



Projekt

„Untersuchung von Alternativverfahren zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zum Bestand und der geplanten Faulung auf der Kläranlage Dresden-Kaditz“

- Abschlussbericht -

Stand: April 2006

Projektteam bestehend aus

Dirk Noffke

PG-AKA Dresden-Kaditz

TU Dresden,
Institut für Siedlungs- und
Industriewasserwirtschaft

GLIEDERUNG

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	3
ANLAGENVERZEICHNIS	3
EINLEITUNG	4
Randbedingungen	4
UNTERSUCHTE VERFAHREN	6
Konventionelle Verfahren	6
Faulung	6
Mono-Klärschlammverbrennung	6
Innovative Verfahren	6
Pyrolyse	6
KDV-Verfahren	7
Vergasung	7
Niedrigtemperaturkonvertierung / EnerSludge-Verfahren	7
Aqua-Reci-Verfahren / SCWO (Super Critical Water Oxidation)	7
Bemessungswerte	7
MONETÄRE BEWERTUNG	9
Investitionskosten	9
Laufende Kosten	9
Projektkostenbarwert und Jahreskosten	11
NICHTMONETÄRE BEWERTUNG	13
Kategorien und Kriterien	13
Betriebsverhalten	13
Umwelt	13
Strategische Aspekte	14
Wichtung der Kategorien	14
NUTZWERTANALYSE	15
SENSITIVITÄT	16
ERGEBNIS DER UNTERSUCHUNG	19
EMPFEHLUNGEN ZUM WEITEREN VORGEHEN	21
ANLAGEN	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamtschlammanfall 2005 – Tageswerte und Gleitmittelwerte	8
Abbildung 2: Investitionskosten der untersuchten Verfahren	9
Abbildung 3: Laufende Kosten der untersuchten Verfahren	10
Abbildung 4: Aufteilung der laufenden Kosten	10
Abbildung 5: Projektkostenbarwert der untersuchten Verfahren	11
Abbildung 6: Jahreskosten der untersuchten Verfahren	12
Abbildung 7: Nutzwertanalyse mit Platzierung der Varianten	15
Abbildung 8: Jahreskosten mit 1% realer Preissteigerung für Erdgas	17
Abbildung 9: Jahreskosten mit 1% realer Preissteigerung für Erdgas und Entsorgung	17

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Kostenansätze	22
Anlage 2: Bilanz für Bestand und Faulung nach Planfeststellungsbeschluss	23
Anlage 3: Vereinfachte Fließbilder der Alternativ-Verfahren	24
Anlage 4: Kostenblätter Bestand.....	30
Anlage 5: Kostenblätter Faulung.....	35
Anlage 6: Kostenblätter Wirbelschicht-Verbrennung.....	40
Anlage 7: Kostenblätter Pyrolyse	45
Anlage 8: Kostenblätter KDV-Verfahren	50
Anlage 9: Kostenblätter Vergasungsanlage	55
Anlage 10: Kostenblätter Konvertierung / EnerSludge Anlage.....	60
Anlage 11: Kostenblätter Aqua-Reci Anlage	65
Anlage 12: Argumentation zur Festlegung des Heizöl- und damit Erdgaspreises	70
Anlage 13: Zusammenfassung der wichtigsten Korrespondenz und Aktivitäten	74

Einleitung

Auf der Kläranlage Dresden-Kaditz besteht die momentane Schlammbehandlung aus den folgenden Verfahrensschritten:

1. Statische Eindickung des PS und ÜSS
2. Mechanische Entwässerung des Mischschlammes mit Zentrifugen auf ca. 28% TS
3. Trocknung des entwässerten Schlammes mit Scheibentrocknern auf 90%

Von September 2005 bis März 2006 wurde untersucht, ob es zu der geplanten und bereits genehmigten mesophilen Faulung mit $3 \times 8000 \text{m}^3$ eiförmigen Behältern eine noch wirtschaftlichere Alternative gibt. Grundsatz war hierbei den Anlagenbestand optimal zu nutzen.

Der Kostenvergleich wurde in Anlehnung der bereits von der PROWA Dresden durchgeführten Untersuchung auf Basis der LAWA-Richtlinien durchgeführt und das bestehende Modell weiterentwickelt. Der Betrachtungszeitraum für den Vergleich ist 45 Jahre und wurde unter Einbeziehung von nichtmonetären Kriterien in einer Nutzwertanalyse komplettiert.

Randbedingungen

Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wurden die folgenden Werte zu Grunde gelegt:

1. Schlammmenge incl. Heidenau / Pirna (als Jahresmittelwert)

Primärschlamm:	26,2 t TS / d
Überschußschlamm:	24,8 t TS / d

2. oTR im Schlamm (als Jahresmittelwert)

Primärschlamm:	70%
Überschußschlamm:	62%

3. Nutzungsdauer

Dies entspricht der Zeit, nach der Re-Investitionen erforderlich sind und entspricht für

Bautechnik	45a
Maschinentechnik	15a
EMSR	7,5a

4. Personalkosten

Anlagenpersonal €40.000/a

5. Realzinssatz

Der hier verwendete Realzinssatz verknüpft den Nominalzinssatz und die Inflationsrate miteinander. Vereinfacht kann man diesen als Näherung durch Nominalzinssatz minus Inflationsrate bestimmen. Bei langfristigen Betrachtungen wird in den LAWA-Richtlinien ein Realzinssatz von 3% empfohlen. Dieser Wert wurde auch für diesen Vergleich verwendet.

6. Elektroenergie

Mischpreis aus momentanen Kosten und zusätzlich bezogenem Strom
7,8 Ct / kWh

7. Erdgaspreis

Das über den regionalen Anbieter DREWAG bezogene Erdgas setzt sich aus 3 Preisen zusammen. Die Leistungspreise 1 und 2 sind Fixpreise und beziehen sich auf die maximal zu erwartenden Mengenbezüge und bedeuten demzufolge Vorhaltekapazitäten.

Leistungspreis 1 (max. Stundenmenge) €0,825 / kWh
Leistungspreis 2 (max. Tagesmenge) €0,56 / kWh * Monat

Der Arbeitspreis wird auf Grundlage des Heizölpreises Rheinschiene berechnet.
Arbeitspreis ohne Faulung, d.h. hoher Verbrauch 3,74 Ct / kWh
Arbeitspreis mit Faulung, d.h. niedriger Verbrauch 3,82 Ct / kWh

Der o.g. Arbeitspreis basiert auf einem Heizölpreis von €45,87 / hl, welcher im 1. Quartal 2006 als Berechnungsgrundlage für den Erdgaspreis der SE DD gilt. Dieser Heizölpreis kann auch als realistischer Wert für das Bezugsjahr 2009 gesehen werden.

8. Entsorgungskosten

Für Trockengut wurde der momentan gültige Entsorgungspreis von €48,- / t TS angesetzt. Für die Alternativverfahren wurde unter Einbeziehung von aktuellen Betriebsdaten anderer Betreibern und in Abstimmung mit dem Entsorger MineralPlus ein entsprechender Preis festgelegt, wie im Kostenblatt 2.1 für das jeweilige Verfahren ersichtlich.

Alle Kostenangaben außer Personal sind Netto zzgl. MwSt.

Untersuchte Verfahren

Die untersuchten Verfahren wurden mit der Bestandsanlage verglichen und lassen sich unterteilen in konventionelle und innovative Verfahren. Diese werden im folgenden Abschnitt kurz erläutert. Ab der Wirbelschichtverbrennung sind vereinfachte Verfahrensfliessbilder in der Anlage 3 zu finden.

Konventionelle Verfahren

Faulung

Hierbei handelt es sich um die Variante nach Planfeststellungsantrag – eine mesophile Faulung mit 3 x 8000 m³ Faulbehältern und anschließender Trocknung in den vorhandenen STORT Scheibentrocknern. Der Schlamm wird während der Faulung in der Masse reduziert, stabilisiert und das produzierte Biogas zur weitgehenden Erdgassubstitution für die Trocknung verwendet.

Mono-Klärschlammverbrennung

Bei dieser Variante wird der nicht gefaulte Mischschlamm entwässert und dann auf 35-40%TS teilgetrocknet, um die sich anschließende Wirbelschichtverbrennung energieautark durchzuführen. Die erzeugte Abwärme wird wiederum zur Trocknung genutzt und damit keine zusätzliche Wärme erforderlich. Bei diesem Verfahren erfolgt die Reduzierung der zu entsorgenden Masse auf ein Minimum und damit eine geringe Abhängigkeit gegenüber externen Ver- und Entsorgern erreicht.

Innovative Verfahren

In diesem Abschnitt werden die untersuchten Alternativverfahren kurz beschrieben.

