiterung kurz	41
Abbildung 6.5	Bunkerverbreiterung lang	42

Anhangverzeichnis

Anhang A	Bisherige Studien zur Sperrrgutbehandlung	50
Anhang B	Bisherige Studien zur Bunkervergrößerung	52

ZUSAMMENFASSUNG

Das KHKW Hagenholz verbrannte 2011 rund 240'000 t Siedlungsabfälle. Etwa 47'500 t davon sind Sperrgut, welches wie die übrigen Abfälle in den Kehrichtbunker gekippt wird. Das vorhandene Bunkervolumen genügt nicht, um die gesamte Sperrgutmenge zu zerkleinern und gleichzeitig das knappe Bunkervolumen effizient zu bewirtschaften. Die Zerkleinerungsanlage im Bunker ist zudem ein Risiko für einen Bunkerbrand.

- Aus diesen Gründen soll die Sperrgut-Annahme und -Behandlung ausgelagert und an anderer Stelle ausserhalb des Bunkers realisiert werden.
- Zusätzlich sind die Auswirkungen einer Kapazitätserhöhung des KHKW auf 345'000 t/a mit einer 3. Verbrennungslinie zu prüfen. Die zusätzliche Menge bedingt mehr Bunkervolumen, sie betrifft aber auch das Sperrgut, dessen Menge auf ca. 115'000 t/a steigen würde.

Sperrgutbehandlung

In der Studie wurden 7 Varianten für eine separate Sperrgut Annahme und -Zerkleinerung ausgearbeitet. In allen Varianten sind auch eine Ballenpresse und ein Ballenlager für zerkleinertes Sperrgut enthalten.

Variante	Sperrgutannahme	Zerkleinerung	Feinmüllbunker	Transport zu Kehrichtbunker
1-SÜD	Neuer Tiefbunker bei Recyclinghof	Reisser od. Rotorschere	Neuer Tiefbunker bei Recyclinghof	Kran oder Plattenband oberhalb Durchfahrt
2-SÜD	Neuer Tiefbunker bei Recyclinghof	Reisser od. Rotorschere	--	Förderband zu Einwurföffnungen bei Bunkertoren
3-SÜD	Plattenband bei Recyclinghof	Reisser od. Rotorschere	Neuer Tiefbunker bei Recyclinghof	Kran oder Plattenband oberhalb Durchfahrt
4-SÜD	Plattenband, bei Recyclinghof	Reisser od. Rotorschere	--	Förderband zu Einwurföffnungen bei Bunkertoren
1-NORD	Neuer Tiefbunker vor dem Kehrichtbunker	Reisser od. Rotorschere	Vorhandener Kehrichtbunker Nord	Vorhandener Kehrichtkran
2-NORD	Neuer Tiefbunker hinter dem Kehrichtbunker	Reisser od. Rotorschere	Vorhandener Kehrichtbunker Nord	Vorhandener Kehrichtkran
3-NORD	Plattenband vor dem Kehrichtbunker	Reisser od. Rotorschere	Neuer Tiefbunker vor dem Kehrichtbunker	Neue Krananlage
4-NORD	Plattenband vor dem Kehrichtbunker	Reisser od. Rotorschere	--	Förderband zu Einwurföffnungen bei Bunkertoren

Bestvarianten sind **2-SÜD** und **4-SÜD**. Sie unterscheiden sich nur durch die Art der Sperrgutannahme (Plattenband oder Bunker). Im Falle der Erweiterung des KHKW kann die Kapazität durch Verdoppelung der Transport- und Zerkleinerungsanlagen angepasst werden.

Empfehlung:

- Wir empfehlen, die Sperrgutbehandlung mit einer der beiden Varianten **2-SÜD** oder **4-SÜD** zu realisieren. Sie können 50'000 t/a Sperrgut verarbeiten und in das heutige Betriebskonzept des KHKW integriert werden;

- Die Fläche des Recyclinghofs wird erst frei, wenn eine neue Sammelstelle gebaut ist. Bis dahin ist die Variante **4-NORD** ein möglicher Kompromiss. Die Anlagen könnten später angepasst und weiter genutzt werden;
- Der vorhandene Schredder im Bunker soll bleiben, er dient der Zerkleinerung sperriger Teile im Kehricht und als Redundanz, falls der neue Schredder in der Sperrgutbehandlung ausfällt;
- Als Übergangslösung bis zur Räumung des Recyclinghofs eignet sich die Variante 4-NORD.

Bunkerkonzept

Der vorhandene Kehrichtbunker ist für die aktuelle Kehrichtmenge 240'000 t/a knapp ausreichend. Im Zusammenhang mit einer 3. Verbrennungslinie sollte das Volumen nach Möglichkeit vergrößert werden. Es wurden drei Optionen untersucht:

- Keine Vergrößerung des Volumens, aber Auslagerung der Sperrgutbehandlung;
- Vergrößerung des Volumens durch separaten Vorbunker, entweder angebaut oder abgesetzt;
- Vergrößerung des Volumens durch Verbreiterung, entweder zur Hälfte („kurz“) oder auf der ganzen Länge („lang“).

Bestvarianten sind die beiden Lösungen **„Vorbunker angebaut“** und **„Bunkerverbreiterung lang“**.

Das betrieblich beste Konzept ist die „Bunkerverbreiterung lang“. Sie verdoppelt das Nutzvolumen und ermöglicht eine optimale Bewirtschaftung mit getrennten Abschnitten für Anlieferung und Stapelung. Wesentlicher Nachteil sind die hohen Kosten.

Der angebaute Vorbunker ermöglicht mit niedrigeren Kosten die Vergrößerung des Volumens und eine Trennung der Anliefer- und Stapelabschnitte. Die Bewirtschaftung mit zwei Krananlagen, und die Übergabe vom Annahmehunker in den Stapelbunker sind betrieblich nicht optimal.

Empfehlung:

- Die Bunkervergrößerung kann bis zum Entscheid für die 3. Verbrennungslinie zurückgestellt werden. Das Volumen genügt vorläufig, wenn die externe Sperrgutbehandlung realisiert und die dritte Trennwand eingebaut wird.
- Für den zukünftigen Betrieb mit drei Verbrennungslinien ist die „Bunkerverbreiterung lang“ die betrieblich beste Variante. Die genauen Kosten dieser Lösung, im Vergleich zur Alternative „Vorbunker angebaut“, sind im nächsten Planungsschritte zu verifizieren.

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

1.1.1 Sperrgutbehandlung

Das KHKW Hagenholz verbrannte im Jahr 2011 etwa 240'000 t Abfälle. Etwa 47'000 t davon sind Sperrgut welches von den Transportfahrzeugen in den Kehrlichtbunker gekippt wird:

- Sperrgut von Haushalten;
- Brennbare Sortierrückstände von Baustellen;
- Brennbare Produktionsabfälle von Industrie und Gewerbe.

Der Kranführer sortiert die Abfälle im Bunker visuell mit dem Kehrlichtkran und transportiert das Sperrgut in den Aufgabetrichter der Zerkleinerung. Nur ein Teil des Sperrguts, etwa 13'000 t/a, können vor der Verbrennung zerkleinert werden:

- Der Bunker ist zu klein. Für die Annahme von Sperrgut und die Sortierung müsste ein Abschnitt frei bleiben, welcher nicht für die Stapelung genutzt werden kann;
- Die Anordnung des Schredders in der Bunkermitte ist ungünstig, denn die Abwurfstelle kann nicht für die Stapelung verwendet werden;
- die Kapazität des Reissers genügt nicht, um das gesamte Sperrgut zu zerkleinern. Der Einbau einer zweiten Zerkleinerungsanlage ist nicht möglich, da sie die Nutzung des Volumens noch stärker beeinträchtigen würde.

Deshalb ist vorgesehen, mit einer neuen Annahmestelle und Zerkleinerungsanlage für die gesamte Sperrgutmenge diesen Engpass beheben. Eine konsequente Zerkleinerung hat auch positiven Einfluss auf den Betrieb der Feuerungen, die Qualität der Schlacke und die Energienutzung.

1.1.2 Bunkerkonzept

Der vorhandene Bunker ist lang und schmal. Um die Bewirtschaftung zu verbessern, wurden zwei Trennwände eingebaut, eine dritte ist geplant.

Wie erwähnt, ist das Bunkervolumen für die Verarbeitung von 240'000 t/a knapp genügend. Durch eine Unterteilung mit Trennwänden in Annahmestapel, Stapelbunker und Brennstoffbunker ist eine effiziente Bewirtschaftung machbar.

ERZ prüft die Machbarkeit zur Erhöhung der Verbrennungskapazität auf 345'000 t/a mit einer dritten Verbrennungslinie. Dazu ist die Vergrößerung des Bunkervolumens unumgänglich.

1.2 Aufgabenstellung

Transportfahrzeuge, welche grobstückige Güter bringen, werden zukünftig von der Waage zur neuen Sperrgut-Annahmestelle gewiesen. Durch die neue Sperrgutannahme wird die Möglichkeit geschaffen, die nicht immer erkennbaren Stückgrößen generell über die Zerkleinerungsanlage zu führen, was für die Verbrennungsprozesse grosse Vorteile bewirkt.

Die Sperrgutbehandlung muss folgende Funktionen erfüllen:

- Separate Annahmestelle für die gesamte Sperrgutmenge;
- Zerkleinerung der gesamten Sperrgutmenge auf eine geeignete Stückgrösse;

- Möglichkeit zur Ballierung und Zwischenlagerung des zerkleinerten Sperrguts;
- Gleichmässige Vermischung des zerkleinerten Guts mit den übrigen Abfällen vor der Aufgabe in die Verbrennung.

Die Steigerung der Abfallmenge, bedingt durch eine 3. Verbrennungslinie, erfordert zusätzliches Bunkervolumen für die Annahme und Stapelung.

Deshalb sollen Lösungen gesucht werden, wie das vorhandene Bunkervolumen erweitert und auch besser genutzt werden kann.

1.3 Zielsetzung

Mit der Machbarkeitsstudie sind Konzepte für die Sperrgutbehandlung und den Kehrlichtbunker entwickelt werden, welches:

- die gesamte heute angelieferte Sperrgutmenge verarbeiten kann;
- für eine zukünftige Erhöhung der Verbrennungskapazität vorbereitet ist;
- in das Areal Hagenholz integriert werden kann;
- mit möglichst geringen Investitionen erstellt und wirtschaftlich betrieben werden kann;
- die Erweiterung mit einer dritten Verbrennungslinie nicht behindert.

2. Grundlagen

2.1 Abfallmengen

Die Tabelle zeigt die heute verarbeitete Abfallmenge (IST 2011) im Vergleich zu einer neuen Sperrgutbehandlung sowie dem Szenario mit einer 3. Verbrennungslinie.

Abfallfraktionen	IST 2011	IST 2011, mit neuer Sperrgutbehandlung	Szenario mit 3. Verbrennungslinie
Siedlungsabfälle	171'000 t		190'000 t
Sperrgut	21'000 t	100% zur Zerkleinerung	25'000 t
Bau- und Produktionsabfälle	16'000 t	100% zur Zerkleinerung	60'000 t
Gewerbeabfälle	21'000 t	50% zur Zerkleinerung	60'000 t
Sonderabfälle	11'000 t		15'000 t
Gesamtmenge	240'000 t	240'000	345'000 t
zur Zerkleinerung	13'000 t (50 t/Tag)	47'500 t (190 t/Tag)	115'000 t (450 t/Tag)

Tabelle 2.1 Abfallmengen

Die Kapazitätserhöhung des KHKW auf 345'000 t/a hätte zur Folge, dass sich der Anteil der akquirierten Abfälle (Marktkehricht) deutlich erhöht, weil die Siedlungsabfälle monopolisiert sind.

Die Mengenerhöhung wird deshalb vorwiegend die Industrie- und Gewerbeabfälle betreffen.

2.2 Auslegung der Sperrgutbehandlung

in der Tabelle sind die aktuellen Grundlagen für die Auslegung der Sperrgut Behandlung und die Anforderungen des Szenarios 3. Verbrennungslinie zusammengestellt.

			IST 2011, mit neuer Sperrgutbehandlung	Szenario mit 3. Verbrennungslinie
Sperrgut Annahme	Menge	t/a	47'500	115'000
	Dichte	t/m3	0,25	0,25
	Anliefertage	Tage/a	250	250
	Menge	t/Tag	190	450
	Volumen	m3/Tag	750	1'800
Sperrgut Behandlung	Betriebsstunden	h/Tag	8	8
	Durchsatz	t/h	24	58
	Volumenstrom	m3/h	95	230
Zerkleinertes Gut (Feinmüll)	Dichte	t/m3	0,4	0,4
	Volumenstrom	m3/Tag	475	1'150
		m3/h	59	144

Tabelle 2.2 Auslegung der Sperrgut Behandlung

2.3 Bisherige Studien

Zum Thema Bunkerkonzept und Sperrgutbehandlung wurden in den letzten Jahren verschiedene Konzepte entwickelt und Studien durchgeführt.

2.3.1 Bisherige Studien zur Sperrgut Behandlung

Hinweis: Anhang A

Das Sperrgut wird heute in den Kehrichtbunker geworfen, mit dem Krangreifer aussortiert und in den Reisser transportiert. Mit diesem System können nur etwa 30% der grobstückigen Abfälle behandelt werden, etwa 13'000 t/a von insgesamt 47'000 t/a. Einerseits werden nicht alle Grobstücke erfasst, andererseits ist der Durchsatz des Reisers nicht genügend.

Seit 2009 befasst sich ERZ intensiv mit dem Bau einer neuen Sperrgut Behandlungsanlage auf dem Areal Hagenholz. Das Ergebnis der bisherigen Studien ist im Anhang A tabellarisch zusammengefasst.

2.3.2 Bisherige Studien zur Bunkervergrößerung

Hinweis: Anhang B

Die Vergrößerung des alten Kehrichtbunkers wurde schon seit 1994 in verschiedenen Studien untersucht. Im Anhang B sind die neueren Studien zur Bunkervergrößerung aufgelistet.

Folgende Massnahmen wurden bisher ausgeführt:

- Verlängerung des Bunkers durch den Abschnitt NORD;
- Einbau von zwei Trennwänden im Bunker, die dritte ist 2013 geplant.

3. Sperrgutkonzepte

3.1 Lösungen

Als Hilfsmittel zur Entwicklung der technischen Lösungen wird der morphologische Kasten verwendet. Die Lösungen werden in den Kolonnen beschrieben und ihre Machbarkeit mit Farben bewertet:

grün = Üblicher Standard, bekannte Technologie
gelb = Alternative, machbar und prüfenswert
rot = nicht machbar oder nicht gewünscht

Funktionen	Lösung 1	Lösung 2	Lösung 3	Lösung 4
1. Annahme				
Abladen	Kippen in Rutsche	Kippen auf Boden	Kippen in Kasten	
Sortierung Störstoffe	Bunkerkran	Bagger	Hydraulikkran	keine
2. Sperrmüllbunker				
Speicherung	Tiefbunker	Sammelbunker	Flachbunker	Rechtecksilo
Einfüllen	Rutsche	Bagger oder Hydraulikkran	Förderer	
Entleeren	Bunkerkran	Plattenband	Schaufellader	
3. Zerkleinerung				
Aggregat	Rotorreisser	Rotorschere	AutoSchredder	Kein
Beschicken	Kran	Plattenband	Kastenbeschicker	
Nachsortierung Metalle	Magnetabscheider	Keine		
4. Feinmüllbunker				
Speicherung	Tiefbunker	Rechtecksilo	keine	Flachbunker
Einfüllen	Rutsche	Förderer		
Entleeren	Bunkerkran	Förderer		
5. Vermischung				
Ort der Vermischung	Kehrichtbunker	Kein (Monoverbrennung)		Aufgabetrichter in Feuerung
Verteilung	Bunkerkran	Verteilband		
6. Verbrennung				
Aufgabe in Feuerung	Bunkerkran			
Verbrennungssystem	Mischverbrennung (Rost)	Monoverbrennung (Wirbelschicht)		
7. Ballenpresse				
Vorbehandlung	zerkleinert			unzerkleinert
Transport zu Ballierung	Förderer	Kran		
Ballenlager	Halle			Lagerplatz
Ort	Hagenholz			Extern
Ein- und Auslagern	Stapler	Kran		
Aufreissen	Bunkerkran	Zerkleinerungsanlage		

Tabelle 3.1 Funktionen und Lösungen

3.2 Sperrgutannahme

Das Sperrgut wird von den professionellen Transporteuren mit Muldenkippern, Container-Kippfahrzeugen oder Sattelauflegern mit Schubboden angeliefert. Zusätzlich ist mit Kleintransportern und Anhängern von Privaten zu rechnen, welche grössere, nicht im Recyclingzentrum annehmbare Mengen (>1 t) anliefern, aber nicht kippen können. Die Annahme muss daher über folgende Einrichtungen verfügen:

- Abkippbereich für grosse Fahrzeuge mit Volumen bis 50m³
- Handentladestelle für Kleinfahrzeuge

Grosse Fahrzeuge können auf den Boden, in eine Rutsche oder in einen Kasten kippen, für Handentlader muss eine Entladefläche zur Verfügung gestellt werden.

Beim Abkippen auf den Boden oder in einen Kasten ist es sinnvoll, eine Vorsortierung mit einem Bagger oder Hydraulikkran durchzuführen, um die Störstoffe vor der Zerkleinerung zu entfernen. Beim Abkippen in einen Tiefbunker ist dies nicht möglich, die Vorsortierung erfolgt dann durch den Bunkerkrane.

Das Sperrgut beansprucht viel Volumen, rund 1000 m³ pro Tag. Für grössere Stapelvolumen sind Tiefbunker geeignet, welche über eine Rutsche befüllt und mit einem Kran geleert werden.

Wenn die kontinuierliche Zerkleinerung möglich ist, wird kein Tiefbunker benötigt, das Sperrgut wird direkt in einen Annahmestapel gekippt, welcher die Zerkleinerungsanlage beschickt.