Pyrolyse

Bei diesem Verfahren der Fa. G&A / Polytherm wird der getrocknete Schlamm unter Luftabschluss bei 550°C verschwelt und zu Asche und Pyrolysegas umgesetzt. Es ermöglicht den energieautarken Betrieb des Trockners, da das Gas den Energiebedarf sowohl des Trockners als auch der Pyrolysetrommel abdeckt.

KDV-Verfahren

Bei dem KDV-Verfahren (katalytische drucklose Verölung) der Fa. AlphaKat wird der getrocknete Klärschlamm bei Temperaturen von max. 350°C unter Zuhilfenahme von einem Katalysator zu Dieselöl, Kohlenstoffpaste und Gas umgesetzt.

Vergasung

Dieses Verfahren wurde von der Kopf AG (Sulz, Baden-Württemberg) entwickelt und setzt getrockneten Klärschlamm in einem Wirbelschichtvergaser bei ca. 850°C zu einem brennbaren Produktgas und einem nahezu kohlenstofffreien Reststoff um.

Niedrigtemperaturkonvertierung / EnerSludge-Verfahren

Das sogenannte EnerSludge-Verfahren der Fa. ZWT / Bayreuth wandelt getrockneten Klärschlamm bei Temperaturen zwischen 300-500°C unter Ausschluß von Sauerstoff zu Kohle und Konvertierungsgas um. Das erzeugte Gas deckt den Energiebedarf für die Trocknung. Der Konverter besteht aus einem Doppelmantel, welcher aus regelungstechnischen Gründen mit Erdgas beheizt wird.

Aqua-Reci-Verfahren / SCWO (Super Critical Water Oxidation)

Der von der Fa. Feralco / Schweden entwickelte AquaReci-Prozess nutzt die überkritische Wasseroxidation um wiederbefeuchteten entwässerten Klärschlamm mit ca. 15%TS bei einer Verweilzeit von weniger als 5min. und Temperaturen von über 550°C und einem Druck von 220bar zu einem mineralischen Schlamm umzuwandeln. In dem nachfolgenden Recyclingprozess werden aus dem mineralischen Rückstand mit Säure und Lauge Phosphor und Fällungsmittel zurück gewonnen.

Bemessungswerte

Zur Bemessung der verschiedenen Anlagen wurden die letzten 10 Jahre des Schlammanfalls ausgewertet und mit den aktuellsten Daten von 2005 abgeglichen (siehe Abb. 1), da diese die genauesten Werte nach Inbetriebnahme der neuen Biologie liefern. Je nach Anlagentyp und Verweilzeit innerhalb der Anlage wurden Gleitmittelwerte zur Auslegung der Anlagengröße festgelegt wie in der darauf folgenden Tabelle dargestellt.

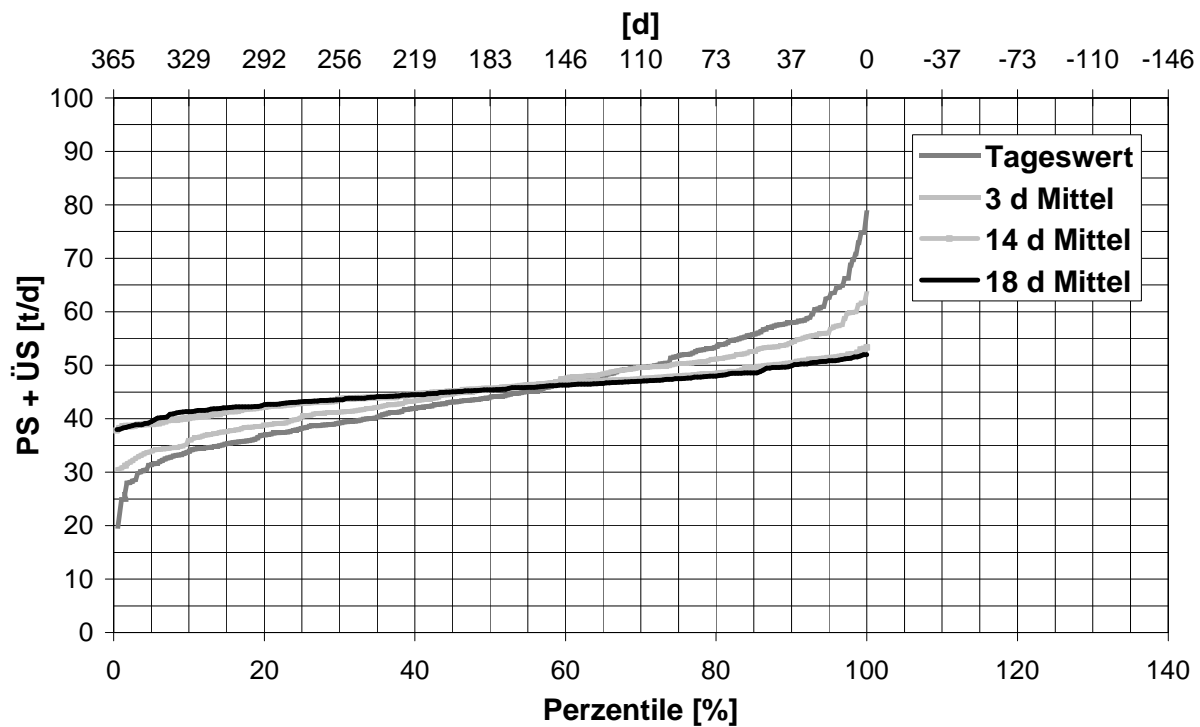


Abbildung 1: Gesamtschlammanfall 2005 – Tageswerte und Gleitmittelwerte

Daraus ergeben sich für die Bemessung der einzelnen Verfahren die folgenden Frachten als Bemessungswerte.

Verfahren	max. Mittelwert	DD-Kaditz	Pirna
	[d]	[t TS/d]	[t TS/d]
Faulung	18	55	3,5
Monoverbrennung	3	67	3,5
Pyrolyse	3	67	3,5
KDV	3	67	3,5
Vergasung	3	67	3,5
EnerSludge	3	67	3,5
Aqua-Reci	3	67	3,5

Monetäre Bewertung

Zur monetären Bewertung der einzelnen Verfahren wurden von den Herstellern der Verfahren Richtpreisangebote angefordert und in die Kostenblätter eingearbeitet. Diese umfassten Angaben zu den Investitionskosten einer schlüsselfertigen Anlage, laufende Betriebskosten sowie der Aufwand für Wartung und Instandhaltung.

Investitionskosten

Das folgende Diagramm zeigt die unter den o.g. Voraussetzungen ermittelten Investkosten, wobei zu beachten ist, dass bei allen Varianten die laufenden und geplanten Investitionen in die Bestandsanlage enthalten sind.

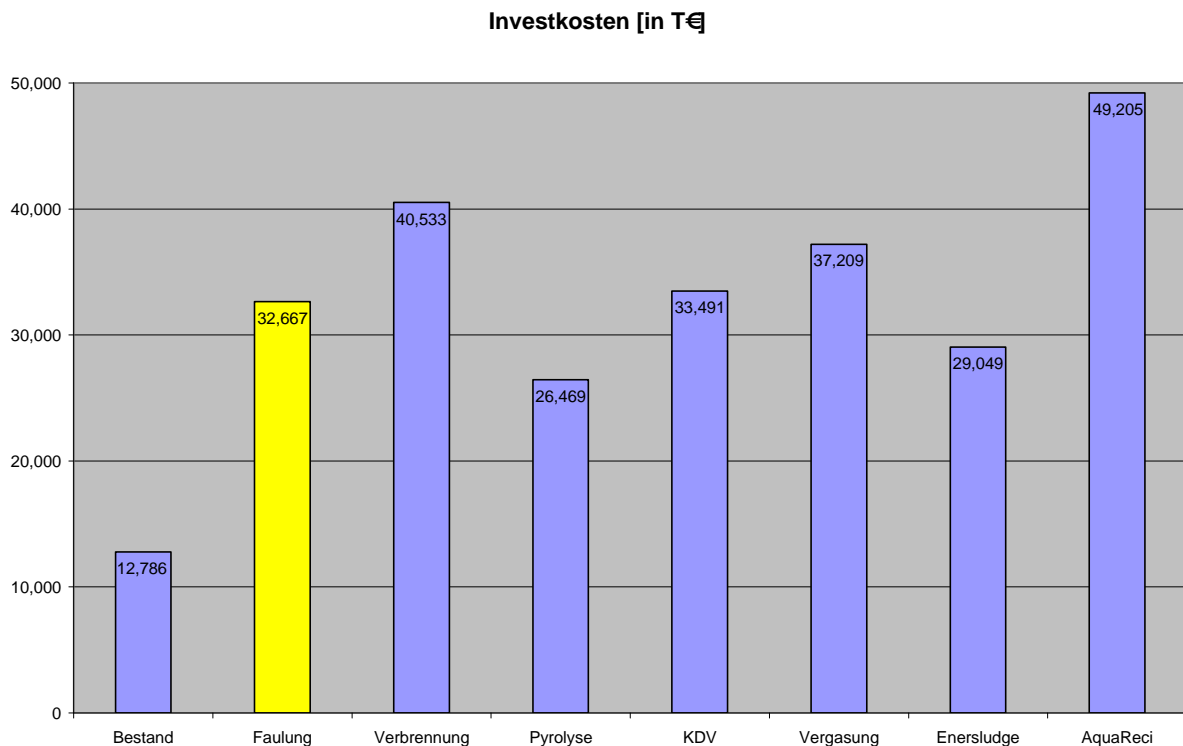


Abbildung 2: Investitionskosten der untersuchten Verfahren

Laufende Kosten

Die folgenden Diagramme stellen die laufenden Kosten und die Aufteilung der laufenden Kosten auf einzelne Positionen dar. Die laufenden Kosten (Abb. 3) berücksichtigen die durch Stromproduktion, alternative Energieträger bzw. Wärmenutzung erzielbaren Erlöse. Die Aufteilung der laufenden Kosten (Abb. 4) zeigen sowohl die anfallenden Kosten als auch separat die Erlöse als Minusbetrag.

Laufende Kosten [in T€/ a]

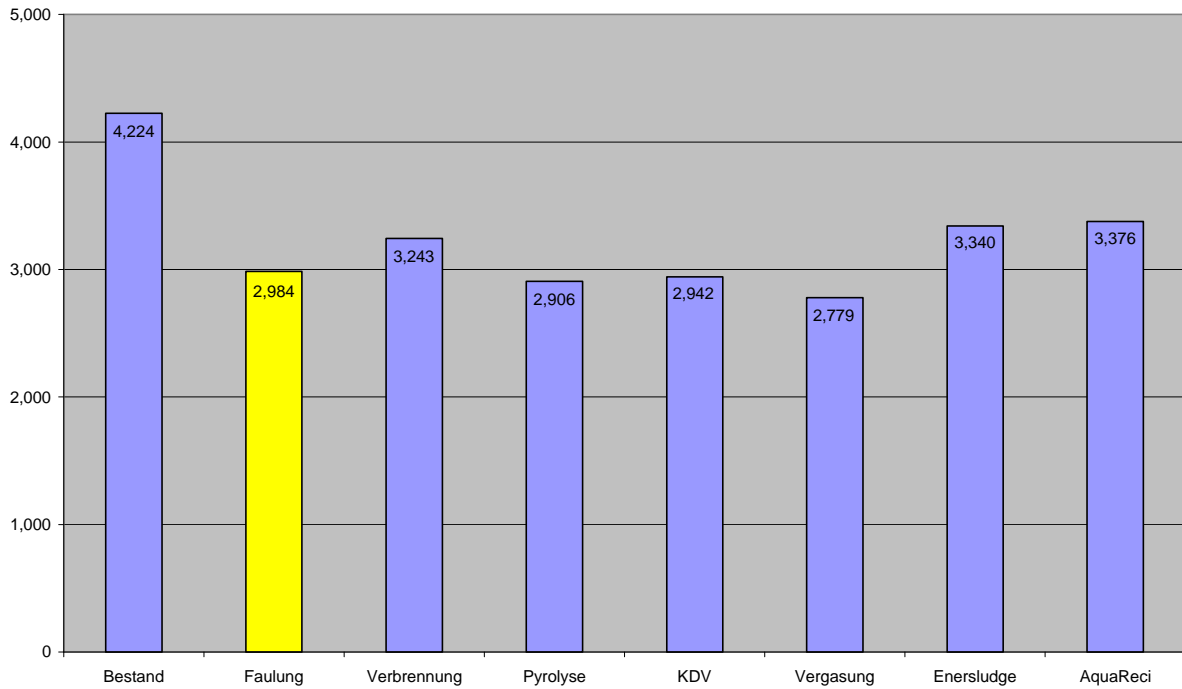


Abbildung 3: Laufende Kosten der untersuchten Verfahren

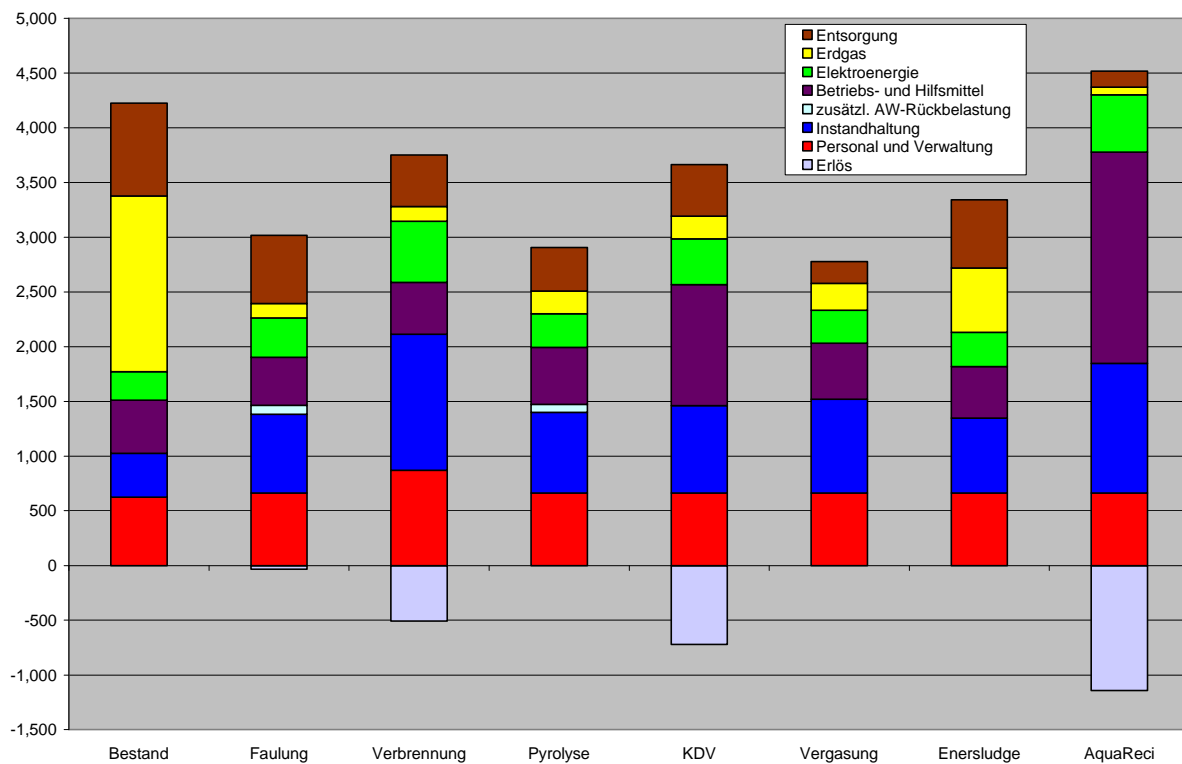


Abbildung 4: Aufteilung der laufenden Kosten

Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass sowohl die Faulung als auch die Alternativvarianten eine deutliche Reduzierung der laufenden Kosten ermöglicht. Die Schwankungsbreite reicht dabei von ca. 850k EUR beim Aqua-Reci-Verfahren bis ca. 1,45 Mio. EUR/a bei der Kopf-Vergasung.

Betrachtet man nun die einzelnen Positionen der laufenden Kosten, dann wird deutlich, dass die Betriebs- und Hilfsmittel, Elektroenergie, Erdgas und Entsorgungskosten die 4 Positionen sind, die eine Abhängigkeit von externen Ver- und Entsorgern darstellen und aus strategischer Sicht minimal gehalten werden sollten. Die hohen Anteile der Betriebs- und Hilfsmittel sowohl beim KDV-Verfahren als auch beim AquaReci-Verfahren sind auf die hohen Kosten für den Katalysator (KDV-Verfahren) bzw. flüssigen Sauerstoff (AquaReci-Verfahren) zurückzuführen.

Projektkostenbarwert und Jahreskosten

Im folgenden Diagramm ist der Projektkostenbarwert dargestellt, welcher die Invest-, laufenden und Reinvestionskosten kumulativ berücksichtigt. Dieser Wert stellt die zeitliche Kostenentwicklung einer Investition dar.