Konzept	Beispiel	Vorteile	Nachteile
Kippen in Tiefbunker, Aufgabe mit Kran		<ul style="list-style-type: none"> – Betriebszeiten von Annahme und Zerkleinerung sind unabhängig – grosses Stapelvolumen bei Störung der Zerkleinerung 	<ul style="list-style-type: none"> – Grosses Bunkervolumen – Beschränkte Sortiermöglichkeit mit Bunkerkrane – zusätzliches Handling mit Kran
Kippen auf Boden, Aufgabe mit Bagger		<ul style="list-style-type: none"> – keine Wartezeiten – Vorsortierung mit Bagger 	<ul style="list-style-type: none"> – Gleichzeitige Anlieferung und Verarbeitung – Platzbedarf – Begrenzte Annahmekapazität
Kippen in Annahmestapel, Aufgabe mit Plattenband		<ul style="list-style-type: none"> – Geringer Platzbedarf – Kontrolle und Vorsortierung möglich – Erhöhung der Annahmekapazität durch mehrere Aufgabestellen machbar 	<ul style="list-style-type: none"> – Geringe Stapelkapazität – Wartezeiten bei Betriebsstörungen oder mehreren LKW – minimales Zwischen-Speichervolumen

Tabelle 3.2 Systeme der Sperrgut Annahme

3.3 Zerkleinerung

3.3.1 Auswahlkriterien

Die Auswahl des Aggregats wird durch den geforderten Durchsatz und die Stückgrösse bestimmt:

- Für Stückgrössen über 200 mm genügt die Vorzerkleinerung mit einem Rotorreisser, welcher weniger Energie benötigt und weniger verschleisst als die Rotorschere. Es empfiehlt sich eine Vorsortierung zur Entnahme von Störstoffen (Motorblöcke, Stahlträger usw.).
- Muss ein feinkörnigeres Produkt kleiner 200 mm erzeugt werden, wie es zum Beispiel für die Wirbelschichtverbrennung gefordert ist, wird die Rotorschere eingesetzt. Der Abstand zwischen den Zähnen ist kleiner und die Zerkleinerung intensiver. Eine Vorsortierung ist unabdingbar, um häufige Störungen zu vermeiden.

Soll alles Sperrgut ohne Vorsortierung zerkleinert werden, ist ein grosses und starkes Aggregat (Auto Schredder) erforderlich.

3.3.2 Maschinen

Die Durchsatzleistung des Zerkleinerungsaggregats hängt hauptsächlich vom Volumen des Gutes ab. Bei Sperrgut reduziert sich der Durchsatz auf etwa die Hälfte der Leistung bei Haushaltabfällen.

Verschiedene Hersteller liefern Standardmaschinen für die Sperrmüllzerkleinerung.

Hersteller		Metso	Metso	SID	SID	Vecoplan	Hammel	Hammel	Hammel
Typ		MJ 4000S	MJ 6000S	XLC 4500	XLC 7300	VVZ 310T	VB 750	VB 850	VB 950
Installierte Leistung	kW	260 - 400	400 - 500	200 - 500	315 - 630	310	260	320	500
Gesamtgewicht	t	25	40	25	38	30	20	30	40
Einfüllöffnung	mxm	3,7 x 2,0	5,7 x 2,4	2,6 x 1,8	2,7 x 1,7	3,1 x 1,7	k.A.	k.A.	k.A.
Max. Durchsatz (Dichte= 0.15–0.3 t/m ³)	t/h	50	80	60	120	40	30	60	110

Tabelle 3.3 Handelsübliche Zerkleinerungsmaschinen

Der Durchsatz hängt von der installierten Leistung und der gewünschten Korngrösse ab. Für Sperrgut sind Durchsätze von 30 bis 60 t/h üblich. Aggregate über 500 kW erfordern keine Vorsortierung (AutoSchredder).

3.3.3 Auslegung der Zerkleinerungsanlage

Betriebsweise		Direktbeschickung		8h-Betrieb		24h-Betrieb	
Jahresmenge	t/a	48'000	115'000	48'000	115'000	48'000	115'000
Anliefermenge pro Tag	t/d	190	460	190	460	190	460
Anlieferzeit pro Tag	h/d	8	8	8	8	8	8
Anlieferspitze (Annahme 200% von Mittelwert)	t/h	50	120	50	120	50	120
Mittlere Dichte des Sperrgut	kg/m ³	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Minimales Sperrgut-Stapelvolumen	m ³	--	--	100	250	800	1'800
Nutzung		50%	50%	50%	50%	50%	50%
Durchsatz der Zerkleinerung	t/h	100	240	50	120	17	40

Anzahl Zerkleinerungsmaschinen	Stk.	1 - 2	2 - 3	1 - 2	2	1	1
--------------------------------	------	-------	-------	-------	---	---	---

Tabelle 3.4 Auslegung der Zerkleinerungsanlage

Die maximale Durchsatzleistung eines Aggregats kann nur genutzt werden, wenn die Beschickung ohne Unterbruch erfolgt. Der Nutzungsgrad ist zudem abhängig von der Dichte des Sperrguts und von der Anzahl Störstoffe, welche Reversiervorgänge auslösen.

Im Mittel ist Nutzungsgrad von 50% der theoretischen Durchsatzleistung eine realistische Annahme.

3.3.4 Redundanz

Die Zerkleinerungswerkzeuge unterliegen starkem Verschleiss und müssen periodisch revidiert werden. Wenn kein Stand-by-Aggregat installiert ist, muss ein Wechsel in kurzer Zeit möglich sein. Strategien:

- Ersetzen der beiden Schneidrotoren;
- Auswechseln des kompletten Schneidetisches;
- Stand-by-Aggregat.

In der Kostenschätzung wurde ein Ersatz des kompletten Schneidetisches eingerechnet.

3.4 Feinmüllbunker

Der Feinmüllbunker dient als Puffer zwischen Zerkleinerung und Verbrennung. Der trockene Feinmüll ist stabil und fault nicht, er enthält aber Staub und sollte in einem geschlossenen Raum (Tiefbunker oder Rechtecksilo) gelagert werden.

Auf einen Feinmüllbunker kann verzichtet werden, wenn das zerkleinerte Sperrgut vom Schredder direkt in den Kehrichtbunker transportiert und dort verteilt wird. Dann ist der Kehrichtbunker der Speicher.

3.5 Vermischung

Die Vermischung des trockenen Feinmülls mit den feuchten Haushaltabfällen ist bei einer Gemisch-Verbrennung (Rostfeuerung) notwendig, um einen homogenen Brennstoff mit gleichbleibenden Eigenschaften zu erzeugen. Im Falle der Monoverbrennung entfällt dieser Schritt.

Die Vermischung kann erfolgen:

- im Kehrichtbunker, durch Verteilen des Feinmülls mit dem Bunkerkran
- im Anlieferbunker der Haushaltsabfälle, durch Abwurf des Feinmülls mit einem Förderband;
- bei kleinen Mengen im Aufgabetrichter der Feuerung, durch Dosierung des Feinmülls mit einem Förderband. Diese Variante wird verworfen, weil die Sperrgutmenge zu gross ist.

3.6 Verbrennung

Die Verbrennung des Feinmülls erfolgt entweder als Gemisch mit den Haushaltabfällen, oder für die beiden Abfallsorten getrennt.

- Für Mischabfälle kommt nur die Rostfeuerung in Betracht;
- Für die Monoverbrennung des Feinmülls eignet sich die Wirbelschicht besser.

3.7 Ballenpresse

Es ist vorgesehen, im Hagenholz bis 4'000 t/a Ballen herzustellen und zu lagern. Ziel der Ballierung ist die Zwischenlagerung von Abfällen:

- Überbrückung von Engpässen und Ausfällen der Verbrennungsanlagen. Die Fremddentsorgung kann vermieden werden.
- Optimierung der Energieerzeugung.

Dazu eignet sich besonders der trockene Feinmüll, welcher über längere Zeit ohne Faulung lagerfähig ist.

	Rundballen	Rechteckballen
		
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> – Gewicht: 500-1'000 kg/Ballen – Lagerung/Transport wegen Form schwieriger – geringere Festigkeit nur durch Folie – leicht zu öffnen 	<ul style="list-style-type: none"> – Gewicht: 800-1'500 kg/Ballen – Lagerung und Transport einfach – Stabilität hoch durch Drahtwicklung – schwierig zu öffnen und zu verteilen
Vorbehandlung	– Vorzerkleinerung	– Vorzerkleinerung
Maschinen	<ul style="list-style-type: none"> – Wickeltechnik – geringer Verschleiss – Energieverbrauch: ca. 2 kWh/Ballen – 20-30 Ballen/h 	<ul style="list-style-type: none"> – Kanalpresse – hoher Verschleiss – Energieverbrauch: ca. 10 kWh/Ballen – 20-30 Ballen/h
Flächenbedarf	– 6 Lagen: ca. 0.4 m²/t	– 6 Lagen: ca. 0,3 m²/t
Lagerung	<ul style="list-style-type: none"> – Bei längerer Lagerung trockene Halle – Bodenabdichtung – Überwachung auf Gasbildung und Temperatur – Brandschutz. Das Lager ist in Brandabschnitte (je ca. 1'000-2'000 m²) einzuteilen 	

Tabelle 3.5 Charakterisierung der Ballen

Für die weitere Untersuchung werden Rundballen eingesetzt, da keine besonderen Anforderungen an die mechanische Festigkeit gestellt werden.

Für die Zwischenlagerung von 4000 t Ballen ist mit Rundballen eine Fläche von etwa 2'000 m², einschliesslich der Transportgassen, erforderlich.

3.8 Aufstellung

Die Sperrgutbehandlung benötigt ca. 1'000 m² inkl. Verkehrsflächen. Für die Lagerung von 4'000 t in Ballen sind ca. 2'000 m², inkl. Gassen, erforderlich.

Der Platz auf dem Areal Hagenholz ist beschränkt. Einerseits gibt es noch andere Projekte, andererseits soll die zukünftige Entwicklung des Areals nicht behindert werden.

Aus dem Bild ist ersichtlich, dass nur drei Bereiche, welche noch nicht besetzt sind, in Frage kommen:

- Standort SÜD, im Bereich des Recyclinghofs, genügend Fläche ca. 3'000 m²;
- Standort NORD, beim Bunker Nord, Fläche in 2 Feldern total ca. 1'500 m²
- Standort OST, Fläche ca. 2'000 m².

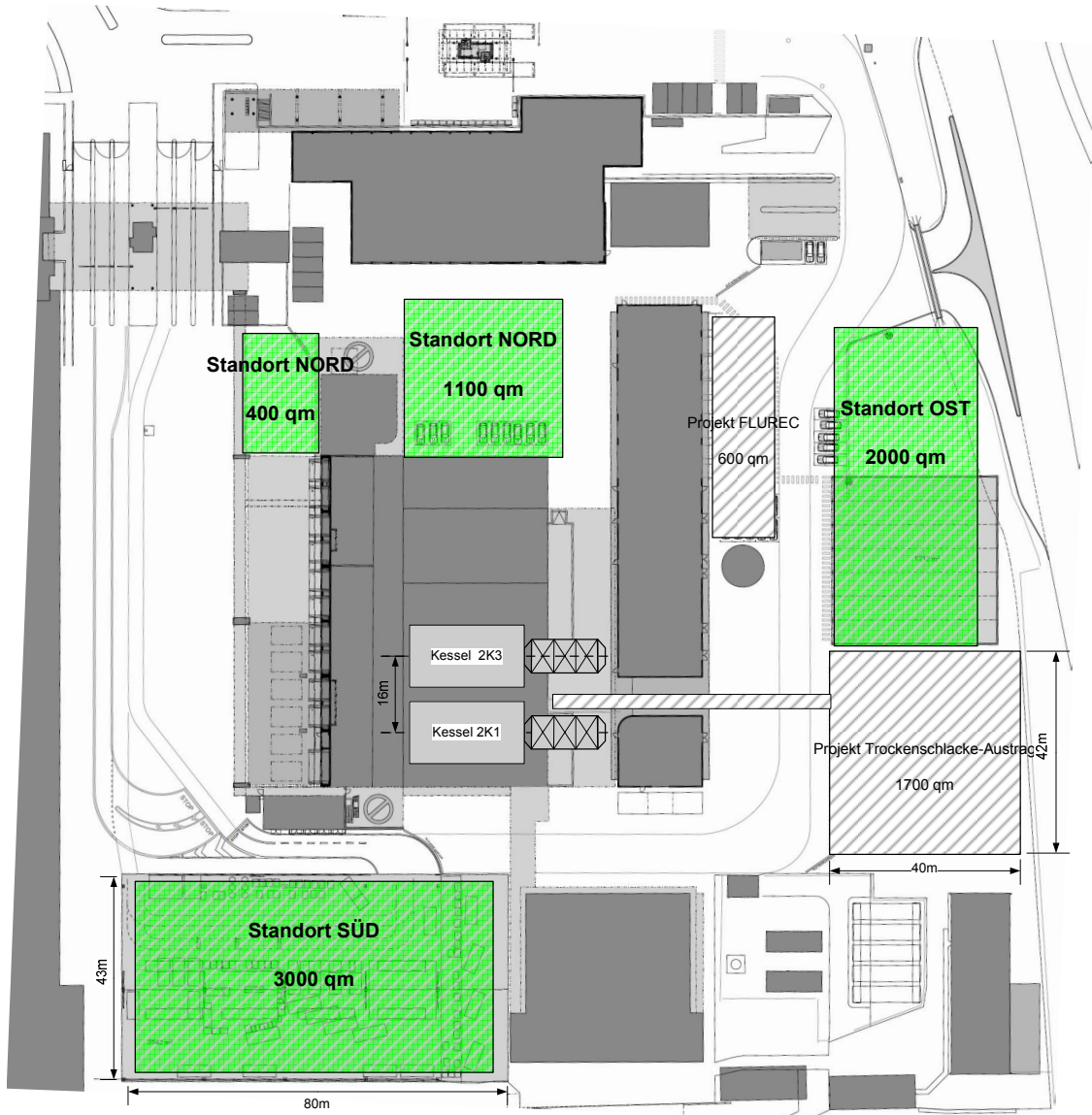


Abbildung 3.1 Standortvarianten

Folgerungen:

- Die Flächen NORD oder OST alleine sind zu klein für die Behandlung und das Ballenlager.
- Der Standort OST ist zu weit entfernt vom Kehrlichtbunker, der Transfer wäre nur mit Containern machbar, d.h. nur für kleine Sperrgutmengen. Dieser Standort wird daher nicht weiter untersucht.

4. Varianten der Sperrgutbehandlung

4.1 Technische Konzepte

Aus der Kombination der Lösungswege ergeben sich 4 technische Konzepte sowie mehrere Optionen.