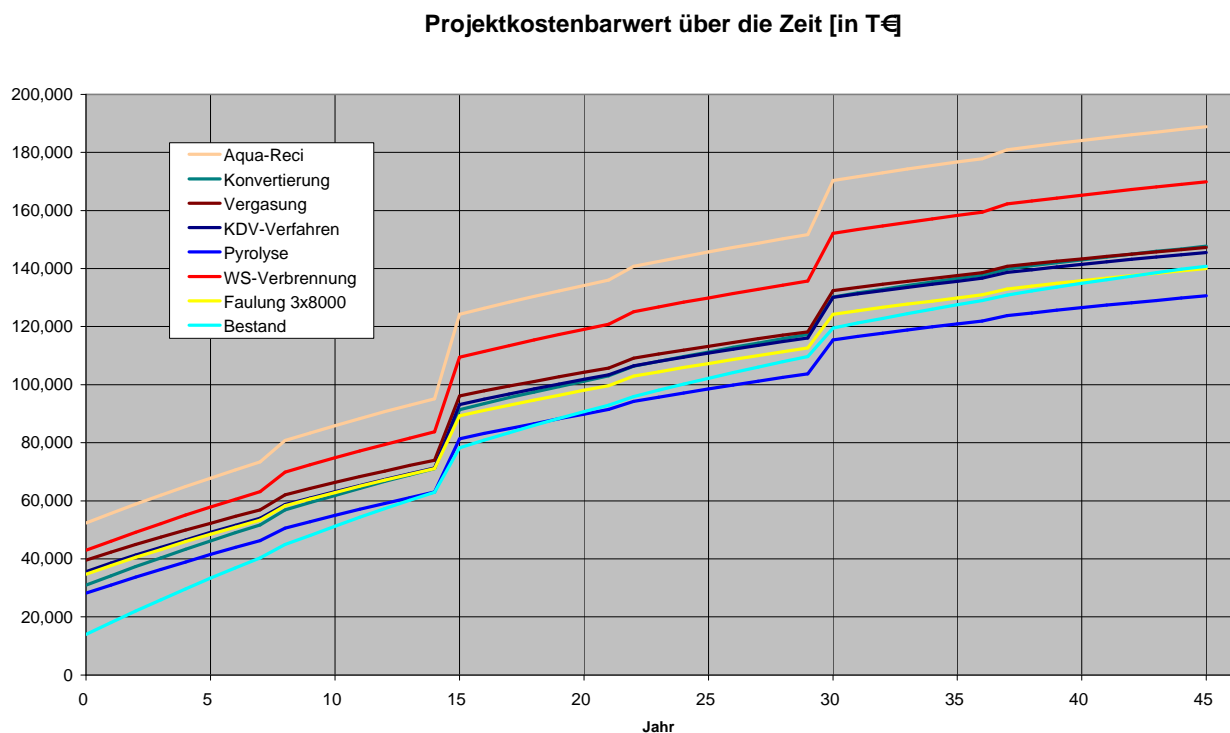


Abbildung 5: Projektkostenbarwert der untersuchten Verfahren

Aus Abb. 5 wird ersichtlich, dass der Bestand und die Faulung nach Planfeststellungsbeschluss ($3 \times 8000 \text{m}^3$) wirtschaftlich nach 45 Jahren gleichwertig sind. Dies drückt sich auch in gleich hohen Jahreskosten aus wie im nächsten Diagramm ersichtlich.

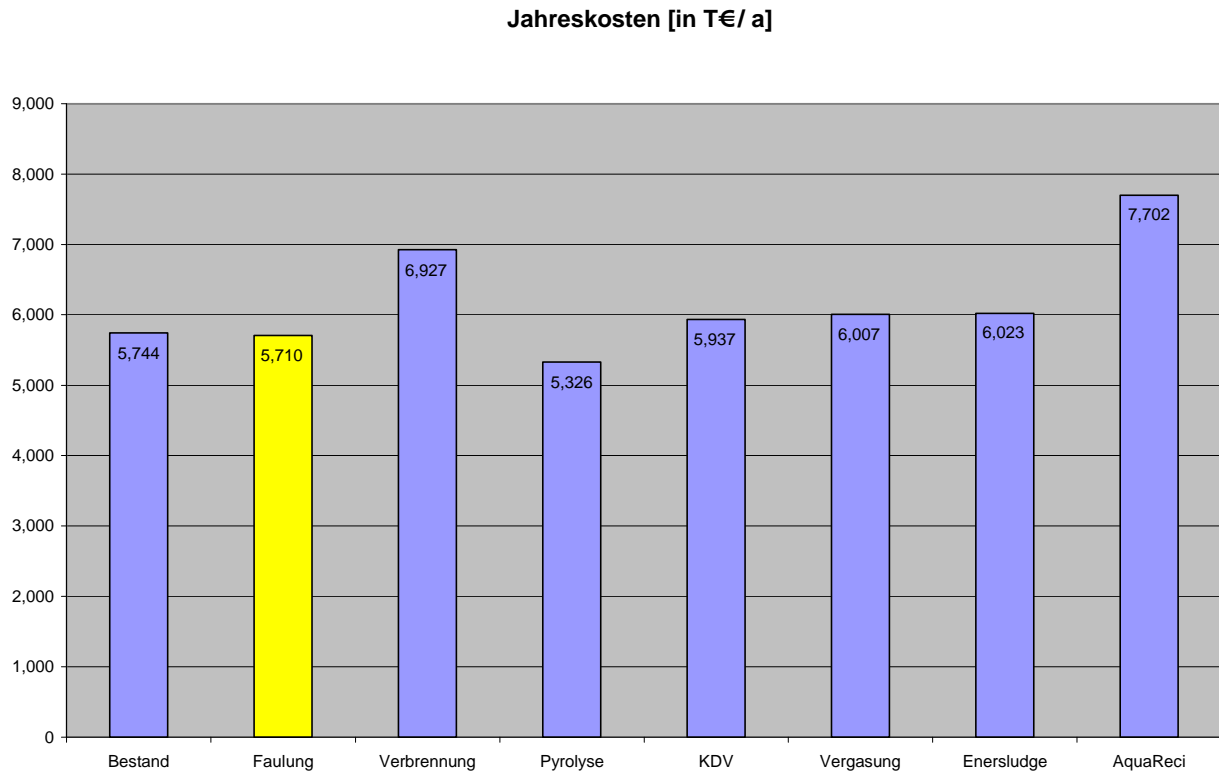


Abbildung 6: Jahreskosten der untersuchten Verfahren

Aus der monetären Betrachtung geht hervor, dass nur bei der Pyrolyse eine Einsparpotential von ca. 8% der Jahreskosten möglich erscheint. Die Jahreskosten bedeuten dabei die durchschnittlichen jährlichen Kosten, die über einen Betrachtungszeitraum von 45 Jahren entstehen.

Nichtmonetäre Bewertung

Um betriebliche und strategische Aspekte mit in die Bewertung einfließen zu lassen, ist es notwendig nichtmonetäre Kriterien zu definieren. In enger Abstimmung mit der Geschäftsführung und dem Betreiber wurden die folgenden Kategorien mit entsprechenden Kriterien festgelegt:

Kategorien und Kriterien

Betriebsverhalten

1. Anlagenverfügbarkeit:
berücksichtigt die Ausfallwahrscheinlichkeit bzw. -häufigkeit und Stillstandsdauer der Anlage
2. Prozeßstabilität:
Stabilität des Prozesses gegenüber Schwankungen im Input oder anderer Prozeßbedingungen
3. Erweiterungsfähigkeit:
Möglichkeit und Aufwand die Anlage auf höhere Kapazitäten (Durchsatzmengen) anzupassen
4. Bedienbarkeit:
beeinflusst durch Einfachheit / Übersichtlichkeit bzw. Kompliziertheit der Anlage
5. Langzeit-Betriebserfahrung:
Sind ausreichende Betriebserfahrungen mit großtechnischen Anlagen vorhanden?
6. Rückwirkung auf die Abwasserbehandlung:
Welche Auswirkungen / Rückbelastung auf die bestehende Abwasserbehandlung sind gegeben (z.B. Stoffstrom mit erhöhter N-Fracht, Temperatur etc.)?

Umwelt

1. Einordnung in den Landschaftsraum:
Wie passt die Anlage in den Landschaftsraum?
2. Flächenverbrauch:
bezogen auf den Standort (BF B)
3. Potentielle Geruchsemissionen
Welches Potential besteht für eine die Nachbarschaft beeinträchtigende Geruchsentwicklung?

4. Gefährdungspotential:
Wie hoch ist das Potential, dass bei einer Havarie gefährliche Stoffe emittiert werden?
5. Potential für stoffliche Rückgewinnung
Welches Potential besteht die im Klärschlamm enthaltenen Stoffe (z.B. Phosphor) zu entziehen und weiter zu nutzen?
6. Akzeptanz der Bevölkerung:
Sind genehmigungsrechtliche Probleme zu erwarten?

Strategische Aspekte

1. Betriebsimage:
Auswirkungen der Anlage auf das Firmenimage
2. Abhängigkeit von externen Versorgern:
hinsichtlich einzusetzender Betriebsstoffe, Serviceleistungen etc.
3. Abhängigkeit von externen Entsorgern:
bezüglich der Menge als auch der Beschaffenheit der zu entsorgenden Stoffströme
4. Flexibilität zur Fremdstoffmitbehandlung:
Möglichkeit Fremdstoffe mitzubehandeln und dadurch eine zusätzliche Einnahmequelle zu erschließen
5. Zeitnahe Realisierung
Wie zeitnah ist die Variante zu realisieren? Sind Verzögerungen durch umfangreiche Neuplanung bzw. langfristige Planfeststellungsverfahren zu erwarten?

Wichtung der Kategorien

Um dem Betreiber als auch den strategischen Aspekten die entsprechende Bedeutung beizumessen, wurden die Kategorien innerhalb der nichtmonetären Bewertung wie folgt gewichtet:

Betriebsverhalten:	40%
Umwelt:	20%
Strategische Aspekte:	40%

Die Wichtung der einzelnen Kriterien innerhalb der Kategorien ist in der Nutzwertanalyse ersichtlich.

Nutzwertanalyse

In der Gesamtbewertung wurde die Verteilung der Wichtigkeit von monetären zu nichtmonetären Kriterien mit 70:30 festgelegt.

In der folgenden Darstellung ist die Nutzwertanalyse dargestellt, bei der sowohl monetäre als auch nichtmonetäre Kriterien in die Bewertung einbezogen werden.

		Bestand	+ konventionelles Verfahren		+ innovatives Verfahren					
Grundlage: Schlammproduktion 51,0 t TS / d		Verfahren	Bestand	Faulung 24.000 konvent. eiförmige Behälter	Verbrennung	Pyrolyse	KDV	Vergasung	EnerSludge	AquaReci
Kriterium		Art + Anbieter	Eindickung Entwässerung, Trocknung Entsorg.	Eindickung Faulung Entwässerung, Trocknung Entsorg.	Eindickung Entwässerung, Teiltrocknung Verbrennung Entsorg.	G&A / Polytherm	Katal. Drucklose Verölung (AlphaKat)	Wirbelschicht- Vergasung (Kopf AG)	Niedrigtemp- Konvertierung (ZWT Bayreuth)	Überkritische Wasseroxid. (Feralco AB, Sweden)
Wichtigkeit		einzelne Verfahrens- stufen	Ziel- erfüllung (0..1)	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
Betriebsverhalten										
1	Anlagenverfügbarkeit	10	0,8	0,9	0,9	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5
2	Prozestabilität	25	0,8	0,7	0,9	0,5	0,5	0,8	0,5	0,7
3	Erweiterungsfähigkeit	10	0,7	0,7	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
4	Bedienebarkeit	20	0,9	0,8	0,7	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5
5	Langzeit-Betriebs Erfahrung	10	1	1	1	0,3	0,1	0,6	0,5	0,3
6	Rückwirkung auf die AW-Behandlung	25	0,8	0,7	0,9	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8
Summe Teilnutzen TN (S Wichtigung x ZE)		100	83,0	77,0	82,0	55,0	55,5	74,0	59,5	62,5
Umwelt										
1	Einordnung in den Landschaftsraum	20	0,9	0,8	0,5	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9
2	Flächenverbrauch	5	0,9	0,6	0,6	0,7	0,9	0,8	0,8	0,8
3	Potenitielle Geruchsemissionen	30	0,6	0,9	0,9	0,6	0,5	0,5	0,3	0,7
4	Gefährdungspotential	20	0,9	0,9	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,2
5	Potenzial für stoffliche Rückgewinnung	20	1	0,5	0,7	0,6	0,5	0,7	0,5	1
6	Akzeptanz der Bevölkerung	5	0,8	0,9	0,2	0,5	0,8	0,5	0,5	0,6
Summe TN (S Wichtigung x ZE)		100	82,5	78,5	65,0	64,0	59,5	61,5	51,5	70,0
Strategische Aspekte										
1	Betriebsimage	15	0,6	0,7	0,6	0,9	1	0,8	1	1
2	Abhängigkeit von externen Versorgern	25	0,3	0,8	1	0,7	0,3	1	0,7	0,5
3	Abhängigkeit von externen Entsorgern	20	0,5	0,7	1	0,9	0,9	1	0,9	0,9
4	Flexibilität zur Fremdstoffmitbehandlung	20	0,1	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3
5	Zeitnahe Realisierung	20	1	0,9	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Summe TN (S Wichtigung x ZE)		100	48,5	78,5	76,0	69,0	60,5	77,0	70,5	61,5
Jahreskosten										
1	Investskosten in T€		12.786	32.667	40.533	26.469	33.491	37.209	29.049	49.205
2	Laufende Kosten in T€ / a		4.224	2.984	3.243	2.906	2.942	2.779	3.340	3.376
	Jahreskosten in T€ / a	Ø = 6,172	5.744	5.710	6.927	5.326	5.937	6.007	6.023	7.702
	Jahreskosten Ø JK / JK x 0,5	100	0,537	0,540	0,446	0,579	0,520	0,514	0,512	0,401
Summe TN (Jahreskosten x 100)			53,7	54,0	44,6	57,9	52,0	51,4	51,2	40,1
Gesamtbewertung										
Nichtmonetäre Kriterien		Betriebsverhalten 12% Umwelt 30% Strategische Aspekte 12%	10,0 5,0 5,8	9,2 4,7 9,4	9,8 3,9 9,1	6,6 3,8 8,3	6,7 3,6 7,3	8,9 3,7 9,2	7,1 3,1 8,5	7,5 4,2 7,4
Monet. Kriterien		Jahreskosten 70%	37,6	37,8	31,2	40,6	36,4	36,0	35,9	28,0
Summe Punkte			58,3	61,2	54,0	59,3	53,9	57,8	54,8	47,1
Platzierung monetär			3	2	7	1	4	5	6	8
Platzierung nichtmonetär			4	1	2	6	8	3	7	5
Gesamtplatzierung			3	1	7	2	5	4	6	8

Abbildung 7: Nutzwertanalyse mit Platzierung der Varianten

Wie aus Abb. 7 ersichtlich, weicht die Platzierung „monetär“ teilweise von der Gesamtbewertung ab. Durch die nichtmonetäre Bewertung werden aber gerade Aspekte berücksichtigt, die aus betrieblicher und strategischer Sicht wichtig sind.

Konkret heißt das in diesem Fall, dass die Unsicherheiten und Nachteile bei den strategischen Aspekten bei der Pyrolyse im Vergleich zur Standardvariante Faulung zu dem Ergebnis führen, dass die möglichen Einsparungen zum derzeitigen Zeitpunkt das Risiko nicht rechtfertigen.

Desweiteren eröffnet die Faulung die Möglichkeit der Mitbehandlung von Flüssigschlämmen, was bei geringen Mehraufwendungen eine weitere Reduzierung der laufenden Kosten zur Folge hat und dann vergleichbare Jahreskosten erreicht werden, wie bei der Pyrolyse.

Sensitivität

Zur Abschätzung der Sensitivität der Verfahren müssen die Betriebskosten berücksichtigt werden, die von Verfahren zu Verfahren großen Schwankungen unterliegen und sich durch äußere Faktoren deutlich verändern können. Das sind bei den betrachteten Verfahren die Kosten für

- Betriebs- und Hilfsmittel
- Erdgas
- Entsorgung

Bei genauer Betrachtung der Kosten für Betriebs- und Hilfsmittel ist festzustellen, dass nur das KDV-Verfahren und das Aqua-Reci-Verfahren deutlich höhere Kosten im Vergleich zu den anderen Verfahren aufweisen. Der Grund dafür liegt beim KDV-Verfahren an den Katalysatorkosten und beim Aqua-Reci Verfahren an den Kosten für flüssigen Sauerstoff, d.h. hier ist eine deutliche Abhängigkeit von diesen Betriebsmitteln festzustellen. Diese Tatsache ist als negativ einzuschätzen und findet in der nichtmonetären Bewertung dieser Verfahren seinen Niederschlag. Aus diesem Grund sollen im folgenden nur noch die Erdgas- und Entsorgungskosten sensitiv betrachtet werden.

In den LAWA-Richtlinien wird auf die insbesondere auf den langen Betrachtungszeitraum der Investitionen überzogenen Annahme von realen Preissteigerungen hingewiesen und als Richtwert 0...1% empfohlen. Für den hier verwendeten Betrachtungszeitraum von 45 Jahren werden als maximale reale Preissteigerungen folgende Werte angenommen.