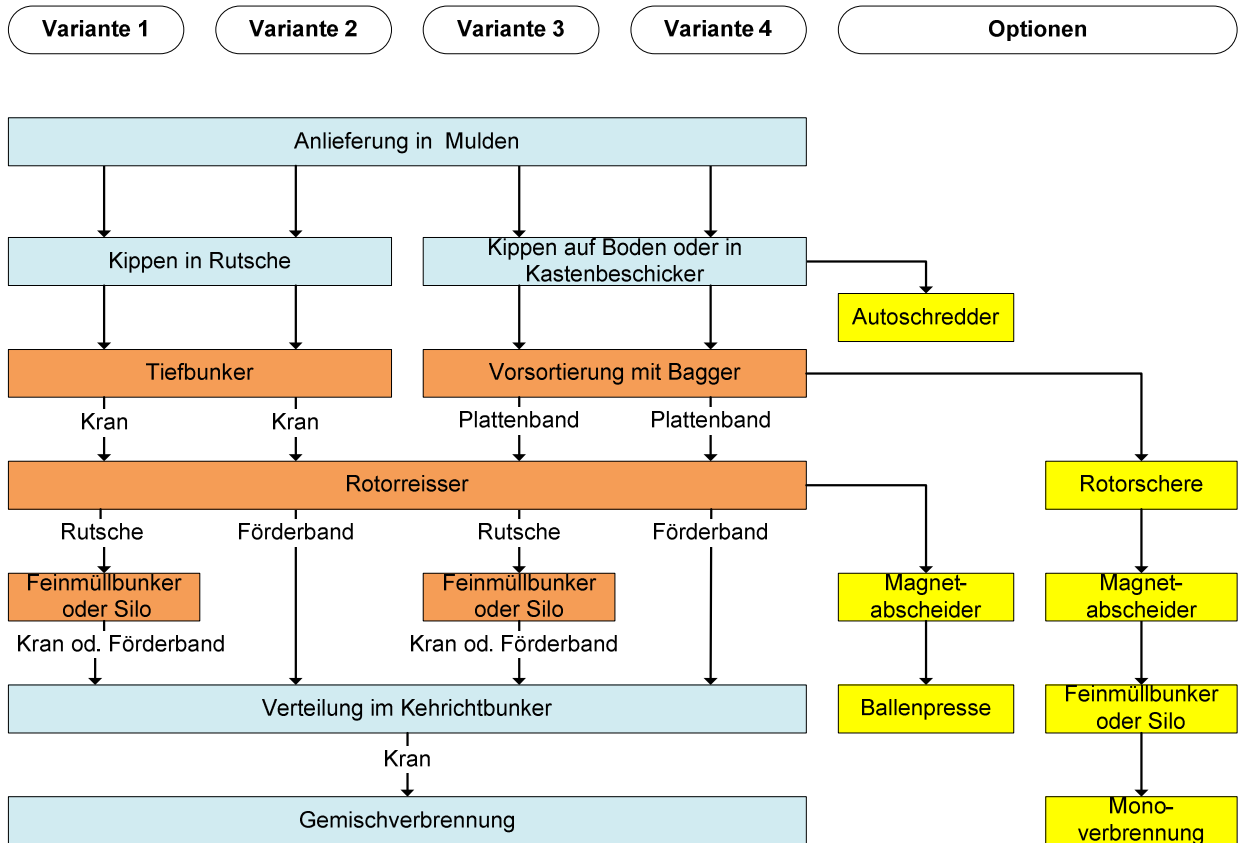


Abbildung 4.1 Technische Konzepte und Optionen der Sperrgutbehandlung

4.2 Variante 1-SÜD

4.2.1 Aufstellung

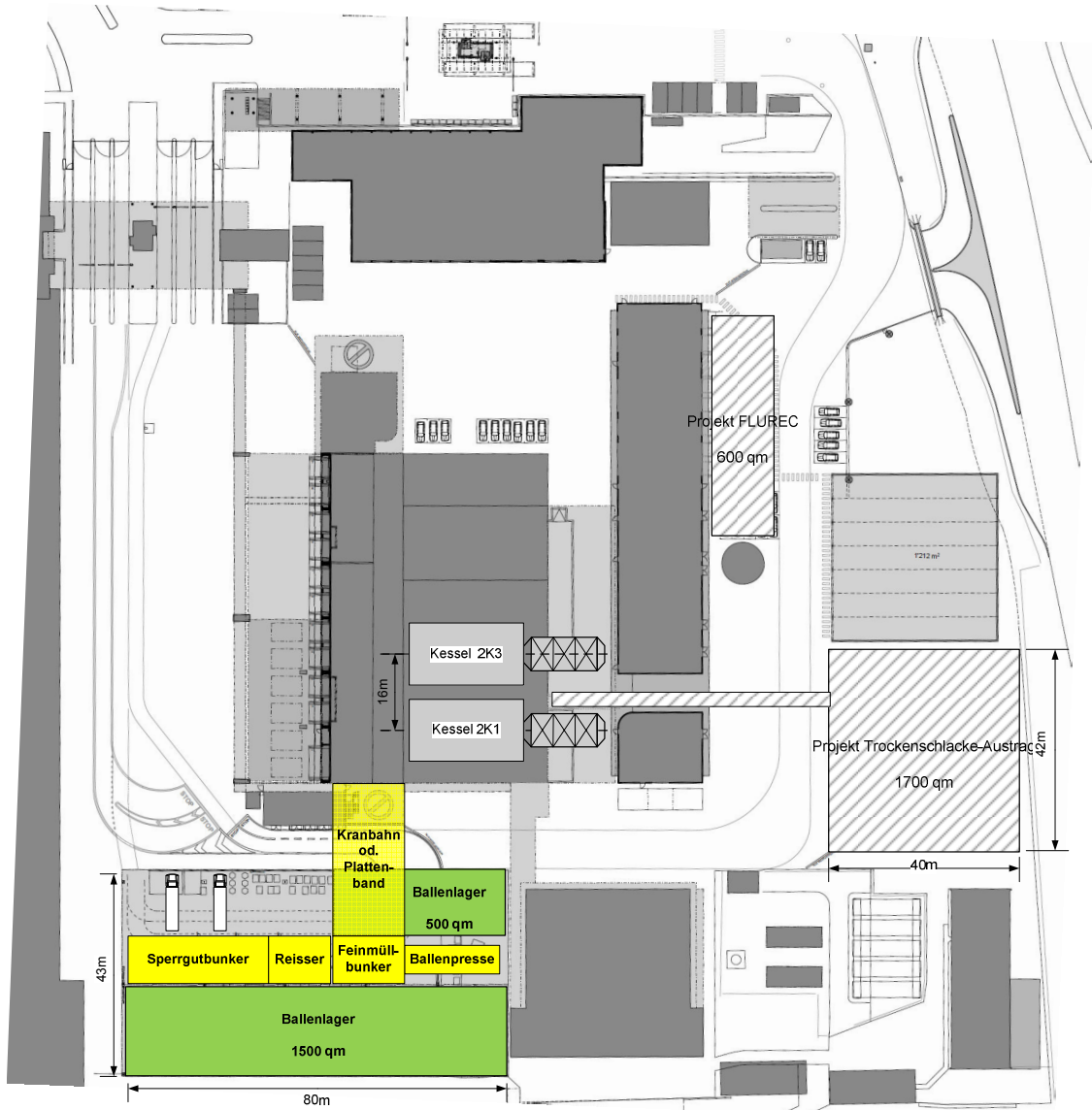


Abbildung 4.2 Aufstellung Variante 1-SÜD

4.2.2 Verfahrensbeschreibung

Sperrgutannahme	Die Anlieferfahrzeuge mit Mulden kippen ihren Inhalt durch mehrere Rutschen in einen Tiefbunker, Kleinmengen werden über spezielle Trichter in den Tiefbunker entladen.
Sperrmüllbunker	Der Bunker hat ein Nutzvolumen von 2400m ³ (bis Kote 0m) für 3 Tage, damit der Schredder auch an Wochenenden beschickt werden kann. Im Endausbau (115'000 t/a Sperrgut) reicht das Volumen noch für 1,5 Tage. Das Sperrgut wird mit dem Bunkerkran vorsortiert und in den Trichter der Zerkleinerung geworfen. Störstoffe werden in eine Mulde abgeladen.
Zerkleinerung	Der Schredder ist zwischen dem Sperrmüllbunker und dem Feinmüllbunker eingebaut, er wird mit dem Bunkerkran beschickt. Die Variante ermöglicht wahlweise den 8h oder 24h-Betrieb, deshalb genügt ein einziger Schredder, der bereits für den Endausbau dimensioniert ist, oder

	später durch ein zweites Aggregat ergänzt wird.
Feinmüllbunker	Der Feinmüll fällt von der Zerkleinerung direkt in den Feinmüllbunker mit einem Nutzvolumen von 1'200m ³ , was in der ersten Ausbauphase ebenfalls 3 Tagesmengen entspricht. Dort wird er von einem Bunkerkrane aufgenommen und entweder in den Trichter der Ballenpresse geworfen oder zum Kehrichtbunker transportiert. Der Abwurf erfolgt im ersten oder eventuell auch zweiten Abschnitt des Kehrichtbunkers. Alternativ kann ein Plattenband den Transport über die Durchfahrt übernehmen, der Feinmüll fällt dann nur in den äussersten Abschnitt des Bunkers.
Vermischung	Die Vermischung mit Kehricht erfolgt im südlichsten Abschnitt des Kehrichtbunkers, indem der Sperrmüllkrane den Feinmüll über die Haushaltsabfälle verteilt. Wegen der Länge der Schleppkabel kann der Sperrmüllkrane nur den äussersten (ev. auch noch den zweiten) Abschnitt erreichen. Ebenso kann der Kehrichtkrane nicht bis zum Sperrmüllbunker fahren.
Verbrennung	Der Kehrichtkrane fördert das Brennstoffgemisch in die Trichter der Verbrennung.
Ballenpresse	Die Ballenpresse ist neben dem Feinmüllbunker, sie wird mit dem Sperrmüllkrane beschickt.
Ballenlager	Kapazität für 4'000 t in Ballen ist vorhanden
Magnetabscheider	Kann nach dem Schredder installiert werden. Der Schrott wird in Mulden abgeworfen.
Kapazitätserhöhung auf 115'000 t/a	Ergänzung des Systems mit einem zweiten Schredder.

4.3 Variante 2-SÜD

4.3.1 Aufstellung

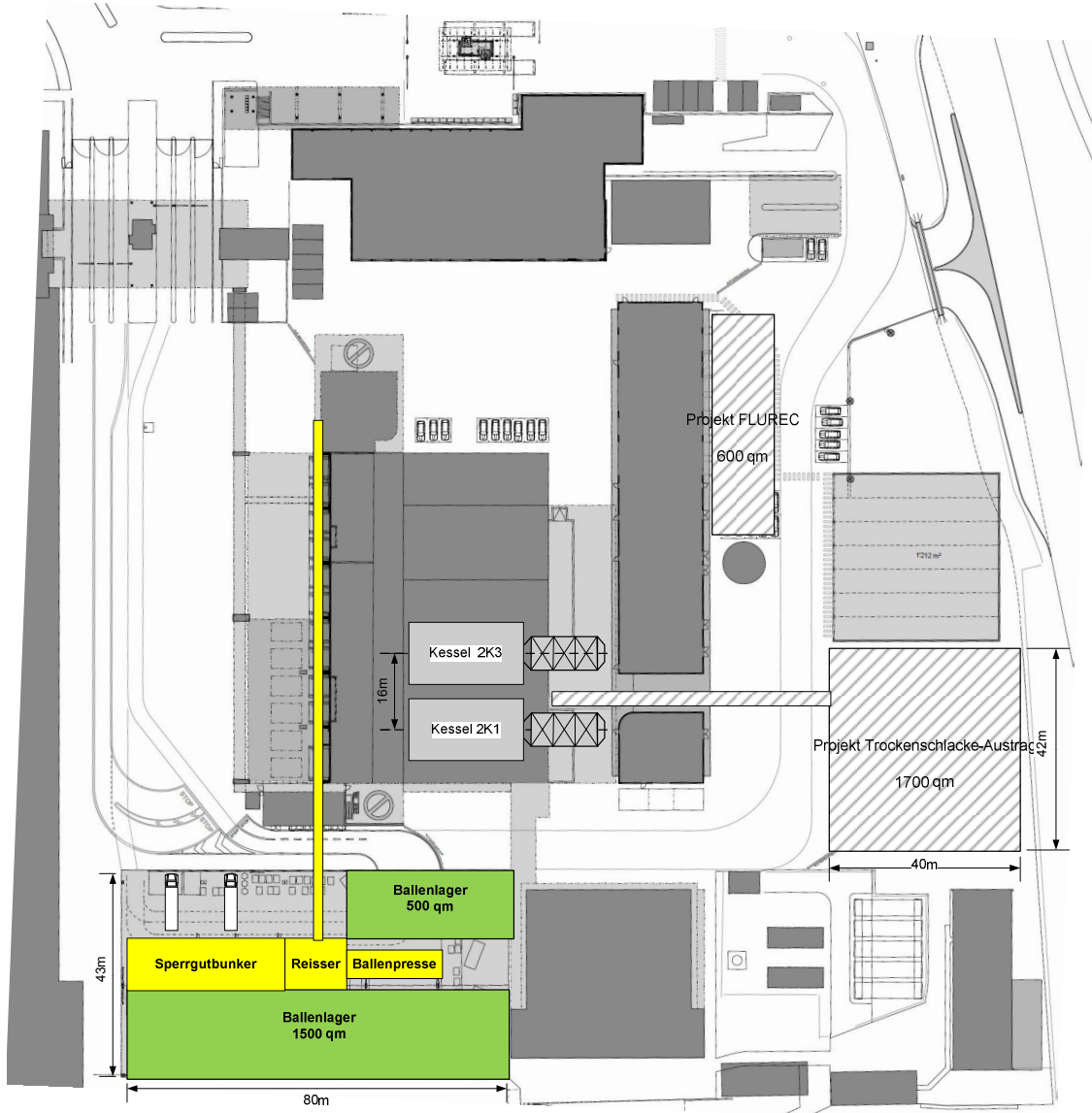


Abbildung 4.3 Aufstellung Variante 2-SÜD

4.3.2 Verfahrensbeschreibung

Die Variante 2-SÜD unterscheidet sich von Variante 1-SÜD durch:

- Grösserer Sperrmüllbunker
- Kein Feinmüllbunker
- Transport zum Kehrlichtbunker mit Förderband statt mit Kran.

Sperrgutannahme Wie Variante 1-SÜD

Sperrmüllbunker Wie Variante 1-SÜD, aber mit grösserem Volumen 3'000m³, dimensioniert für 3 Tage

Stapelkapazität im Endausbau.	
Zerkleinerung	Variante 2 ermöglicht den kontinuierlichen 8h- oder 24h-Betrieb, es genügt ein Zerkleinerungsaggregat, welches für den Endausbau dimensioniert ist, oder dann durch ein zweites Aggregat ergänzt wird. Der Feinmüll fällt vom Zerkleinerer auf ein reversierbares Förderband, welches entweder das Transportband zum Kehrichtbunker oder die Ballenpresse versorgt.
Feinmüllbunker	Kein Feinmüllbunker
Vermischung	Der Feinmüll wird direkt auf ein Transportband geworfen, welches ihn zum Kehrichtbunker fördert. Zur Verteilung im Kehrichtbunker ist ein verschieb- und reversierbares Förderband vorgesehen, welches über mehrere Wandöffnungen jedes Abteil des Bunkers beschicken kann. Die weitere Vermischung mit den Haushaltsabfällen erfolgt mit dem Kehrichtkran.
Verbrennung	Der Kehrichtkran nimmt das Brennstoffgemisch und fördert es in die Trichter der Verbrennung.
Ballenpresse	Die Ballenpresse ist neben dem Zerkleinerer, sie wird mit einem Förderband beschickt.
Ballenlager	Lagerkapazität für 4000 t in Ballen ist vorhanden.
Magnetabscheider	Der Feinmüll passiert nach der Zerkleinerung den Überbandmagneten.
Kapazitätserhöhung auf 115'000 t/a	Zweiter Schredder

4.3.3 Varianten für Aufgabe in den Kehrichtbunker

Für den Abwurf des Feinmülls in den Kehrichtbunker bestehen zwei Möglichkeiten:

- Förderband unterhalb der Leitwarte
Mit dem Band unterhalb der Leitwarte können alle vier Bunkerabschnitte beschickt werden, aber nur auf einer Höhe von etwa 5 m ab Boden. Dadurch wird die Stapelhöhe eingeschränkt. Der Feinmüll wird deshalb am besten in den Anlieferbunker für Kehricht abgeworfen, wo nicht gestapelt wird.
- Förderband oberhalb der Leitwarte
Mit dem Band oberhalb der Leitwarte ist die Abwurfhöhe etwa 15 m ab Boden, die Stapelhöhe im Bunker wird durch den Abwurf von Feinmüll nicht reduziert, aber es können nur die drei nördlichen Bunkerabschnitte beschickt werden. Besonders problematisch bei dieser Lösung ist die Staubentwicklung durch die grosse Abwurfhöhe.

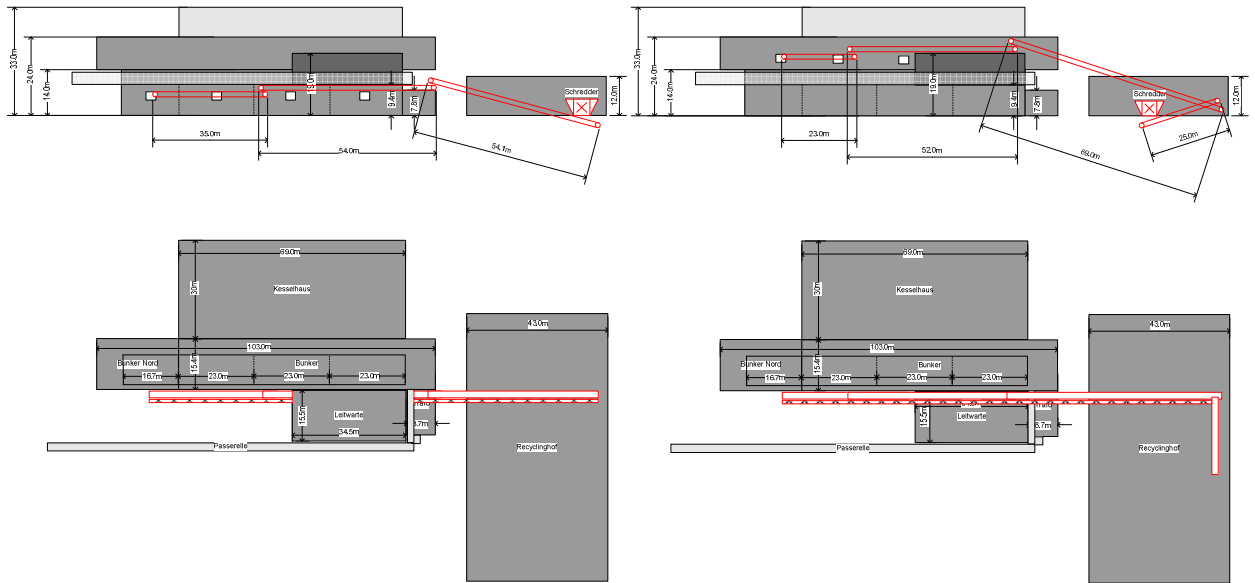


Abbildung 4.4 Förderband unterhalb der Leitwarte

Abbildung 4.5 Förderband oberhalb der Leitwarte

Insgesamt überwiegen trotz der geringeren Abwurfhöhe die Vorteile der Lösung unterhalb der Leitwarte. Der Feinmüll wird in den Anlieferbunker dosiert und vermischt sich dort bereits mit dem Kehricht.

Die nicht benötigten Einwurföffnungen werden verschlossen und können hinterstapelt werden.

4.4 Variante 3-SÜD

4.4.1 Aufstellung

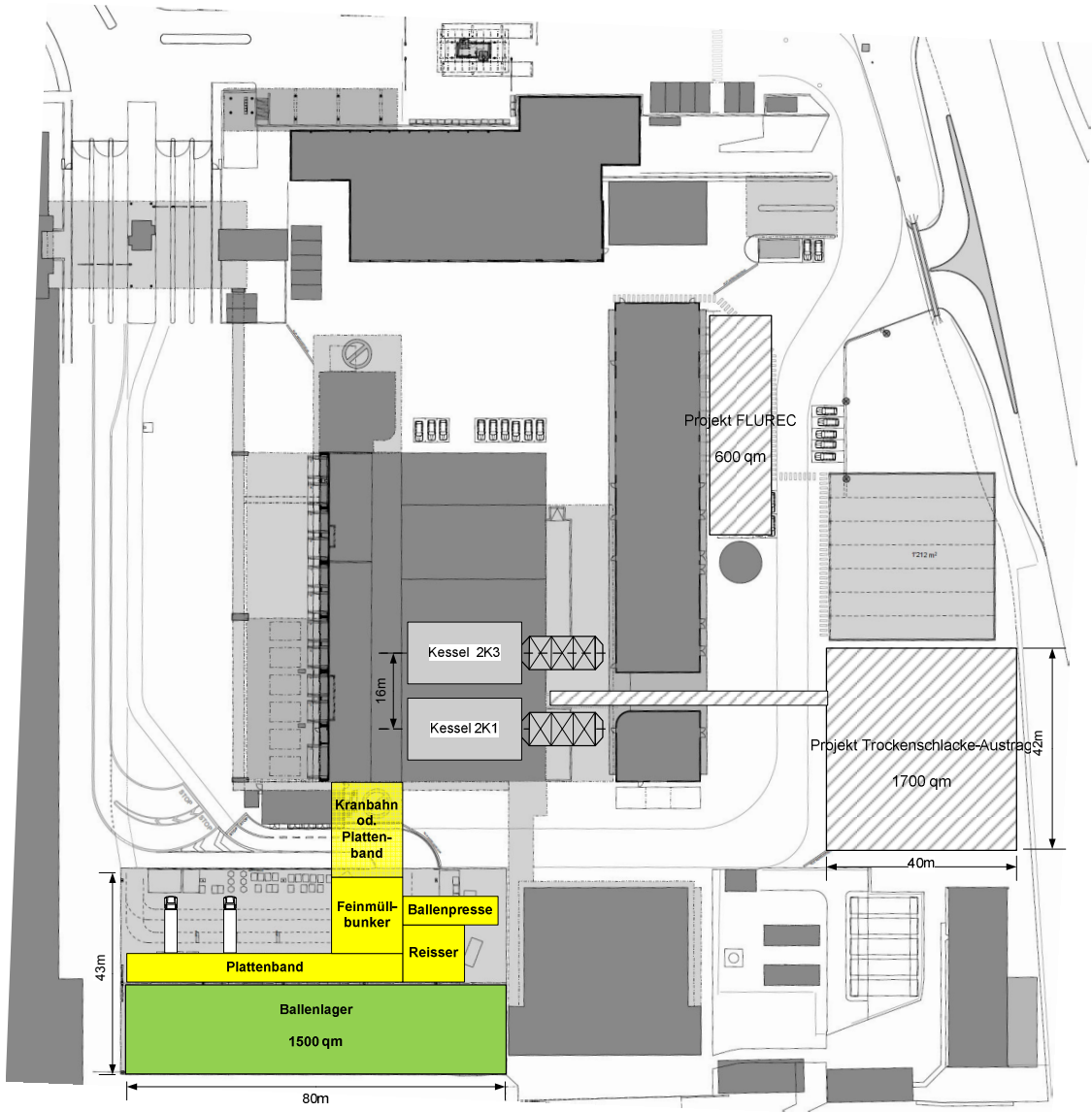


Abbildung 4.6 Aufstellung Variante 3-SÜD

4.4.2 Verfahrensbeschreibung

Sperrgutannahme	Die Muldenfahrzeuge entladen das Sperrgut an zwei bis drei Stellen in einen Anlieferbunker, für Kleinanlieferer sind zwei bis drei eigene Entladestellen vorzusehen. Am Boden des Anlieferbunkers befindet sich ein Plattenband, welches das Sperrgut mit variablen Geschwindigkeiten zur Zerkleinerung transportiert. Auf der Transportstrecke können Störstoffe mit einem Bagger auf dem Plattenband aussortiert werden.
Sperrmüllbunker	Kein Sperrmüllbunker, da direkte Beschickung der Zerkleinerung.
Zerkleinerung	Die Zerkleinerung wird mit dem Plattenband direkt vom Anlieferbunker beschickt. Der Durchsatz sollte etwa 100 t/h (im Endausbau 240 t/h) betragen, da nur eine kurzzeitige Stapelung für

	Betriebs und Gerüche bis etwa 1h auf dem Plattenband möglich ist.
Feinmüllbunker	Der Feinmüll fällt vom Zerkleinerer direkt in den Feinmüllbunker mit einem Nutzvolumen von 2'000m ³ , was im Endausbau einer Tagesmenge entspricht. Dort wird er wie bei Variante 1-SÜD von einem Sperrmüllkran aufgenommen und entweder in den Trichter der Ballenpresse geworfen oder über die Durchfahrt zum Kehrichtbunker transportiert. Der Abwurf erfolgt im ersten oder eventuell auch zweiten Abschnitt des Kehrichtbunkers, Alternativ kann ein Plattenband den Transport über die Durchfahrt übernehmen, der Feinmüll fällt dann nur in den äussersten Abschnitt des Bunkers.
Vermischung	Die Vermischung erfolgt im südlichen Teil des Kehrichtbunkers, in dem der Sperrgut Kran den Feinmüll über die Haushaltsabfälle verteilt.
Verbrennung	Der Kran im Kehrichtbunker nimmt das Brennstoffgemisch und fördert es in die Trichter der Verbrennung.
Ballenpresse	Die Ballenpresse befindet sich neben dem Feinmüllbunker, sie wird mit dem Sperrmüllkran beschickt
Ballenlager	Kapazität ca. 3'000 t.
Magnetabscheider	Wird bei Bedarf am Austritt des Schredders installiert. Der Schrott wird in Mulden abgeworfen.
Kapazitätserhöhung auf 115'000 t/a	– Zweiter Anlieferbunker mit Zuführband – Zweiter Schredder – Verschiebung des Ballenlagers an einen anderen Standort

4.5 Variante 4-SÜD

4.5.1 Aufstellung

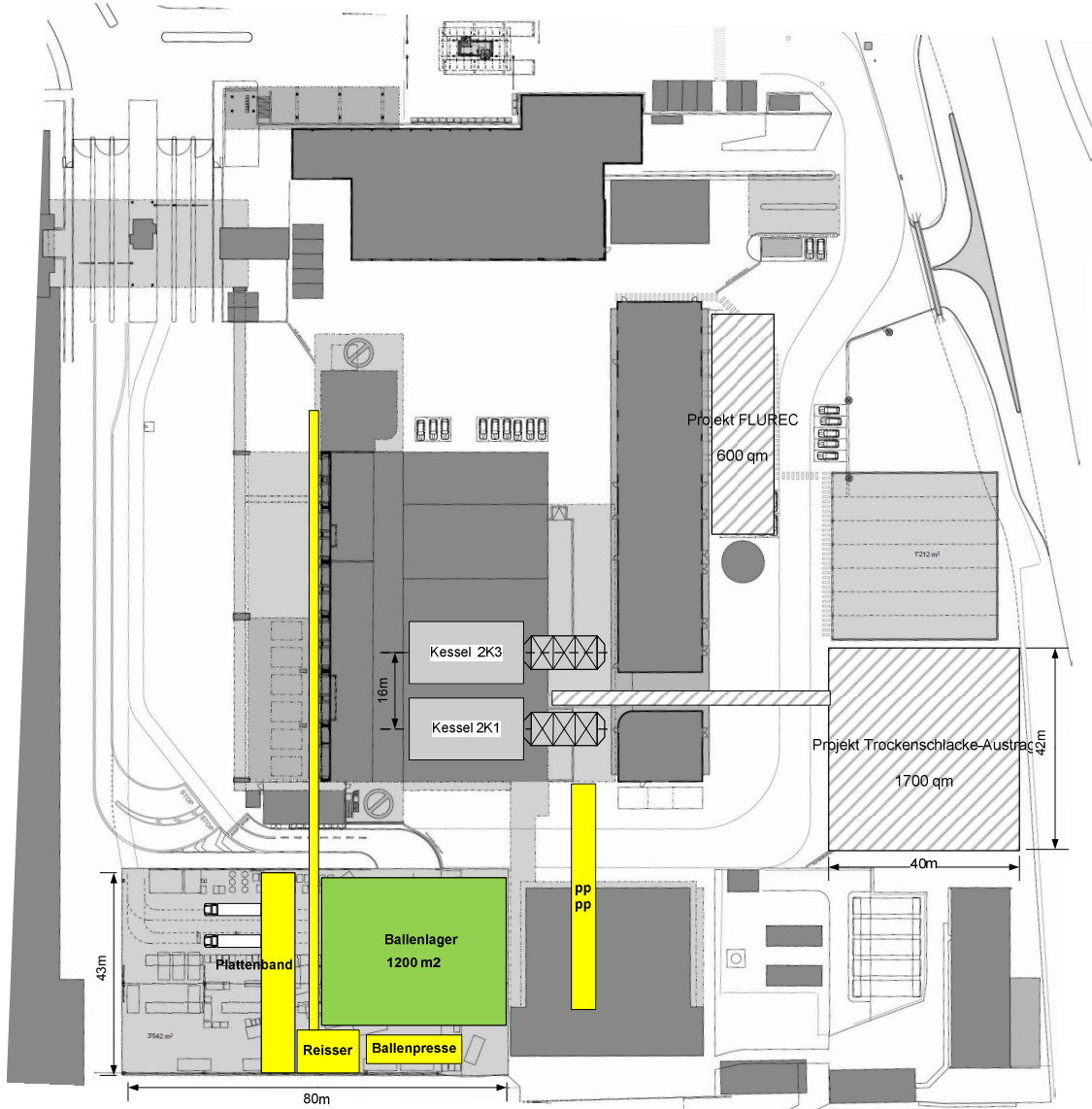


Abbildung 4.7 Aufstellung Variante 4-SÜD

4.5.2 Verfahrensbeschreibung

Sperrgutannahme	Anlieferbunker, wie Variante 3-SÜD.
Sperrmüllbunker	Kein Sperrmüllbunker.
Zerkleinerung	Direkte Beschickung mit Plattenband aus Anlieferbunker, wie Variante 3-SÜD.
Feinmüllbunker	Kein Feinmüllbunker.
Vermischung	Der Feinmüll wird direkt auf ein Förderband für den Transport zum Kehrlichtbunker geworfen, wie Variante 2-SÜD.
Verbrennung	Vermischung durch den Kehrlichtkran, wie Variante 2-SÜD.

Ballenpresse	Neben dem Zerkleinerer, wie Variante 2-SÜD.
Ballenlager	Kapazität für etwa 3'000 t in Ballen.
Magnetabscheider	Mit Überbandmagnet, wie Variante 2-SÜD.
Kapazitätserhöhung auf 115'000 t/a	Zweiter Anlieferbunker mit Zuführband und zweiter Schredder. Verschiebung des Ballenlagers an einen anderen Standort

4.5.3 Varianten für Aufgabe in den Kehrlichtbunker

Transport unterhalb oder oberhalb der Leitwarte, wie Variante 2-SÜD.

4.6 Variante 1-NORD

4.6.1 Aufstellung

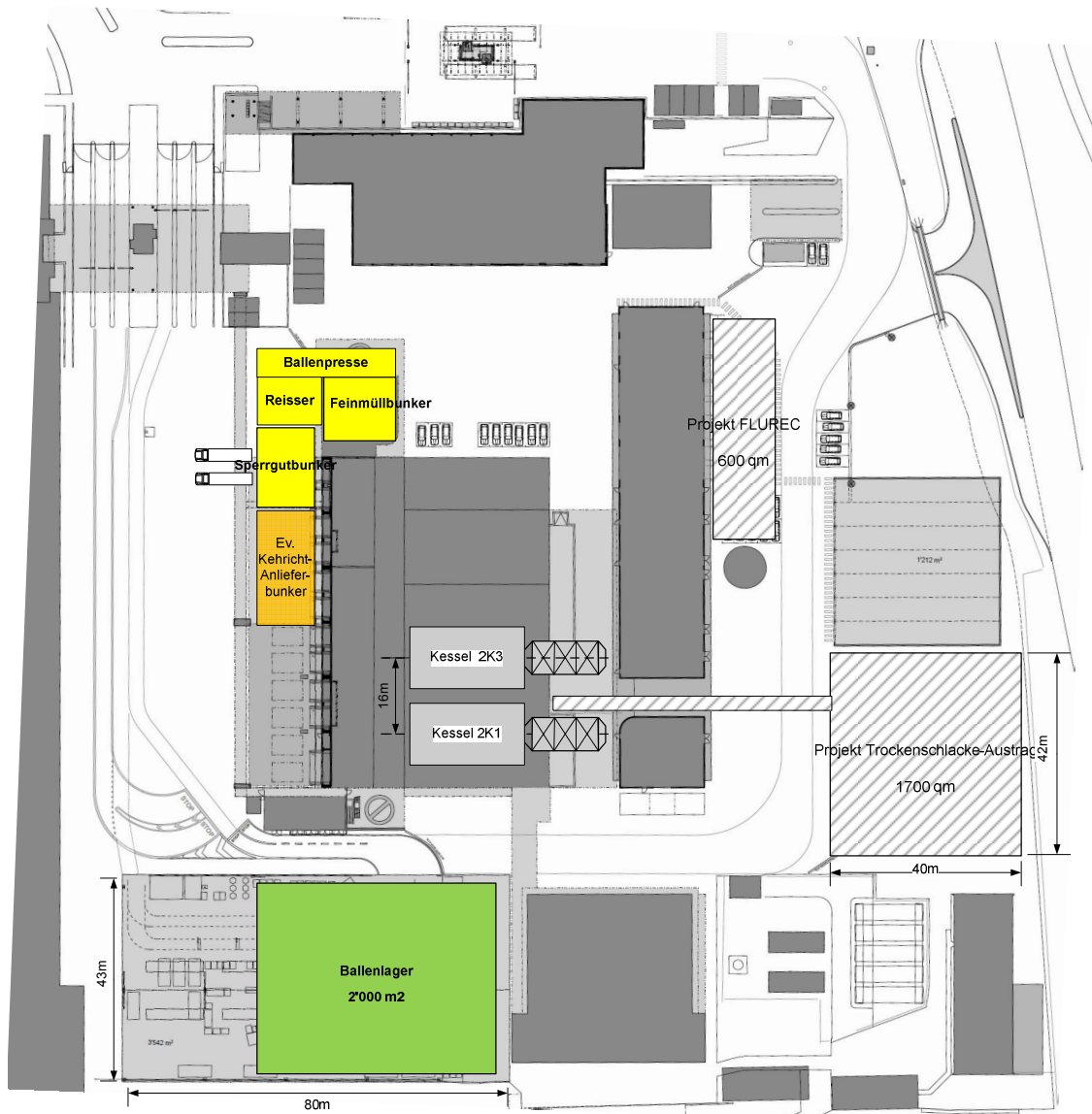


Abbildung 4.8 Aufstellung Variante 1-NORD

4.6.2 Verfahrensbeschreibung

Sperrgutannahme	Die Anlieferfahrzeuge mit Mulden kippen ihren Inhalt durch mehrere Rutschen in einen neuen Sperrmüllbunker, der vor den Kehrichtbunker gesetzt wird. Kleinmengen werden über spezielle Trichter angenommen und ebenfalls in diesen Bunker geführt.
Sperrmüllbunker	Der Bunker hat ein Nutzvolumen von 1'600 m ³ bis zur Abkippebene. Dies genügt bei 2 Verbrennungslinien für 2,5 Tage. Bei 3 Verbrennungslinien müsste der Bunker täglich leergeräumt oder dann verlängert werden. Diese Bunkerverlängerung könnte auch als Anlieferbunker für die Haushaltsabfälle genutzt werden. Das Sperrgut wird mit einem Sperrmüllkran vorsortiert und dann in den Trichter der Zerkleinerung geworfen. Störstoffe werden vom Kran in eine Mulde abgeladen.
Zerkleinerung	Die Zerkleinerung ist zwischen dem Sperrmüllbunker und dem Feinmüllbunker eingebaut, sie wird mit dem Bunkerkrane beschickt. Die Variante 1-NORD ermöglicht wahlweise den 8h oder 24h-Betrieb, es genügt ein Zerkleinerer, welcher bereits für den Endausbau dimensioniert ist, oder dann durch ein zweites Aggregat ergänzt wird.
Feinmüllbunker	Der Feinmüll fällt vom Zerkleinerer in den bestehenden Bunker Nord, der nicht mehr zur Stapelung von Haushaltsabfällen zur Verfügung steht. Der Feinmüll wird mit dem Kehrichtkran entweder in den Trichter der Ballenpresse unter dem Bunkerrohr geworfen, oder in den übrigen Bunkerabschnitten über die Haushaltsabfällen verteilt
Vermischung	Der Kehrichtkran verteilt den Feinmüll über die Haushaltsabfälle.
Verbrennung	Der Kehrichtkran fördert das Brennstoffgemisch in die Trichter der Verbrennung.
Ballenpresse	Die Ballenpresse befindet sich unter dem Bunkerrohr Nord, sie wird mit dem Kehrichtkran beschickt.
Magnetabscheider	Wird bei Bedarf am Austritt des Schredders installiert. Der Schrott wird in Mulden abgeworfen.
Kapazitätserhöhung auf 115'000 t/a	– zweiter Schredder, abhängig von Leistung/Verfügbarkeit der ersten Ausbaustufe – eventuell Verlängerung des Sperrmüllbunkers

4.7 Variante 2-NORD

4.7.1 Aufstellung

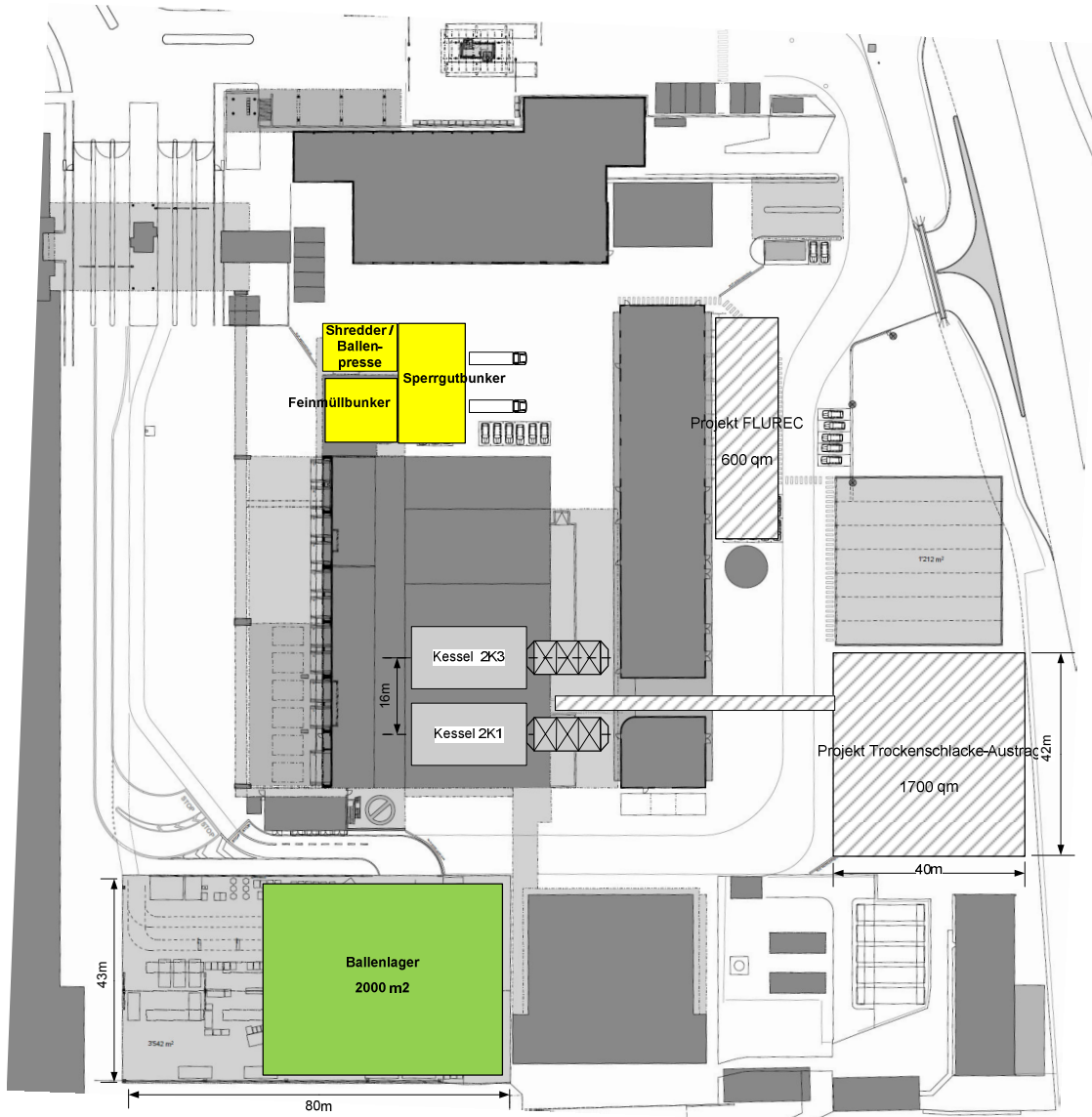


Abbildung 4.9 Aufstellung Variante 2-NORD

4.7.2 Verfahrensbeschreibung

Sperrgutannahme	Die Anlieferfahrzeuge kippen ihren Inhalt durch mehrere Rutschen in einen neuen Sperrmüllbunker.
Sperrmüllbunker	Der Sperrmüllbunker steht neben dem Bunker Nord, er hat ein Nutzvolumen von 2'800 m3 bis zur Abkippebene. Diese Kapazität genügt bei zwei Verbrennungslinien für 3,5 Tage, im Endausbau wird sie auf 2 Tage reduziert. Das Sperrgut wird mit einem Kehrlichtkran vorsortiert und dann in den Trichter des Schredders auf der Einfüll Ebene geworfen. Störstoffe werden vom Kran in eine Mulde abgeladen.
Zerkleinerung	Die Zerkleinerung wird im bestehenden Bunkers Nord eingebaut. Diese Variante ermöglicht wahlweise den 8h oder 24h-Betrieb, es genügt ein Zerkleinerer,

	welcher bereits für den Endausbau dimensioniert ist, oder dann durch ein zweites Aggregat ergänzt wird.
Feinmüllbunker	Der Feinmüll fällt vom Zerkleinerer in den bestehenden Bunker Nord, oder direkt in die Ballenpresse.
Vermischung	Der Kehrichtkran verteilt den Feinmüll im Kehrichtbunker oder transportiert ihn zum Trichter der Ballenpresse.
Verbrennung	Der Kehrichtkran fördert das Brennstoffgemisch in die Trichter der Verbrennung.
Ballenpresse	Die Ballenpresse befindet sich unter dem Bunkerohr des Bunkers Nord, sie entweder direkt vom Schredder oder mit dem Kehrichtkran beschickt. Der Krangreifer wird nach oben über eine neue Krangarage auf dem Dach des Kehrichtbunkers ausgehoben.
Ballenlager	Kapazität 4'000 t in Ballen oder mehr.
Magnetabscheider	Nicht vorgesehen.
Kapazitätserhöhung auf 115'000 t/a	Nachrüstung zweiter Schredder, abhängig von Leistung/Verfügbarkeit der ersten Ausbaustufe