Erdgaspreis:	1%
Entsorgungspreis:	1%

Die über der Inflation zu erwartende Steigerung beim Erdgaspreis lässt sich relativ einfach mit den begrenzten Ressourcen einerseits und der steigenden Nachfrage andererseits begründen. Eine reale Preissteigerung von 1% beim Entsorgungspreis entspricht in etwa einer Gesetzesänderung zur Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlich genutzte Fläche, d.h. wenn alle Schlämme zukünftig thermisch entsorgt werden müssten.

Zur Beurteilung des Einflusses werden nur die Jahreskosten herangezogen, da sich an der nichtmonetären Bewertung nichts ändert.

In den folgenden beiden Diagrammen sind die Jahreskosten sensitiv in Abhängigkeit vom Gas- und Entsorgungspreis dargestellt.

Jahreskosten [in T€/ a]

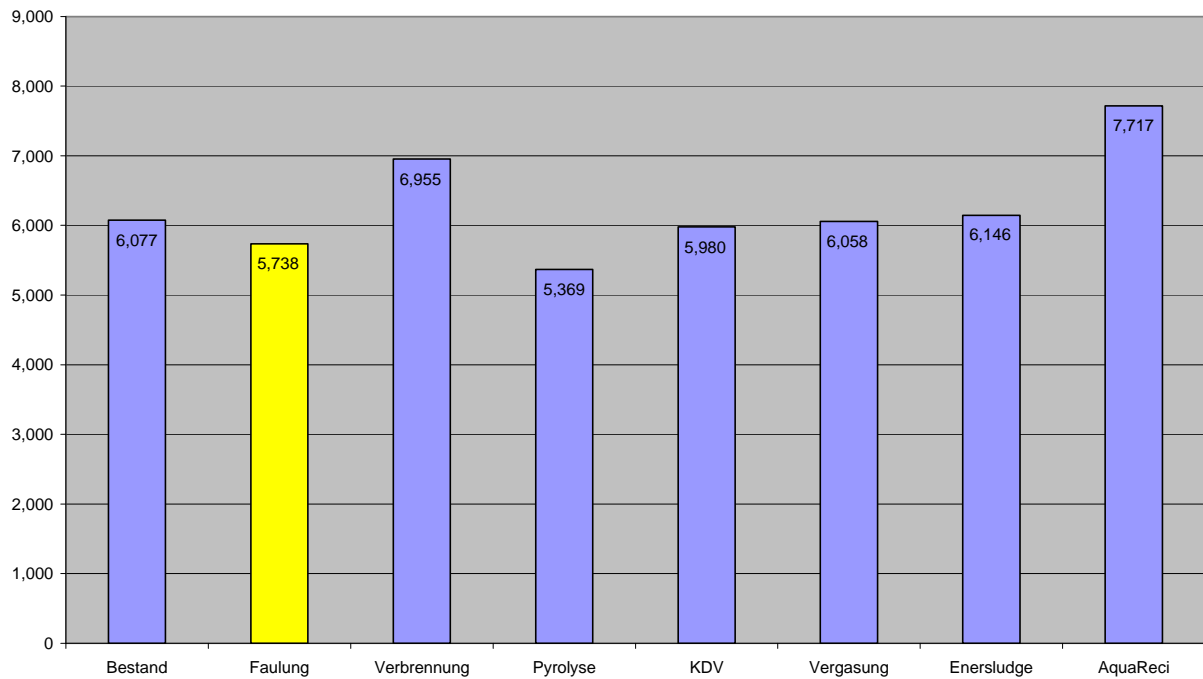


Abbildung 8: Jahreskosten mit 1% realer Preissteigerung für Erdgas

Jahreskosten [in T€/ a]

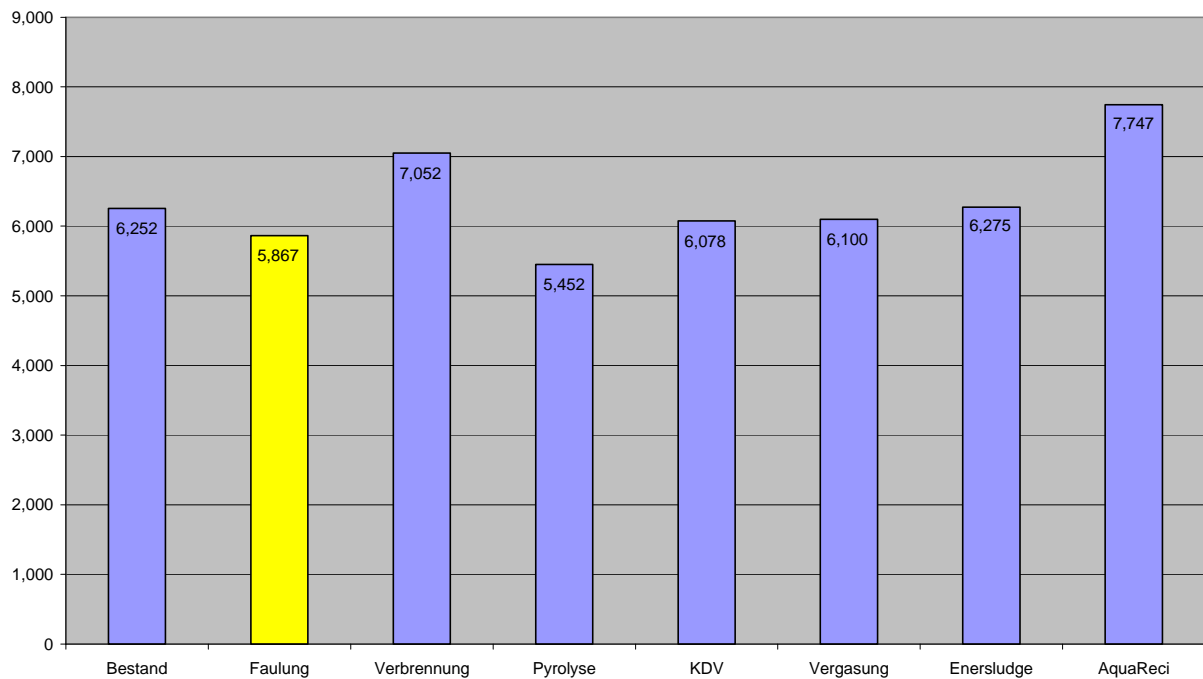


Abbildung 9: Jahreskosten mit 1% realer Preissteigerung für Erdgas und Entsorgung

Den Diagrammen kann man entnehmen, dass sich prinzipiell kein verändertes Bild im Vergleich der Faulung zu den Alternativverfahren ergibt (vgl. dazu Abb. 6). Der Unterschied der Bestandsanlage zur Faulung wird allerdings größer, so dass dies ein Grund mehr für die Errichtung einer Faulungsanlage ist.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass die Verfahren mit einem geringen Anteil an Erdgas- und Entsorgungskosten sich weniger sensitiv verhalten. Dies entspricht dem erwarteten Ergebnis und bestätigt die strategische Vorgabe das Abhängigkeitspotential von externen Betriebsmitteln so gering wie möglich zu halten.

Ergebnis der Untersuchung

Nach eingehender Bewertung der alternativen Verfahren im Vergleich zum Bestand und der geplanten Schlammfäulung am Standort Dresden-Kaditz lässt sich zusammenfassend folgendes feststellen. Unter monetären Gesichtspunkten würde nur die Pyrolyse als alternatives Verfahren zu einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit im Vergleich zur Fäulung nach Planfeststellungsantrag (3 x 8000m³) führen. Unter Einbeziehung der nichtmonetären Kriterien führt dies allerdings zum Ergebnis, dass es zum jetzigen Zeitpunkt keine lohnenswerte Alternative zu einer Fäulung darstellt.

Dies liegt zum einen daran, dass alle neuen / innovativen Verfahren 3-straßig ausgeführt werden sollen, um die geforderte Anlagenverfügbarkeit sicherzustellen. Dabei sind 2 Strassen im Betrieb und eine Straße als Reserve vorgesehen. Zum anderen sind anlagenspezifische Besonderheiten zu nennen, die im folgenden zusammenfassend erläutert werden.

1. **WS-Verbrennung von teilgetrockneten Schlamm**

Die Investkosten sind bei diesem Verfahren mit ca. €8Mio. über der Fäulung sehr hoch. Obwohl die laufenden Kosten vergleichbar sind mit der konventionellen Fäulung, ergeben sich um ca. €1,2Mio. höhere Jahreskosten im Vergleich zum Bestand bzw. der Fäulung.

2. **Pyrolyse**

Die Investkosten sind bei diesem Verfahren mit ca. €6Mio. unter den Kosten für eine Fäulung attraktiv. Die laufenden Kosten liegen zwischen denen einer konventionellen und einer modifizierten Fäulung. Daraus ergeben sich Jahreskosten, die vergleichbar mit denen einer modifizierten Fäulung sind. Die Angaben sind allerdings mit einigen Unsicherheiten behaftet, da der Hersteller keine genauen Angaben zu Betriebsdaten geben konnte. Dies ist sicherlich auch der Tatsache geschuldet, dass bisher nur eine kleine Anlage mit ca. 50,000EW gebaut wurde, die derzeit (Frühjahr 2006) in Betrieb genommen wird.

3. **KDV-Verfahren**

Dieses Verfahren birgt enormes Potential aus biogenen Abfallstoffen Diesel zu produzieren. Allerdings befindet sich das Verfahren noch in der Entwicklungsphase und der Anlagenhersteller konzentriert sich auf die einfach zu verarbeitenden Stoffe mit einem geringen Aschegehalt. Die abgeschätzten Investkosten sind vergleichbar mit denen einer Fäulung aber mit einiger Unsicherheit behaftet. Nach anfänglicher Euphorie stellte sich bei diesem Verfahren heraus, dass die Dieselausbeute statt 35% nur 25% der Inputmenge beträgt. Zudem würde der in dem Dresdner Schlamm vergleichsweise hohe Sandanteil zu einem schwer kalkulierbaren Aufwand für Wartung und Instandhaltung führen, da durch Hochdruckpumpen die für den Prozess notwendige Wärme durch Reibung erzeugt wird. Diese Randbedingungen sowie die vergleichsweise hohen Katalysatorkosten führen zu einer hohen Abhängigkeit mit laufenden Kosten, die vergleichbar sind mit denen einer Fäulung. Daraus ergeben sich wiederum Jahreskosten die keinen wirtschaftlichen Vorteil gegenüber einer konventionellen Fäulung darstellen.

4. **Wirbelschicht-Vergasung nach der KOPF AG**

Eine Anlage nach diesem Verfahren läuft bereits seit einigen Jahren in Balingen / Süddeutschland. Die Investkosten liegen ca. €4,5 Mio. über denen einer konventionellen Faulung. Die laufenden Kosten sind bei den derzeitigen Gaspreisen ca. €200k unter denen der Faulung. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist eine weitgehende Minimierung der Abhängigkeit von externen Ver- und Entsorgern. Desweiteren ist dieses Verfahren nicht mehr im Versuchsstadium, sondern der Anlagenbauer kann auf umfangreiche Betriebserfahrung zurückgreifen. Bedingt durch die höheren Investkosten liegen die Jahreskosten aber ca. €300k über denen einer Faulung.

5. **Niedrigtemperatur-Konvertierung / EnerSludge-Verfahren**

Eine Anlage nach diesem Verfahren wurde bereits großtechnisch in Perth / Australien (ca. 300k EW) für ca. 1 Jahr betrieben. Diese Anlage musste dann wegen Geruchsproblemen sowohl von der Konvertierung als auch von der Trocknung abgeschaltet werden.

Dieses Verfahren stellt sich bei den Investkosten als vergleichsweise günstig dar. Im Vergleich zur konventionellen Faulung ergibt sich hier ein Einsparpotential von ca. €3,5 Mio., auf der anderen Seite aber höhere laufende Kosten. Dies ist einerseits bedingt durch die immer noch notwendige Abhängigkeit von der Erdgasversorgung zur Konverterbeheizung, andererseits die Entsorgung des Restprodukts Konvertierungskohle. Diese Konvertierungskohle ist sehr geruchsintensiv und nach Meinung des Entsorgers MineralPlus ein problematisches Produkt, da es aus deren Erfahrung als pyrolyseähnliches Produkt zur Selbstentzündung neigt. Obwohl nach Ansicht des Anlagenherstellers die Möglichkeit besteht diese Kohle in der Ziegelindustrie als Zusatzstoff zu verwenden oder auch billig auf einer Deponie zu entsorgen, konnte der entsprechende Nachweis nicht mit hinreichender Sicherheit erbracht werden.

6. **Phosphorrückgewinnung / AquaReci-Prozess**

Durch das festgelegte Anlagen-Setup 2+1 sind bei diesem Verfahren die Investkosten enorm gestiegen. Diese liegen mit ca. €16,5 Mio. über denen einer konventionellen Faulung und damit auch noch erheblich über denen einer WS-Verbrennung. Die laufenden Kosten werden maßgeblich durch den flüssigen Sauerstoff bestimmt, woraus sich ein erhebliches Abhängigkeitspotential ergibt. Der Prozess produziert enorm viel Wärme, die aber nicht ganzjährig in dieser Menge genutzt werden kann. In der Wirtschaftlichkeitsrechnung wird diese Wärme mit erheblichen Verlusten in Dampf umgewandelt und dann mit einem relativ niedrigen Wirkungsgrad in einer Dampfturbine verstromt.. Dadurch sind die Jahreskosten bei diesem Verfahren mit ca. €2 Mio. über denen einer Faulung.

Empfehlungen zum weiteren Vorgehen

Neben den bereits erläuterten Verfahrensalternativen wurden auch modifizierte Faulungsvarianten untersucht, um das Potential zur Faulungsoptimierung und weiteren Kostenreduzierung abzuschätzen. Diese Varianten umfassen im Wesentlichen ein geringeres Faulraumvolumen in Kombination mit verschiedenen Varianten der Desintegration sowie die Entsorgung von entwässerten Faulschlamm ohne Trocknung.

Die untersuchten Desintegrationsvarianten lassen sich folgendermaßen einteilen:

- Ultraschall-desintegration
- Desintegration unter Einsatz einer Pralldüse
- Chemisch-thermischer Zellaufschluss
- Thermische Hydrolyse

Um die erreichbaren Effekte wie verbesserter Abbau der organischen Substanz und höhere Prozessstabilität quantifizieren zu können, wurden Schlammproben an die Hersteller der Zellaufschlussanlagen versendet. Die zu erwartenden Verbesserungen beim oTR-Abbau der Faulung im Vergleich zum Referenzwert (43%) liegen lt. Herstellerangaben je nach angewandeter Technologie zwischen 15 und 30%. Daraus ergeben sich zwar höhere Investitionskosten, aber unter Berücksichtigung des langen Betrachtungszeitraumes erhebliches Einsparpotential. Des Weiteren ist es möglich auch ohne die Mitbehandlung von Flüssigschlämmen auf der Versorgerseite energieautark zu werden. Die Abhängigkeit auf der Entsorgerseite wird verringert und die Prozessstabilität erhöht.

Von der TU Dresden, Institut für Siedlungs- und Industrier Wasserwirtschaft, wurden von 1999 bis 2003 Versuche im Labormaßstab zur Desintegration des Überschuss-Schlammes der KA Dresden durchgeführt. Zum damaligen Zeitpunkt wurde festgestellt, dass die Desintegration eine Steigerung des oTR-Abbaus von ÜSS auf 40-45% ermöglicht und keinen Einfluss auf den Abbau des Primärschlammes hat. Dies entspricht einer Gesamtabbauverbesserung von 12% im Vergleich zum Referenzwert.

Es ist festzustellen, dass sich selbst bei dieser im Vergleich zu den Herstellerangaben verminderten Verbesserung Vorteile ergäben, die den Einsatz der Desintegration sowohl wirtschaftlich als auch aus Betreibersicht interessant machen. Aufgrund der unterschiedlichen Aussagen zu den erreichbaren Verbesserungen wird vom Autor empfohlen eine weitergehende Untersuchung mit Versuchen im Pilotmaßstab durchzuführen und die ermittelten Ergebnisse in die Ausführungsplanung einer Faulungsanlage einfließen zu lassen.

Die oben genannten Möglichkeiten der Faulungsoptimierung in Kombination mit der Entsorgung von entwässerten Faulschlamm bieten unter derzeitigen Randbedingungen eine interessante Alternative mit erheblichem wirtschaftlichem Vorteil im Vergleich zur Entsorgung von Trockengut. Allerdings ergäbe sich aus der Entsorgung von entwässertem Faulschlamm auch ein erhebliches Abhängigkeitspotential, weshalb ein langfristiger Entsorgungsvertrag anzustreben ist und eine mögliche Wiederaufnahme der Trocknung sichergestellt werden sollte.