4.8 Variante 3-NORD

4.8.1 Aufstellung

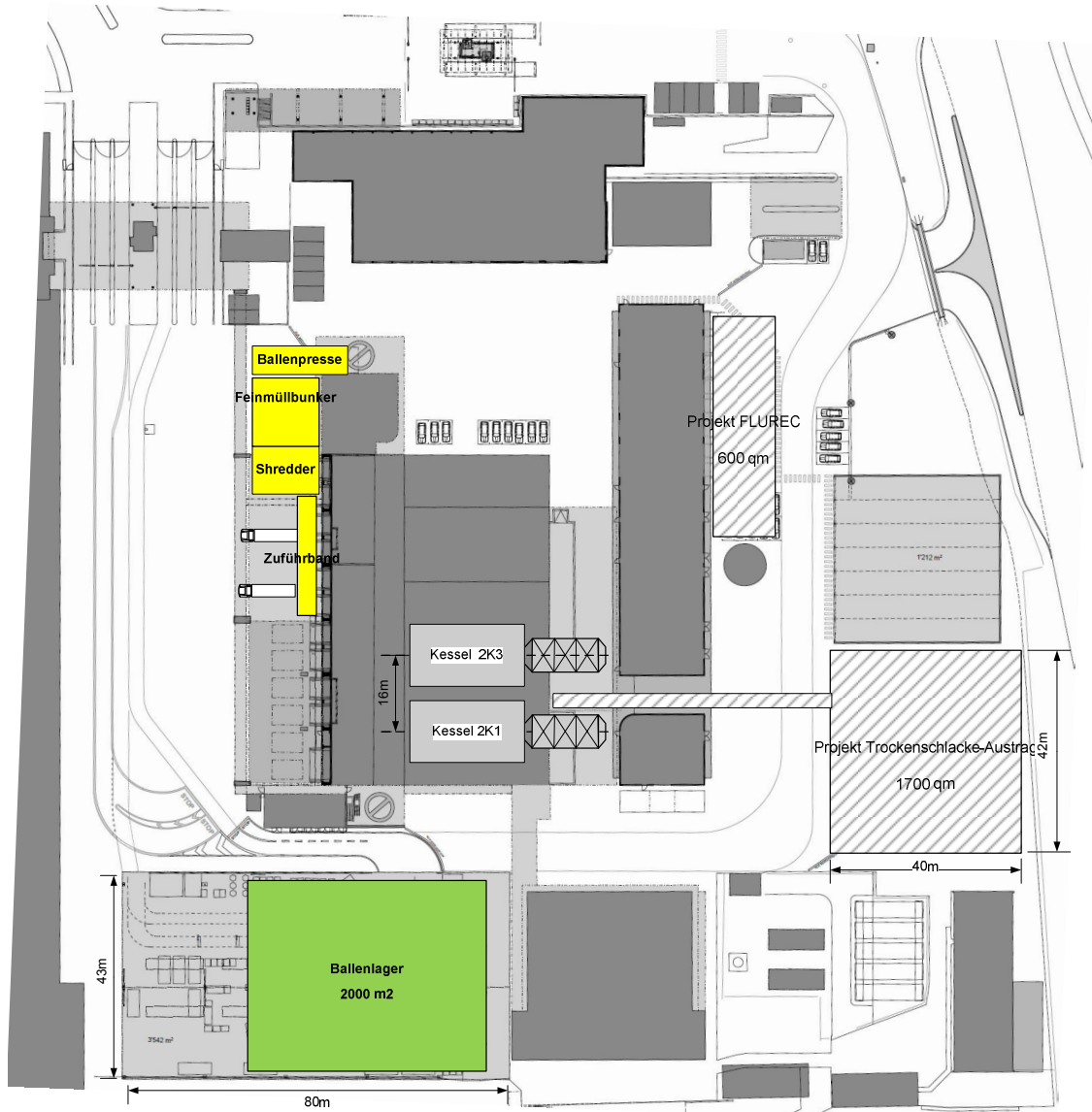


Abbildung 4.10 Variante 3-NORD

4.8.2 Verfahrensbeschreibung

Sperrgutannahme	Die Fahrzeuge entladen das Sperrgut auf ein Zuführband. Störstoffe können mit einem Bagger aussortiert werden.
Sperrmüllbunker	Kein Sperrmüllbunker, da direkte Beschickung der Zerkleinerung.
Zerkleinerung	Die Zerkleinerung wird mit dem Plattenband direkt beschickt.
Feinmüllbunker	Der Feinmüll fällt vom Zerkleinerer in einen neuen Feinmüllbunker mit einem Nutzvolumen von etwa 2'500m3, was in der ersten Ausbaustufe einer Kapazität von 4 Tagen entspricht. Der Feinmüll wird von einem Bunkerkran aufgenommen und entweder in Rutschen zum Bunker Nord oder in den Trichter der Ballenpresse geworfen.

Vermischung	Die Vermischung erfolgt mit dem Kehrichtkran, der den Feinmüll aus dem Bunker Nord über die Haushaltsabfälle verteilt.
Verbrennung	Der Kehrichtkran nimmt das Brennstoffgemisch und fördert es in die Trichter der Verbrennung.
Ballenpresse	Die Ballenpresse befindet sich in der Verlängerung des Feinmüllbunkers, sie wird über einen Trichter mit dem Bunkerkran beschickt.
Magnetabscheider	Wird bei Bedarf am Austritt des Schredders installiert. Der Schrott wird in Mulden abgeworfen.
Kapazitätserhöhung	Ersatz oder Ergänzung durch eine andere Variante. auf 115'000 t/a

4.9 Variante 4-NORD

4.9.1 Aufstellung

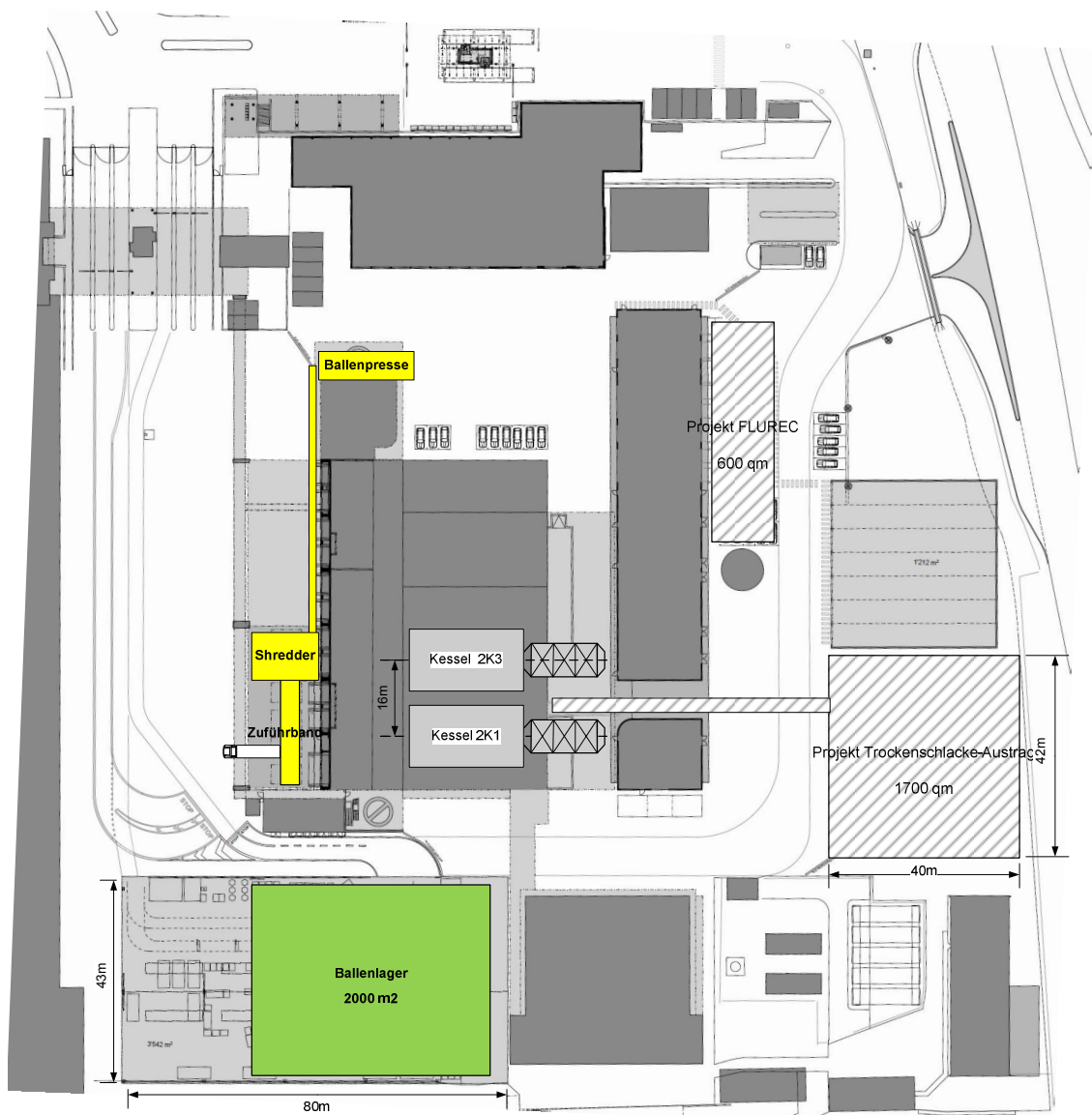


Abbildung 4.11 Variante 4-NORD

4.9.2 Verfahrensbeschreibung

Sperrgutannahme	Wie Variante 3-NORD
Sperrmüllbunker	Kein Sperrmüllbunker, da direkte Beschickung der Zerkleinerung.
Zerkleinerung	Die Zerkleinerung wird mit dem Plattenband direkt beschickt.
Feinmüllbunker	Der Feinmüll wird direkt auf ein Förderband für den Transport zum Kehrichtbunker geworfen, wie Variante 2-SÜD.
Vermischung	Die Vermischung erfolgt mit dem Kehrichtkran, der die Abwurfstellen räumt und den Feinmüll über die Haushaltsabfälle verteilt.
Verbrennung	Der Kran im Kehrichtbunker nimmt das Brennstoffgemisch und fördert es in die Trichter der Verbrennung.
Ballenpresse	Die Ballenpresse befindet sich in der Verlängerung des Feinmüllbunkers, sie wird über einen Trichter mit dem Bunkerkrane beschickt.
Magnetabscheider	Wird bei Bedarf am Austritt des Schredders installiert. Der Schrott wird in Mulden abgeworfen.
Kapazitätserhöhung	Ersatz oder Ergänzung durch eine andere Variante. auf 115'000 t/a

5. Variantenvergleich der Sperrgut-Behandlung

5.1 Rekapitulation der geprüften Varianten

Variante	Sperrgutannahme	Zerkleinerung	Feinmüllbunker	Transport zu Kehrlichtbunker
1-SÜD	Neuer Tiefbunker bei Recyclinghof	Reisser od. Rotorschere	Neuer Tiefbunker bei Recyclinghof	Kran oder Plattenband
2-SÜD	Neuer Tiefbunker bei Recyclinghof	Reisser od. Rotorschere	--	Förderband
3-SÜD	Plattenband bei Recyclinghof	Reisser od. Rotorschere	Neuer Tiefbunker bei Recyclinghof	Kran oder Plattenband
4-SÜD	Plattenband bei Recyclinghof	Reisser od. Rotorschere	--	Förderband
1-NORD	Neuer Tiefbunker vor dem Kehrlichtbunker	Reisser od. Rotorschere	Vorhandener Kehrlichtbunker Nord Kehrlichtkran	
2-NORD	Neuer Tiefbunker hinter dem Kehrlichtbunker	Reisser od. Rotorschere	Vorhandener Kehrlichtbunker Nord Kehrlichtkran	
3-NORD	Plattenband vor dem Kehrlichtbunker	Reisser od. Rotorschere	Neuer Tiefbunker vorgelagert dem Kehrlichtbunker	Kran oder Plattenband
4-NORD	Plattenband vor dem Kehrlichtbunker	Reisser od. Rotorschere	--	Förderband

Tabelle 5.1 Rekapitulation der Varianten

5.2 Kostenschätzung

5.2.1 Kostenschätzung der Technik

Die Kostenangaben der Verfahrenstechnik beruhen auf Richtofferten für die Aufbereitungs- und Transportanlagen. Für die Elektro-, MSR- und Leittechnik wurden 20% der verfahrenstechnischen Kosten aufgerechnet.

5.2.2 Kostenschätzung der Gebäude

Sämtliche Aufbereitungsschritte werden in geschlossenen Hallen mit Luftabsaugung und Filteranlagen durchgeführt, somit entstehen aus der Sperrgutbehandlung keine zusätzlichen Lärm- und Staubemissionen.

- Tiefbau Bunker 1'000 CHF/m³
- Hochbau Bunker 500 CHF/m³
- Einhausung Schredder, Ballenpresse 300 CHF/m³ (gedämmt)
- Stahlhalle Anlieferbereich, Ballenlager 200 CHF/m³
- Brandschutz und Haustechnik 15% der Gebäudekosten

5.2.3 Investitionen

Variante	1-SÜD	2-SÜD	3-SÜD	4-SÜD	1-NORD	2-NORD	3-NORD	4-NORD
Technik	5'500'000	6'000'000	5'600'000	5'600'000	4'500'000	4'500'000	5'600'000	5'100'000
Annahme und Zuführband	0	0	800'000	800'000	0	0	800'000	800'000
Reisser, inkl. Ersatztisch	1'200'000	1'200'000	1'500'000	1'500'000	1'200'000	1'200'000	1'500'000	1'500'000
Förderbänder, Verteilsystem	0	1'500'000	0	1'500'000	0	0	0	1'000'000
Bunkerkrananlagen	2'500'000	1'500'000	1'500'000	0	1'500'000	1'500'000	1'500'000	0
Ballenpresse, Eisenabscheider	1'500'000	1'500'000	1'500'000	1'500'000	1'500'000	1'500'000	1'500'000	1'500'000
Bagger oder Hydraulikkran	300'000	300'000	300'000	300'000	300'000	300'000	300'000	300'000
Bauwerke	15'700'000	10'200'000	14'600'000	8'600'000	12'400'000	13'500'000	11'600'000	7'200'000
Annahnebunker	0	0	1'000'000	1'000'000	0	0	500'000	500'000
Sperrgutbunker	2'000'000	2'500'000	0	0	5'000'000	6'000'000	0	0
Feinmüllbunker	3'000'000	0	3'000'000	0	0	0	4'000'000	0
Anpassung Kehrlichtbunker	3'500'000	1'000'000	3'500'000	1'000'000	1'000'000	1'000'000	1'000'000	1'000'000
Halle für Aufbereitung	1'800'000	1'800'000	1'800'000	1'800'000	1'300'000	1'300'000	1'000'000	1'000'000
Halle für Ballenlager	4'000'000	4'000'000	4'000'000	4'000'000	4'000'000	4'000'000	4'000'000	4'000'000
Brandschutz, Haustechnik	1'400'000	900'000	1'300'000	800'000	1'100'000	1'200'000	1'100'000	700'000
Reserven, Nebenkosten (10% von Investition)	2'100'000	1'600'000	2'000'000	1'400'000	1'700'000	1'800'000	1'700'000	1'200'000
TOTAL (CHF exkl MWST)	23'300'000	17'800'000	22'200'000	15'600'000	18'600'000	19'800'000	18'900'000	13'500'000

Tabelle 5.2 Investitionen der Varianten Sperrgut-Behandlung

Die Investitionen werden hauptsächlich durch die Bauten für Sperrgut- und Feinmüllbunker sowie durch die Halle für das Ballenlager bestimmt. Die technischen Einrichtungen sind bei allen Varianten in ähnlicher Größenordnung.

Mit einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren für technische Anlagen und 30 Jahre für Gebäude, und dem Kalkulationszinssatz 5% ergeben sich die spezifischen Kosten für die Behandlung von 47'500 t/a Sperrgut. Die Kosten für Personal und Betriebsmittel sind nicht berücksichtigt, weil diese schon heute schon benötigt werden.

Variante	Veränderung der Kosten für Sperrgutbehandlung CHF/a	Kostenerhöhung pro t Sperrgut CHF/t
1-SÜD	1'703'000	36
2-SÜD	1'363'000	29
3-SÜD	1'635'000	34
4-SÜD	1'206'000	25
1-NORD	1'361'000	29
2-NORD	1'440'000	30
3-NORD	1'421'000	30
4-NORD	1'053'000	22

Tabelle 5.3 Spezifische Kosten der Sperrgut Behandlung

5.3 Bewertungsschema

5.3.1 Muss-Kriterien

Die Sperrgut-Behandlung muss in der ersten Ausbautappe 47'500 t/a verarbeiten können, alle Varianten erfüllen diese Bedingungen. In Zukunft muss eine Erweiterung für 115'000 t/a machbar sein. Dies ist prinzipiell bei allen Varianten möglich, im Extremfall durch die Ergänzung mit einer anderen Variante oder den Ersatz.

5.3.2 Soll-Kriterien

Die Investitionen werden quantitativ verglichen:

- Die niedrigsten Kosten erhalten 3 Punkte, die höchsten Kosten erhalten 1 Punkt;
- Die Kosten dazwischen werden linear interpoliert.

Die Bewertung der qualitativen Kriterien erfolgt durch die Punkteverteilung:

- 3 Punkte Projektziele vollständig erfüllt
- 2 Punkte Projektziele weitgehend erfüllt, unwesentliche Mängel
- 1 Punkt Projektziele nicht erfüllt

5.4 Bewertungstabelle

Projektziele	Gewicht	Erfüllungsgrad der Varianten							
Variante		1- SÜD	2- SÜD	3- SÜD	4- SÜD	1- NORD	2- NORD	3- NORD	4- NORD
Investitionen	30%								
Geringe Investition für Grundausbau 47'500 t/a	30%	1.0	2.1	1.2	2.6	2.0	1.7	1.9	3.0
Integration in Entwicklung des KHKW	25%								
Keine Einschränkung der Arealentwicklung (3. Linie, Trockenschlacke-Austrag, Bunkererweiterung, FLUREC)	10%	2	3	2	3	1	1	1	1
Anlage erweiterbar bis 115'000 t/a	10%	3	3	3	3	2	2	2	1
Geringer Flächenverbrauch	5%	3	3	3	3	2	2	2	3
Betriebskonzept	25%								
Gleichmässige Vermischung mit Kehricht	10%	2	3	2	3	2	2	2	2
Geringer Personalbedarf für Bedienung	10%	1	2	2	3	1	2	1	3
Notbetrieb bei Ausfall der Aufbereitungsanlagen	5%	3	2	2	1	2	3	1	1
Logistik	20%								
Ausreichend Verkehrsfläche für Anlieferung, keine Behinderung der Verkehrswege	10%	3	3	3	2	1	4	2	2
2'000 m2 Freifläche für 4000t-Ballenlager	10%	2	2	1	1	3	3	3	3
TOTAL	100%	1.9	2.5	1.9	2.5	1.8	2.2	1.8	2.3
BESTVARIANTEN			1		1				

Tabelle 5.4 Bewertungstabelle Sperrgut-Behandlung

5.5 Vor- und Nachteile der Varianten

Variante	Wichtigste Vorteile	Wichtigste Nachteile
1-SÜD	<ul style="list-style-type: none"> – Stapelvolumen für Sperrgut und Feinmüll – Vorbereitet für Endausbau 115'000 t/a – Platz für Ballenlager 	<ul style="list-style-type: none"> – Sehr hohe Kosten – Vermischung der Abfälle beschränkt auf einen Bunkerabschnitt – Verbreiterung des Kehrichtbunkers nicht machbar – Störstoffabscheidung im Tiefbunker eingeschränkt
2-SÜD	<ul style="list-style-type: none"> – Stapelvolumen für Sperrgut – Vermischung der Abfälle in allen Bunkerabschnitten möglich – Platz für Ballenlager 	<ul style="list-style-type: none"> – Störstoffabscheidung im Tiefbunker eingeschränkt
3-SÜD	<ul style="list-style-type: none"> – Stapelvolumen im Feinmüllbunker 	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe Kosten – Vermischung der Abfälle beschränkt auf einen Bunkerabschnitt – Verbreiterung des Kehrichtbunkers nicht machbar – Kleineres Ballenlager
4-SÜD	<ul style="list-style-type: none"> – Niedrige Kosten – Vermischung der Abfälle in allen Bunkerabschnitten möglich 	<ul style="list-style-type: none"> – Kein Zwischenstapel für Sperrgut – Kleineres Ballenlager
1 Nord	<ul style="list-style-type: none"> – Stapelvolumen für Sperrgut – grosses Ballenlager 	<ul style="list-style-type: none"> – Umnutzung des Bunkers Nord als Feinmüllbunker – Annahme stört Ein- und Ausfahrt KHKW – Spätere Bunkervergrösserung wird erschwert – Störstoffabscheidung im Tiefbunker eingeschränkt
2-NORD	<ul style="list-style-type: none"> – Stapelvolumen für Sperrgut – grosses Ballenlager 	<ul style="list-style-type: none"> – Umnutzung des Bunkers Nord als Feinmüllbunker – wenig Manövrierfläche für Anlieferverkehr – Störstoffabscheidung im Tiefbunker eingeschränkt
3-NORD	<ul style="list-style-type: none"> – Zusätzliches Bunkervolumen für Feinmüll – sehr grosses Ballenlager 	<ul style="list-style-type: none"> – Endausbau für drei Verbrennungslinien nicht möglich – Annahme stört Ein- und Ausfahrt KHKW – Spätere Bunkervergrösserung wird erschwert
4-NORD	<ul style="list-style-type: none"> – Niedrigste Kosten – Geringe Baumassnahmen, rasch realisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> – Endausbau für drei Verbrennungslinien nicht möglich – Kein Zwischenstapel für Sperrgut

Tabelle 5.5 Vor- und Nachteile der Varianten

5.6 Ergebnis

- Die Varianten 2-SÜD und 4-SÜD erfüllen die Kriterien am besten.
- Die Variante 4-NORD hat die niedrigsten Kosten, ist aber nicht für 3 Verbrennungslinien geeignet. Sie ist deshalb als Übergangslösung von Interesse.

6. Bunkerkonzepte

Das vorhandene Bunkervolumen ist für die heutige Kehrichtmenge knapp ausreichend. Mit der Auslagerung der Sperrgutbehandlung wird sich die Situation verbessern. Im Falle einer Kapazitätserhöhung im KHKW (3. Verbrennungslinie) ist der vorhandene Kehrichtbunker aber zu klein.

Nachfolgend sind die Konzepte zur Bunkervergrößerung beschrieben und bewertet.

6.1 Vorhandener Bunker

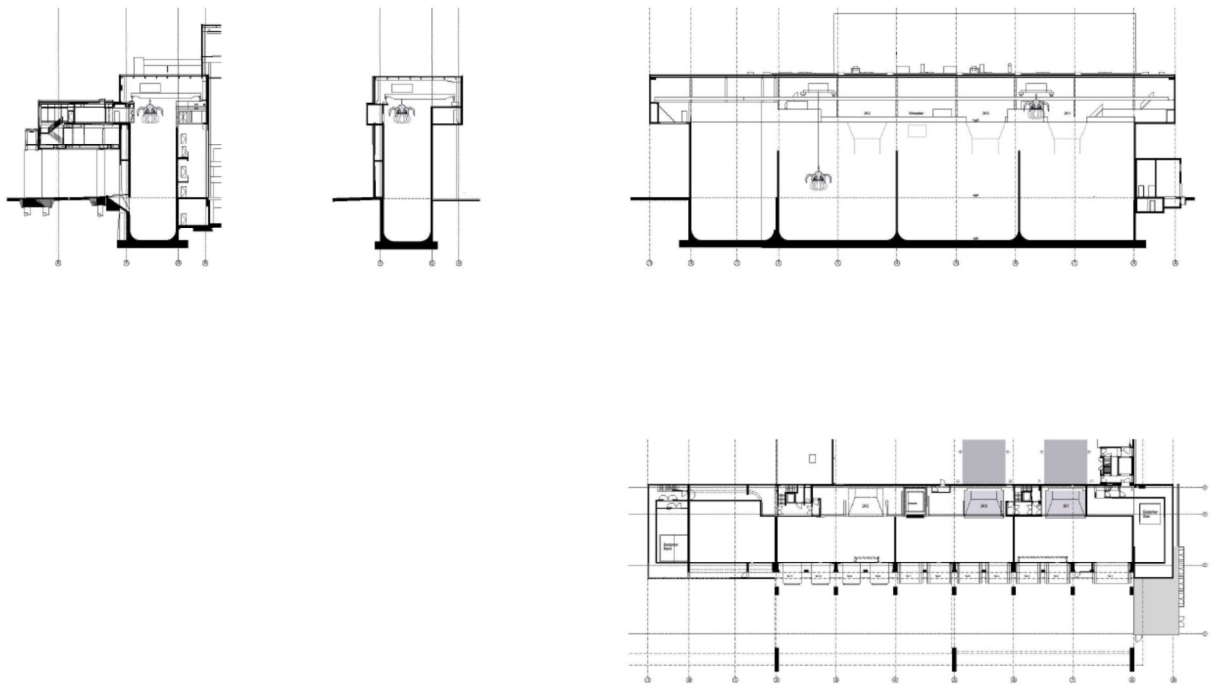


Abbildung 6.1 Heutiger Bunker

6.1.1 Beschreibung

Bunkervergrößerung	– Keine Änderung
Bunkerabschnitte	– 3 Abschnitte sind vorhanden; – vierter Abschnitt durch Trennwand bei Achse 6 ist geplant.
Kehrichtmenge	– Anlieferung IST = 240'000 t/a – nach Auslagerung der Sperrgutbehandlung werden noch 192'500 t/a direkt in den Bunker gekippt (ca. 800 t/Tag bei 5 Anliefertagen/Woche).
Abkippstellen	Keine Änderung
Stapelvolumen	Annahme: es wird in 2 von 4 Abschnitten gestapelt; Grundfläche je ca.200 m ² . – bis Kote ±0.00 2 × 1'700 m ³ – bis Kote +5.00 2 × 2'700 m ³ – bis Kote +9.00 2 × 3'500 m ³ – bis Kote +14.00 2 × 4'500 m ³
Sperrgutbehandlung	– Innerhalb Bunker, Durchsatz 13'000 t/a, – Auslagerung zur Behandlung von 47'500 t/a ausserhalb Bunker.
Vermischung mit zerkleinertem Sperrgut	Über Einwurfföffnungen (→ siehe Varianten Sperrgutbehandlung)

6.1.2 Kosten / Realisierung

Investition nur in Sperrgutbehandlung: → siehe Varianten Sperrgutbehandlung.

6.2 Vorbunker angebaut

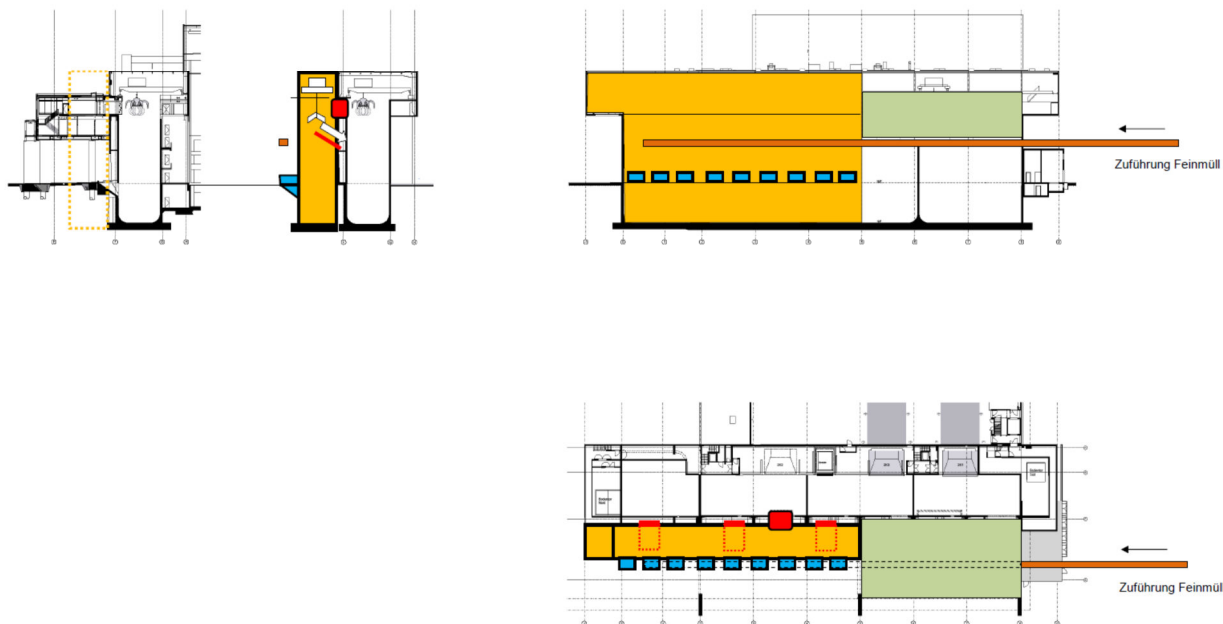


Abbildung 6.2 Vorbunker angebaut

6.2.1 Beschreibung

Vorbunker angebaut	<p>Anlieferbunker zwischen Achsen 0 ÷ 5</p> <ul style="list-style-type: none"> – Breite: ca. 7.0 m – Länge: ca. 51.0 m – Volumen bis Kote ±0.00: ca. 3'000 m³ – Volumen bis Kote -4.00: ca. 1'600 m³
Kehrichtmenge	230'000 T/a werden direkt in den Vorbunker gekippt (1'000 t/Tag bei 5 Anliefertagen/Woche).
Abkippstellen	9 Abkippstellen in den Vorbunker
Sperrgutbehandlung	Ausserhalb Bunker, Gesamtmenge 115'000 T/a
Zumischung Feinmüll	Das zerkleinerte Sperrgut wird über Förderbandsystem in den Vorbunker gefördert → siehe Varianten Sperrgutbehandlung.
Umschichten / Stapeln	<ul style="list-style-type: none"> – Der direkt angelieferte Kehricht und der dosierte Feinmüll werden aus dem Vorbunker mit einer zusätzlichen Krananlage über klappbare Rutschen in den bestehenden Bunker umgeschichtet; – Das Bunkerkompartiment Achse 6 ÷ 8 kann nicht direkt aus dem Vorbunker beschickt werden.
Leitstand	Der Leitstand bleibt unverändert
Kranführerstand	Der vorhandene Kranführerstand 2 wird vergrössert und nach Westen geöffnet.
Stapelvolumen im alten Bunker	<p>(Annahme: in 3 von 4 Abschnitten wird gestapelt; Grundfläche abgerundet je 200 m²).</p> <ul style="list-style-type: none"> – bis Kote ±0.00 3 × 1'700 m³ – bis Kote +5.00 3 × 2'700 m³ – bis Kote +9.00 3 × 3'500 m³ – bis Kote +14.00 3 × 4'500 m³

6.2.2 Kosten und Realisierung

Bauwerke	Anlieferbunker, Umbautes Volumen: ca. 16'000m ³ . – Tiefbau (bis Kote ±0.00): 4'500 m ³ à 1'000.- – Hochbau über Kote ±0.00: 11'500 m ³ à 500.-	10,0 Mio. CHF
Elektromechanischer Teil	Bunkertore, Krananlagen, Klappen, Brandschutz	7,0 Mio. CHF
Diverses	Baunebenkosten, Honorare: ca. 10 % der Investition	2,0 Mio. CHF
Investition		19,0 Mio. CHF
Ettappierung	Nicht erforderlich → zu überprüfen	
Bauzeit	Voraussichtlich > 1 Jahr, → zu überprüfen	
Betriebsbeeinträchtigung	- Direktannahme nur im Bereich unter Leitstand möglich - Feinmüllzugabe / Mischung während Bauzeit erschwert	
Logistik	Koordination von Anlieferung, Werkverkehr und Baustellenverkehr	
Ökonomie	Die wirtschaftlichen Folgen aus Betriebsbehinderungen sind in einer vertieften Phase zu berechnen.	

6.3 Variante 2: Vorbunker abgesetzt (mit Zwischenraum)

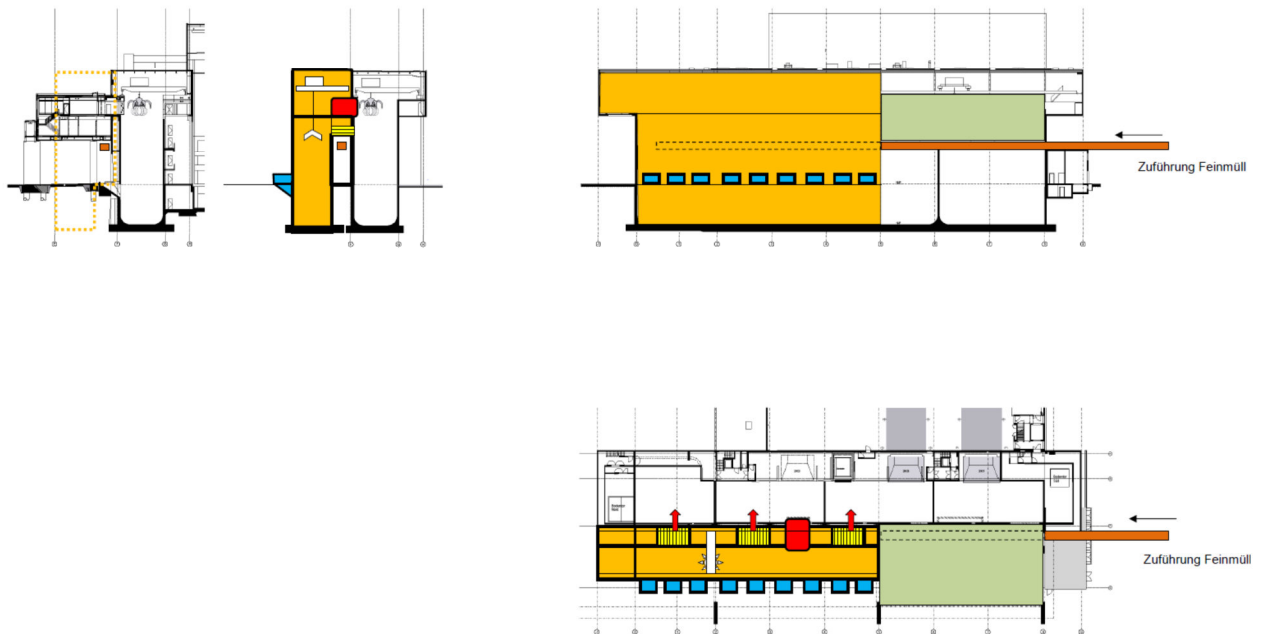


Abbildung 6.3 Vorbunker abgesetzt

6.3.1 Beschreibung

Vorbunker abgesetzt (mit Zwischenraum)	Annahmehunker zwischen Achse 0 ÷ 5 – Breite: ca. 7.0 m – Länge: ca. 51.0 m – Volumen bis Kote ±0.00: ca. 3'000 m ³ – Volumen bis Kote -4.00: ca. 1'600 m ³ Im Zwischenraum (ca. 5.0 m breit) können die Feinmüll- Zuteilbänder und die Schubbodenantriebe installiert werden.
Kehrichtmenge	230'000 T/a werden direkt in den Vorbunker gekippt. Die durchschnittliche Anliefermenge beträgt ca.1'000 Mg/d bei 5 Anliefertagen/Woche.
Abkippstellen	9 Abkippstellen in den Vorbunker möglich.
Sperrgutbehandlung	Ausserhalb Bunker, Gesamtmenge bis 115'000 T/a
Zumischung Feinmüll	Das zerkleinerte Sperrgut wird über Förderbandsystem in den Vorbunker oder in den Stapelbunker gefördert → siehe Varianten Sperrgutbehandlung.
Umschichten / Stapeln	Kehricht und Feinmüll werden aus dem Vorbunker mit einer zusätzlichen Krananlage über Schubböden in den bestehenden Bunker umgeschichtet (Mischung). Der Bunkerabschnitt Achse 6 ÷ 8 kann nicht direkt aus dem Vorbunker beschickt werden.
Leitstand	Der Leitstand bleibt unverändert
Kranführerstand	Der vorhandene Kranführerstand 2 wird vergrössert und nach Westen geöffnet.
Stapelvolumen im alten Bunker	Annahme: es wird in 3 von 4 Abschnitten gestapelt; Grundfläche je ca. 200 m ² . – bis Kote ±0.00 3 × 1'700 m ³ – bis Kote +5.00 3 × 2'700 m ³ – bis Kote +9.00 3 × 3'500 m ³ – bis Kote +14.00 3 × 4'500 m ³

6.3.2 Kosten und Realisierung

Kostenschätzung	Umbautes Volumen: ca. 28'000 m ³ . davon: – Tiefbau (bis Kote ±0.00): 7'500 m ³ à 1'000.- – Hochbau über Kote ±0.00: 20'500 m ³ à 500.-	15,0 Mio. CHF
Elektromechanischer Teil	Bunkertore, Krananlagen, Schubböden, Brandschutz	8,0 Mio. CHF
Diverses	Baunebenkosten, Honorare: ca. 10 % der Investition	3,0 Mio. CHF
Investition		26,0 Mio. CHF
Etap pierung	Voraussichtlich nicht erforderlich	
Bauzeit	Schätzungsweise 1 Jahr,	
Betriebsbeeinträchtigung	– Anlieferung nur im Bereich unter Leitstand möglich – Feinmüllzugabe / Mischung während Bauzeit erschwert	
Logistik	Koordination von Anlieferung, Werkverkehr und Baustellenverkehr	
Ökonomie	Die wirtschaftlichen Folgen aus Betriebsbehinderungen sind in einer vertieften Phase zu berechnen.	

6.4 Variante 3: Bunkerverbreiterung kurz

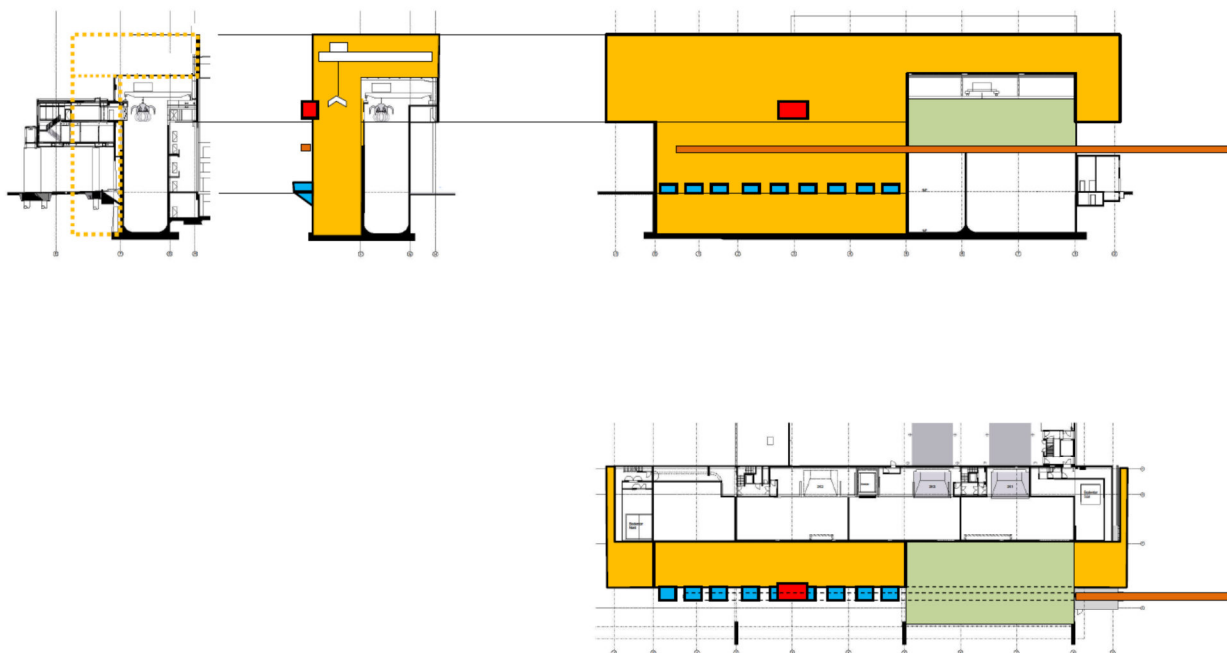


Abbildung 6.4 Bunkerverbreiterung kurz

6.4.1 Beschreibung

Bunkerverbreiterung kurz	<p>Verbreiterung um 9.0 m zwischen Achse 0 ÷ 5.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Bunkersohle Kote -8.50. – Nutzbare Länge ca. 51 m. – Volumen bis Kote ±0.00: ca. 3'900 m³ – Volumen bis Kote -4.00: ca. 2'000 m³ <p>Die bisherige Aussenwand bleibt als Trennwand zwischen altem und neuem Bunker bestehen.</p>
Kehrichtmenge	<p>230'000 t/a werden direkt in den verbreiterten Teil des Bunkers gekippt.</p> <p>Die durchschnittliche Anliefermenge beträgt ca.1'000 t/Tag bei 5 Tage/Woche.</p>
Abkipfstellen	9 Abkipfstellen im verbreiterten Bunker.
Sperrgutbehandlung	Ausserhalb Bunker, Gesamtmenge bis 115'000 t/a
Zumischung Feinmüll	<p>Das zerkleinerte Sperrgut wird im verbreiterten Teil des Bunkers zugemischt.</p> <p>→ siehe Varianten Sperrgutbehandlung</p>
Leitstand	Der Leitstand bleibt unverändert
Kranführerstand	Der Kranführerstand 2 wird neu an der Aussenwand des verbreiterten Bunkers angeordnet; gleiche Kote wie heute.
Bunkerabschnitte	Der bestehende Bunker behält seine 4 Abschnitte.
Stapelvolumen im alten Bunker	<p>Annahme: es wird in 3 von 4 Abschnitten gestapelt; Grundfläche je ca. 200 m².</p> <ul style="list-style-type: none"> – bis Kote ±0.00 3 × 1'700 m³ – bis Kote +5.00 3 × 2'700 m³ – bis Kote +9.00 3 × 3'500 m³ – bis Kote +14.00 3 × 4'500 m³

6.4.2 Kosten und Realisierung

Kostenschätzung	Umbautes Volumen: ca. 56'000m ³ : – Tiefbau (bis Kote ±0.00): 6'000 m ³ à 1'000.- – Hochbau über Kote ±0.00: 50'000 m ³ à 500.-	30,0 Mio. CHF
Elektromechanischer Teil	Bunkertore, Neue Krananlage + 3. Kran in Reserve, Brandschutz	10,0 Mio. CHF
Diverses	Baunebenkosten, Honorare: ca. 10 % der Investition	4,0 Mio. CHF
Investition		44,0 Mio. CHF
Etap pierung	Zwingend erforderlich, z.B. – Etappe 1 Achse 0 ÷ 5 und – Etappe 2 Achsen 5 ÷ 9	
Bauzeiten	Geschätzt 1 Jahr je Etappe, d.h.2 Jahre	
Betriebsbeeinträchtigung	– Direktannahme nur in Teilbereich möglich – Feinmüllzugabe während Bauzeit erschwert – Betriebsunterbruch für Rückbau Bunkerdach und Krananlage	
Logistik	Koordination von Anlieferung, Werkverkehr und Baustellenverkehr	
Ökonomie	Die wirtschaftlichen Folgen aus Betriebsbehinderungen und Betriebsunterbrüchen sind in einer vertieften Phase zu berechnen.	

6.5 Variante 4: Bunkerverbreiterung lang

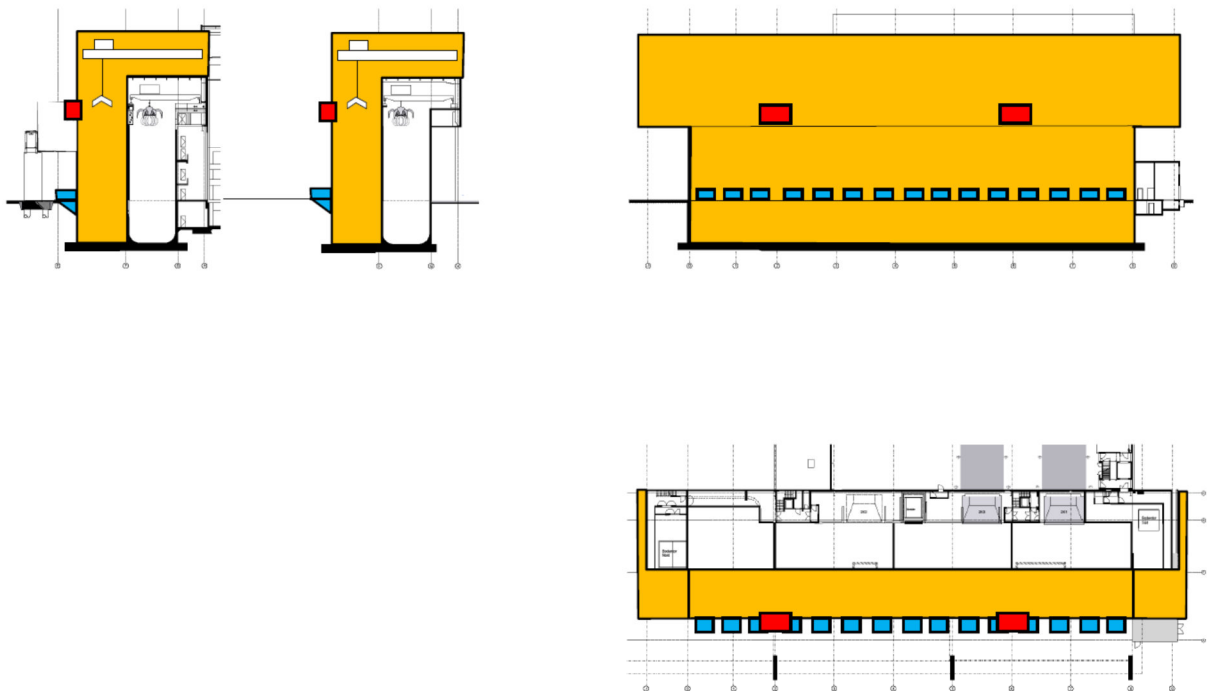


Abbildung 6.5 Bunkerverbreiterung lang

6.5.1 Beschreibung

Bunkerverbreiterung lang	Verbreiterung um 9.0 m zwischen Achse 0 ÷ 8. – Bunkersohle Kote -8.50. – Nutzbare Länge ca. 86 m. – Volumen bis Kote ±0.00: ca. 6'500 m ³ – Volumen bis Kote -4.00: ca. 3'200 m ³ Die bisherige Aussenwand bleibt als Trennwand zwischen altem und neuem Bunker.
---------------------------------	---

Kehrichtmenge	230'000 t/a werden direkt in den verbreiterten Teil des Bunkers gekippt. Die durchschnittlich Anliefermenge beträgt gegen 1'000 t/d bei 5 Anliefertagen/Woche.
Abkippstellen	Bis 15 Abkippstellen im verbreiterten Bunker möglich.
Sperrgutbehandlung	Ausserhalb Bunker oder Integriert in Bunkerverbreiterung, Gesamtmenge 115'000 t/a.
Zumischung Feinmüll	Das zerkleinerte Sperrgut wird im verbreiterten Teil des Bunkers zugemischt.
Leitstand	Der Leitstand muss verschoben werden, z.B. 10.0 m Richtung Westen (Logistikzentrum); Abstützung auf zusätzlichen Stützen (Verkehrsteiler) im Verkehrsbereich.
Kranführerstände	Der Kranführerstände werden neu an der Aussenwand des verbreiterten Bunkers angeordnet; gleiche Kote wie heute.
Bunkerabschnitte	Der bestehende Bunker behält seine 4 Abschnitte.
Stapelvolumen im alten Bunker	(Annahme: es wird in 3 von 4 Abschnitten gestapelt; Grundfläche gerundet je 200 m ²). - bis Kote ±0.00 3 × 1'700 m ³ - bis Kote +5.00 3 × 2'700 m ³ - bis Kote +9.00 3 × 3'500 m ³ - bis Kote +14.00 3 × 4'500 m ³

6.5.2 Kosten und Realisierung

Kostenschätzung	Umbautes Volumen: ca. 70'000m ³ : – Tiefbau (bis Kote ±0.00): 10'000 m ³ à 1'000.- – Hochbau über Kote ±0.00: 60'000 m ³ à 500.-	40,0 Mio. CHF
Elektromechanischer Teil	Bunkertore, Neue Krananlage + 3. Kran in Reserve, Brandschutz	12,0 Mio. CHF
Leitstand	Verschiebung oder Neubau der Warte Anpassung der Technischen Installationen / Verkabelung	5,0 Mio. CHF
Diverses	Baunebenkosten, Honorare: ca. 10 % der Investition	6,0 Mio. CHF
Investition	Bunkerverbreiterung lang	63,0 Mio. CHF
Etap pierung	Zwingend erforderlich, z.B. – Etappe 1 bis Achse 0 ÷ 5 und – Etappe 2 Achsen 5 ÷ 9	
Bauzeiten	Geschätzt 1-2 Jahre je Etappe, d.h. etwa 3 Jahre	
Betriebsbeeinträchtigung	– Anlieferung nur in Teilbereich möglich – Feinmüllzugabe während Bauzeit erschwert – Betriebsunterbrüche für Rückbau altes Bunkerdach und alte Krananlage	
Logistik	Koordination von Anlieferung, Werkverkehr und Baustellenverkehr	
Ökonomie	Die wirtschaftlichen Folgen aus Betriebsbehinderungen und Betriebsunterbrüchen sind in einer vertieften Phase zu berechnen.	

7. Variantenvergleich der Bunkerkonzepte

7.1 Kostenschätzung

Die Kosten sind auf Basis der Kubaturen von Tiefbau und Hochbau sehr grob geschätzt, sie dienen nur dem Vergleich. Für verlässliche Angaben sind weitergehende Studien zur Baukonstruktion und statische Berechnungen notwendig.

	Bunker heute	Vorbunker schmal	Vorbunker breit	Verbreiterung kurz	Verbreiterung lang
Bunkergebäude und Ausrüstung	--	19 Mio. CHF	26 Mio. CHF	44 Mio. CHF	63 Mio. CHF
Sperrgutannahme und -behandlung	extern	extern	extern	extern	integrierbar

Tabelle 7.1 Baukostenschätzung Bunkerkonzepte

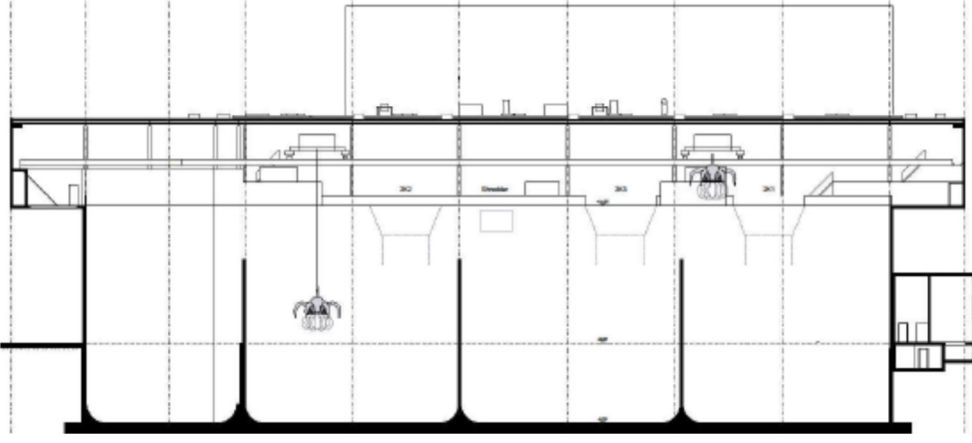
7.2 Bunkerbewirtschaftungs-Konzepte

7.2.1 Bewirtschaftung des bestehenden Bunkers

In der Tabelle sind die Funktionen der verschiedenen Bunkerabschnitte in Abhängigkeit von der Variante der Sperrgut-Behandlung dargestellt. Der Ablauf ist wie folgt:

- die Hausabfälle werden in einen Anlieferbunker gekippt;
- dort werden sie vom Kehrichtkran aufgenommen und in einen Mischbunker transportiert;
- im Mischbunker wird das zerkleinerte Sperrgut über die Haushaltsabfälle verteilt;
- der gefüllte Mischbunker dient als Brennstoffbunker für die automatische Beschickung der Feuerungen.

Je nach Variante kann ein Bunkerabschnitt eine oder wechselweise mehrere Funktionen übernehmen.

				
Sperrgutbehandlung Variante	Abschnitt 1 (Bunker Nord)	Abschnitt 2	Abschnitt 3	Abschnitt 4
1-SÜD	Stapelbunker	Anlieferbunker	Mischbunker / Brennstoffbunker	Mischbunker / Brennstoffbunker
2-SÜD	Stapelbunker oder Mischbunker / Brennstoffbunker	Anlieferbunker oder Mischbunker / Brennstoffbunker	Anlieferbunker oder Mischbunker / Brennstoffbunker	Anlieferbunker oder Mischbunker / Brennstoffbunker
3-SÜD	Stapelbunker	Anlieferbunker	Mischbunker / Brennstoffbunker	Mischbunker / Brennstoffbunker

4-SÜD	Misch- oder Stapelbunker	Anlieferbunker oder Mischbunker / Brennstoffbunker	Anlieferbunker oder Mischbunker / Brennstoffbunker	Anlieferbunker oder Mischbunker / Brennstoffbunker
1-NORD	Feinmüllbunker	Mischbunker / Brennstoffbunker	Anlieferbunker	Mischbunker / Brennstoffbunker
2-NORD	Feinmüllbunker	Anlieferbunker oder Mischbunker / Brennstoffbunker	Anlieferbunker oder Mischbunker / Brennstoffbunker	Mischbunker / Brennstoffbunker
3-NORD	Mischbunker / Brennstoffbunker	Mischbunker / Brennstoffbunker	½ Anlieferbunker ½ Stapelbunker	Anlieferbunker

7.2.2 Bewirtschaftung des vergrösserten Bunkers

Das Prinzip der Bewirtschaftung bleibt grundsätzlich gleich. Der wesentliche Unterschied besteht darin, dass der Anlieferbunker neu erstellt wird. Damit steht mehr Volumen für die Mischbunker / Brennstoffbunker zur Verfügung.

7.3 Kombinationen von Sperrgutbehandlung und Bunkerkonzept

Nicht alle Varianten der Sperrgut Behandlung lassen sich mit allen Bunkerkonzepten kombinieren:

- die Varianten 1-SÜD und 3-SÜD, welche die Einbringung des Feinmülls durch das südliche Bunkerrohr vorsehen, lassen sich bei einer Kranbahnverlängerung nicht mit einer späteren Bunkerverbreiterung kombinieren;
- bei den Varianten mit Förderband für den Feinmülltransport zum Bunker muss dieses entsprechend umgebaut oder verschoben werden.
- die Varianten 1-NORD und 2-NORD verunmöglichen teilweise die spätere Bunkererweiterung.

Sperrgut-Behandlung	Bunkerkonzept				
	Bunker heute	Vorbunker angebaut	Vorbunker abgesetzt	Verbreiterung kurz	Verbreiterung lang
Variante 1-SÜD	Ja	Ja	Ja	Nur bei Feinmüllzufuhr mit Plattenband	Nur bei Feinmüllzufuhr mit Plattenband
Variante 2-SÜD	Ja	Feinmüll-Förderband anpassen	Feinmüll-Förderband anpassen	Feinmüll-Förderband anpassen	Feinmüll-Förderband anpassen
Variante 3-SÜD	Ja	JA	JA	Nur bei Feinmüllzufuhr mit Plattenband	Nur bei Feinmüllzufuhr mit Plattenband
Variante 4-SÜD	Ja	Feinmüll-Förderband anpassen	Feinmüll-Förderband anpassen	Feinmüll-Förderband anpassen	Feinmüll-Förderband anpassen
Variante 1-NORD	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Variante 2-NORD	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Variante 3-NORD	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein

7.4 Bewertungstabelle

Es wird das gleiche Bewertungsschema wie bei der Sperrgut-Behandlung angewendet, mit Punktzahlen zwischen 1 (ungeeignet) bis 3 (sehr gut geeignet).

Projektziele	Gewicht	Erfüllungsgrad der Varianten				
Variante		Kein Umbau	Vorbunker angebaut	Vorbunker abgesetzt	Bunker-verbreiterung kurz	Bunker-verbreiterung lang
Kosten	30%					
Niedrige Investitionen	20%	3.0	2.4	2.2	1.6	1.0
Niedrige spezifische Kosten des Zusatzvolumens	10%	1	2	2	1	2
Betriebskonzept	40%					
Konzept und Bedienung für heutige Abfallmenge (2 Linien) (Sperrgutbehandlung extern)	20%	2	2	2	3	3
Konzept und Bedienung für 3 Verbrennungslinien (Sperrgutbehandlung extern)	20%	0	2	2	2	3
Logistik	20%					
Manövrierfläche für Fahrzeuge Keine Störung der Verkehrswege	20%	3	2	1	2	2
Bauvorgang	10%					
Keine Betriebsunterbrüche während Umbau Wenig Provisorien	10%	3	2	2	1	1
TOTAL	100%	1.9	2.1	1.8	1.9	2.1
BESTVARIANTEN			1			1

Tabelle 7.2 Bewertung der Bunkerkonzepte

7.5 Wesentliche Vor- und Nachteile der Varianten

Mit der vorgegebenen Gewichtung der Kriterien liegen die Varianten sehr nahe beieinander.

Variante	Wichtigste Vorteile	Wichtigste Nachteile
Keine Vergrößerung	<ul style="list-style-type: none"> Keine Kosten Keine Umbaumaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> Volumen genügt nicht für 3. Verbrennungslinie
Vorbunker angebaut	<ul style="list-style-type: none"> Niedrige Kosten Getrennter Anlieferbunker erleichtert Bunkerbewirtschaftung 	<ul style="list-style-type: none"> Abfallhandling mit zwei Krananlagen und Übergabestellen Abkippstellen verengen den Verkehr zu Fahrzeugwaagen Massnahmen und Kosten zur Stabilisierung des Bestandsbunkers während des Anbaus
Vorbunker abgesetzt	<ul style="list-style-type: none"> Realisierung eventuell ohne Änderung des vorhandenen Bunkers machbar Getrennter Anlieferbunker erleichtert Bunkerbewirtschaftung 	<ul style="list-style-type: none"> Abfallhandling mit zwei Krananlagen und Übergabestellen Abkippstellen stören Verkehr zu Fahrzeugwaagen

Bunker- verbreiterung kurz	<ul style="list-style-type: none"> – Grosses Nutzvolumen, genügend für drei Verbrennungslinien – Gute Bewirtschaftung durch teilweise Trennung von Anlieferung und Stapelbunker – gemeinsame Krananlage 	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe Kosten – Umbau erfordert zeitweilige Betriebsunterbrüche – Abkippstellen verengen den Verkehr zu Fahrzeugwaagen
Bunker- verbreiterung lang	<ul style="list-style-type: none"> – Sehr grosses Nutzvolumen für drei Verbrennungslinien – Ideale Bewirtschaftung durch Trennung von Anlieferung und Stapelbunker – gemeinsame Krananlage 	<ul style="list-style-type: none"> – Sehr hohe Kosten – Umbau erfordert das Versetzen des Leitstands und zeitweilige Betriebsunterbrüche – Abkippstellen verengen den Verkehr zu Fahrzeugwaagen

Tabelle 7.3 Wichtigste Vor- und Nachteile der Varianten

7.6 Ergebnis

- Betrieblich ist die Variante „Bunkerverbreiterung lang“ am besten, aber auch am teuersten;
- Die Variante „Vorbunker angebaut“ ist der beste Kompromiss zwischen Nutzen und Kosten.

8. Schlussfolgerungen

8.1 Sperrgutannahme und Vorbehandlung

Zur Realisierung einer neuen Anlage der Sperrgutannahme und Vorbehandlung wurden sieben technische Lösungen untersucht, verteilt auf zwei mögliche Standorte:

- SÜD: südlich des Kehrlichtbunkers, auf der Fläche des bestehenden Recyclinghofs;
- NORD: nördlich des Kehrlichtbunkers.

Bestvarianten sind **2-SÜD** und **4-SÜD**. Sie funktionieren nach dem gleichen Konzept:

- Aufstellung anstelle des heutigen Recyclinghofs;
- Abkippen in Tiefbunker, Störstofftrennung mit Krananlage (Variante 2-SÜD)
- Abkippen auf Plattenband, Störstoffauslese mit Bagger (Variante 4-SÜD);
- Zerkleinerung im Schredder;
- Abscheidung von Grobschrott mit Überbandmagnet (Option);
- Transport des Feinmülls mit Förderbändern zum Kehrlichtbunker oder zu einer Ballenpresse;
- Einwurf des Feinmülls auf Kote +5.00 durch Öffnungen in den gewählten Bunkerabschnitt;
- Vermischung mit dem Kehrlichtkran;
- Zwischenlager für ca. 3'000 t Feinmüll in Ballen;

Im Falle der Erweiterung des KHKW mit einer 3. Verbrennungslinie, mit einer Leistungserhöhung der Sperrgut Behandlung auf 115'000 Jahrestonnen. kann die Kapazität durch Verdoppelung der Transport- und Zerkleinerungsanlagen angepasst werden.

Die Fläche des Recyclinghofs wird erst frei, wenn eine neue Sammelstelle gebaut ist. Bis dahin ist die Variante **4-NORD** ein geeigneter Kompromiss. Die Anlagen könnten später angepasst und weiter genutzt werden.

8.2 Bunkerkonzept

Der vorhandene Kehrlichtbunker ist für die aktuelle Kehrlichtmenge 240'000 t/a knapp ausreichend. Im Zusammenhang mit einer 3. Verbrennungslinie sollte das Volumen nach Möglichkeit vergrössert werden. Es wurden drei Optionen untersucht:

- Keine Vergrösserung des Volumens, aber Auslagerung der Sperrgutbehandlung;
- Vergrösserung des Volumens durch separaten Vorbunker, entweder angebaut oder abgesetzt;
- Vergrösserung des Volumens durch Verbreiterung, entweder zur Hälfte („kurz“) oder auf der ganzen Länge („lang“).

Eine Vergrösserung des Bunkers durch Verlängerung ist auszuschliessen, weil gegen Süden die wichtige Durchfahrt verbaut wird, und gegen Norden der Kranweg für eine ausreichende Umschlagleistung zu gross wird.

Ergebnisse der Variantenstudie:

- Bis zur Erstellung der 3. Verbrennungslinie genügt der vorhandene Bunker, falls:
 - Die Sperrgutbehandlung ausgelagert wird;

Eine dritte Trennwand bei Achse 6 für ein Bunkerbewirtschaftungskonzept mit einem Annahnebunker und drei Stapelbunkern erstellt wird;

- Für die Anlagenerweiterung mit einer 3. Verbrennungslinie muss der Bunker vergrössert werden.

Bestvarianten sind die beiden Lösungen „**Vorbunker angebaut**“ und „**Bunkerverbreiterung lang**“.

- Das betrieblich beste Konzept ist die Bunkerverbreiterung lang. Sie verdoppelt das Nutzvolumen und ermöglicht eine optimale Bewirtschaftung mit getrennten Abschnitten für Anlieferung und Stapelung. Wesentlicher Nachteil sind die hohen Kosten, bedingt durch den komplizierten Bau unter Betrieb in mehreren Phasen (Beispiel KVA Winterthur).
- Der angebaute Vorbunker ermöglicht mit vergleichsweise niedrigen Kosten die Vergrößerung des Volumens und eine Trennung der Anliefer- und Stapelabschnitte. Die Bewirtschaftung mit zwei Krananlagen, und die aufwändige Übergabe vom Annahnebunker in den Stapelbunker sind betrieblich nicht optimal.

Da die Bunkervergrößerung erst im Zusammenhang mit einer 3. Verbrennungslinie realisiert würde, sind die Kosten im Rahmen einer Gesamtprojekts zu sehen und dann nicht mehr ausschlaggebend.

8.3 Empfehlung und weiteres Vorgehen

Wir empfehlen, die Sperrgutbehandlung mit einer der beiden Varianten 4-SÜD oder 2-SÜD zu realisieren. Beide können bis 50'000 t/a Sperrgut verarbeiten und gut in das heutige Betriebskonzept des KHKW integriert werden.

Als Übergangslösung bis zur Räumung des Recyclinghofs eignet sich die Variante 4-NORD.

Die Bunkervergrößerung kann bis zum Entscheid für die 3. Verbrennungslinie zurückgestellt werden. Das Volumen genügt vorläufig, wenn die externe Sperrgutbehandlung realisiert und die dritte Trennwand eingebaut wird.

Für den zukünftigen Betrieb mit 345'000 t/a Abfällen ist die vollständige „Bunkerverbreiterung lang“ die betrieblich beste Variante. Die genauen Kosten dieser Lösung, im Vergleich zur Alternative „Vorbunker angebaut“, sind im nächsten Planungsschritte zu verifizieren.

Verfasser

CSD FENIX AG

Dr. Christoph Müller

Unter Mitarbeit von

CPM Partner

Fritz Bangerter

Zürich, den 15. Mai 2013 (Rev.1)

ANHANG A BISHERIGE STUDIEN ZUR SPERRRGUTBEHANDLUNG

	Lösungsvariante 1 Dezember 2009	Lösungsvariante 2 April 2010	Lösungsvariante 3 Januar 2011	Lösungsvariante 4 April 2011	Lösungsvariante 5 Mai 2011	Lösungsansätze/Ideen Sept. 2011
Konzept	„Ballen aus Sperrgut + Altpapier“ Lagerung vor Ort; Zerkleinertes Sperrgut alternativ mit Förderband in Kehrlichtbunker	„Ballen aus Sperrgut“ ohne Altpapier. Zerkleinertes Sperrgut alternativ mit Förderband in Kehrlichtbunker	„Kombination mit Recyclinghof“ Zwischenlösung bis Platz bisheriger Recyclinghof frei wird (enge Platzverhältnisse). Keine Ballenpresse.	Provisorium bis Platz bisheriger Recyclinghof frei wird. 2 Schreddervarianten: TAIFUN / HURRICANE. Keine Ballenpresse.	Provisorium bis Platz bisheriger Recyclinghof frei wird. Optimierte Lösung mit Option (mobile) Ballenpresse	Bunkererweiterung nach Süden; keine Ballen. Brennstofflagerung im erweiterten Bunker; alle Arbeitsschritte in abgetrennten Gebäuden.
Entscheide	Kombination mit Altpapier wird nicht weiterverfolgt		Wird wegen erforderlicher Erhöhung des Dachs nicht weiterverfolgt.			
Beschreibung	System / Ort	System / Ort	System / Ort	System / Ort	System / Ort	System / Ort
Sperrgut-anlieferung	Ebenerdig abkippen Bereich heutiger Recyclinghof	Abkippen in vertiefte (- 3.00) Fördermulde (Schubboden). Bereich heutiger Recyclinghof	Sperrgutannahme getrennt ELOG / PRIVATE Teil des Bereichs heutiger Recyclinghof.	Ebenerdig abkippen. Stahlplattenboden Freier Platz neben ELOG-Zelten	Ebenerdig abkippen. Stahlplattenboden Freier Platz neben ELOG-Zelten	Abkippen in geschlossener Halle entweder in den Bunker oder ebenerdig vor dem Schredder Bereich heutiger Recyclinghof
Sperrgut-Zwischenlager	Nur im Abkippbereich möglich; Störstoffauslese mit Kabinenbagger (direkte Zerkleinerung nach Anlieferung)	In Fördermulde möglich (ca. 100m ³). Störstoffauslese mit Kabinenbagger (Schüttwand)	Nur im Abkippbereich möglich; Störstoffauslese mit Kabinenbagger	Zwischenlagerung nicht vorgesehen	Zwischenlagerung nicht vorgesehen	Im neuen Bunker oder ebenerdig in geschlossener Halle Bereich heutiger Recyclinghof

	Lösungsvariante 1 Dezember 2009	Lösungsvariante 2 April 2010	Lösungsvariante 3 Januar 2011	Lösungsvariante 4 April 2011	Lösungsvariante 5 Mai 2011	Lösungsansätze/Ideen Sept. 2011
Sperrgut- Zerkleinerung	Schredder + Ballenpresse Bereich heutiger Recyclinghof	Schredder + Ballenpresse Bereich heutiger Recyclinghof	Schredder (keine Ballenpresse) Teil- Bereich heutiger Recyclinghof	Schredder	Schredder + bei Bedarf mobile Ballenpresse	Schredder entweder im neuen Bunker (abgetrennt) oder vor dem Bunker Bereich heutiger Recyclinghof
Feinmüllstapel	Gepresste Ballen Bereich heutiger Recyclinghof	Gepresste Ballen Bereich heutiger Recyclinghof	Mulden Innerhalb z.Vf. stehender Platz	Mulden vor Ort	Mulden vor Ort. Option: Ballen	Falls Schredder ausserhalb Bunker: Förderung mit Band in den Bunker. Neuer Bunker
Transport Feinmüll in Brennstoff- bunker	Ballen mit „Hofhund“ ausserhalb der Anlieferzeiten in Kehrichtbunker. Alternativ: Förderung des zerkleinerten Sperrguts mit Förderband in Kehrichtbunker. Aufreissen der Ballen separat oder mit Kehrichtkran offen.	Ballen mit „Hofhund“ ausserhalb der Anlieferzeiten in Kehrichtbunker. Alternativ: Förderung des zerkleinerten Sperrguts mit Förderband in Kehrichtbunker. Aufreissen der Ballen separat oder mit Kehrichtkran offen.	Muldenleerung mit „Hofhund“ ausserhalb der Anlieferzeiten oder bei Bedarf. Zum Kehrichtbunker	Muldenleerung mit „Hofhund“ ausserhalb der Anlieferzeiten oder bei Bedarf. Areal Hagenholz, zum Kehrichtbunker.	Muldenleerung mit „Hofhund“ ausserhalb der Anlieferzeiten oder bei Bedarf. Ballen nicht bestimmt Areal Hagenholz, zum Kehrichtbunker.	Förderbänder ? Schubböden ? Erweiterte Krananlage ?

ANHANG B BISHERIGE STUDIEN ZUR BUNKERVERGRÖSSERUNG

	Lösungsvariante 1 Vorstudie 1994	Lösungsvariante 2 Studie 2002	Lösungsvariante 3 Entscheid ERZ 2006	Lösungsvariante 4 Studien 2008 ÷ 2011
Bunkerkonzept	Ziel war Erhöhung der gesamten Bunkerkapazität ERZ in den beiden KHKW Josefstrasse und Hagenholz. eine sinnvolle Kapazitätserweiterung wurde nur im Hagenholz erkannt: Erweiterung nach SÜDEN (mit Durchfahrt). Begründung: Stelle einer möglichen Erweiterung der Verbrennungslinien.	Studie Strategie KHKW Hagenholz führt zum Entscheid der Bunkererweiterung nach NORDEN.	Einbau einer Bunkertrennwand in Achse 4 bis Kote + 9.00	Ersatz / Neubau 2K1 und 2K3. Massnahmen: Neue Krananlage – Sperrgutzerkleinerung (bis 15'000 T/a) ausserhalb des Kehrichtbunkers – ev. Ballenpresse / Stapelung von 4'000 Mg Ballen – Umplatzieren des Schredders in Bereich Achse 4 ÷ 5 (Platz frühere Schere); Einsatz nur zur Zerkleinerung von Sperrgut im Hauskehricht – Rückbau des bisherigen Sperrgutabteils im Bunker → zusätzliches Bunkervolumen.
Verbrennungskapazität	2 × 100'000 T/a	2 × 100'000 T/a	2 × 100'000 T/a	2 × 115'000 T/a
Bunkerkapazität (Fassungsvermögen)	<ul style="list-style-type: none"> – Bisher bis 0.00: 4'780 m³ – Zusatz bis 0.00: 6'640 m³ – Neu bis ±0.00: 11'420 m³ – Neu bis +14.70: 27'800 m³ 	<ul style="list-style-type: none"> – Zusatz bis 0.00: 1'810 m³ – Zusatz bis +14.70: 4'665 m³ 	<ul style="list-style-type: none"> – Bis Kote 0.00 (ohne Sperrmüllbunker): 6'480 m³ – Max. wenn Bereich Achse 4÷7 bis 0.00: 11'200 m³ 	<ul style="list-style-type: none"> – Bis Kote 0.00: 7'000 m³ – Bis Kote + 14.70: 11'900 m³ – Max. wenn Anlieferbereich „leer“: 15'500 m³
Sperrgutbehandlung	Im Bunker	Im Bunker	Im Bunker	im Bunker
Bunkerabschnitte	Trennung zwischen Bunker „alt“ und „neu“	Nicht bekannt	Durch Bunkererweiterung NORD zusätzlich: Grundfläche: 213 m ² Volumen bis 0.00: 1'810 m ³ Volumen bis +14.70: 4'665 m ³	Ziel: Regelmässige Leerung jedes Abschnitts <ul style="list-style-type: none"> – A: gemischt / gefüllt (ruht) – B: Annahme (keine Stapelung) – C: wird gemischt / gefüllt – D: wird entleert (Beschickung)
Anzahl Abkipfstellen	Mindestens 3 in Betrieb		Anlieferung T1 ÷ T7	Mindestens 4 in Betrieb (8 ÷ 11)

	Lösungsvariante 1 Vorstudie 1994	Lösungsvariante 2 Studie 2002	Lösungsvariante 3 Entscheid ERZ 2006	Lösungsvariante 4 Studien 2008 ÷ 2011
Bunkerbewirtschaftung	Nicht angesprochen	Nicht bekannt	3 Bunkerabschnitte mit unterschiedlicher Grösse. Grösste Grundfläche zwischen Achsen 4 ÷ 8 von 414 m ² kann wegen des Sperrguthandlings (Schredder / Sperrgutbunker) nicht optimal genutzt werden.	Ziel: 4 getrennte Bunkerabschnitte durch Einbau einer weiteren Trennwand in Achse 6, davon eines frei für die Anlieferung. Wegen möglicher Bunkererweiterung Richtung Süden zurückgestellt.
Abfallkräne	2 Kräne mit 5m ³ - Mehrschalen-Seilgreifer für Beschicken Kippstellen freihalten, Mischen, Sperrmüllhandling	Nicht bekannt	Wie bisher	2 neue Krananlagen mit 6.3m ³ -Hydraulikgreifer. Vollautomatik mit Bunkervolumenerfassung.