Anlagen

Anlage 1: Kostenansätze

Kostenansätze für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen KA Dresden-Kaditz
Schlammbehandlung BF B
Eingabedaten für Kostenblätter

Kalkulationsgrößen LAWA

Kosten

1. Investitionen

Nutzungsdauer:

Bautechnik	45 a
Maschinentechnik	15 a
Elektrotechnik	7.5 a

Investitionszuschläge:

Baustelleneinrichtung	2.5 %
Zusätzliche Maßnahmen	3 %
Nebenkosten (Planung, Gutachten etc.)	12 %

2. Laufende Kosten

zusätzliche Verwaltungskosten	0.0 %
Instandhaltungskosten:	
-Bau	1.3 %
-Maschinentechnik	3...4 %
-Elektrotechnik	3...4 %

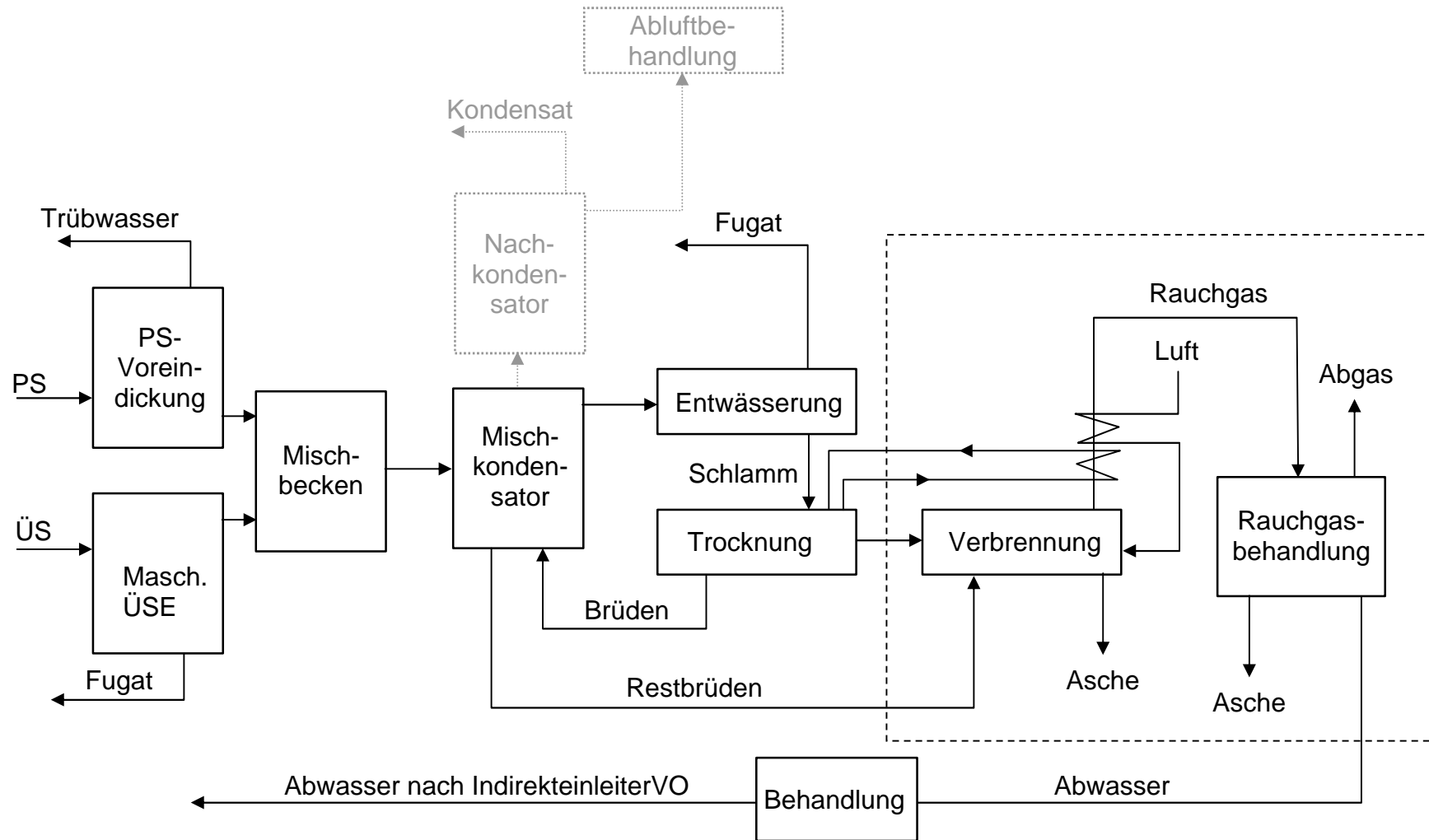
abhängig von der Art der Anlage

3. Finanzmathematische Aufbereitung der Kosten

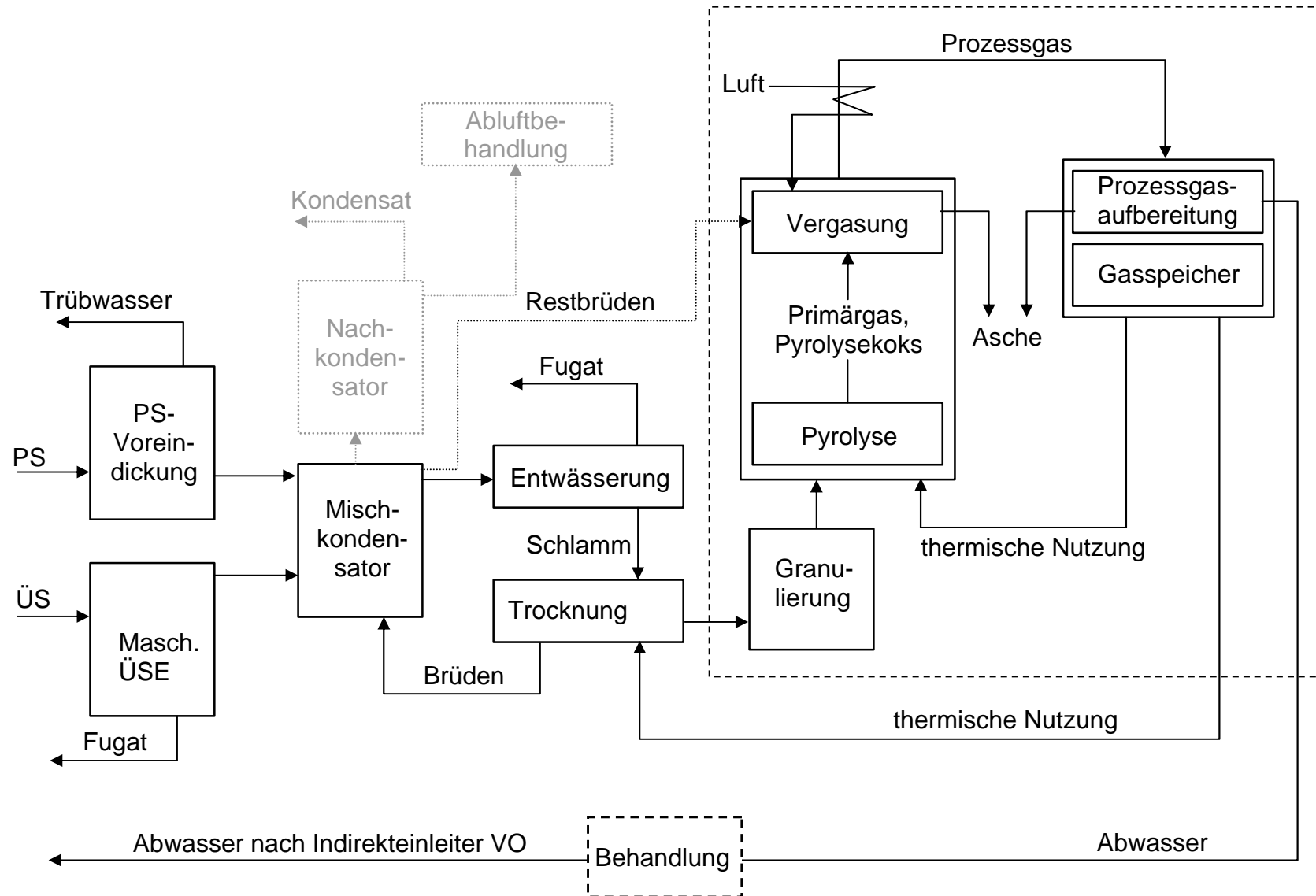
Bezugszeitpunkt (Bezugsjahr)	2009
Inbetriebnahme vorh. Anlage	1994
Inbetriebnahme Ausbau	2009
Investitionsphase Ausbau einschl. Planung	5 a
Investitionsanteile für den Ausbau:	
1. Jahr	2 %
2. Jahr	22 %
3. Jahr	45 %
4. Jahr	20 %
5. Jahr (Inbetriebnahmejahr)	11 %
Untersuchungszeitraum	45 a
Realzinssatz	3%

Anlage 3: Vereinfachte Fließbilder der Alternativ-Verfahren

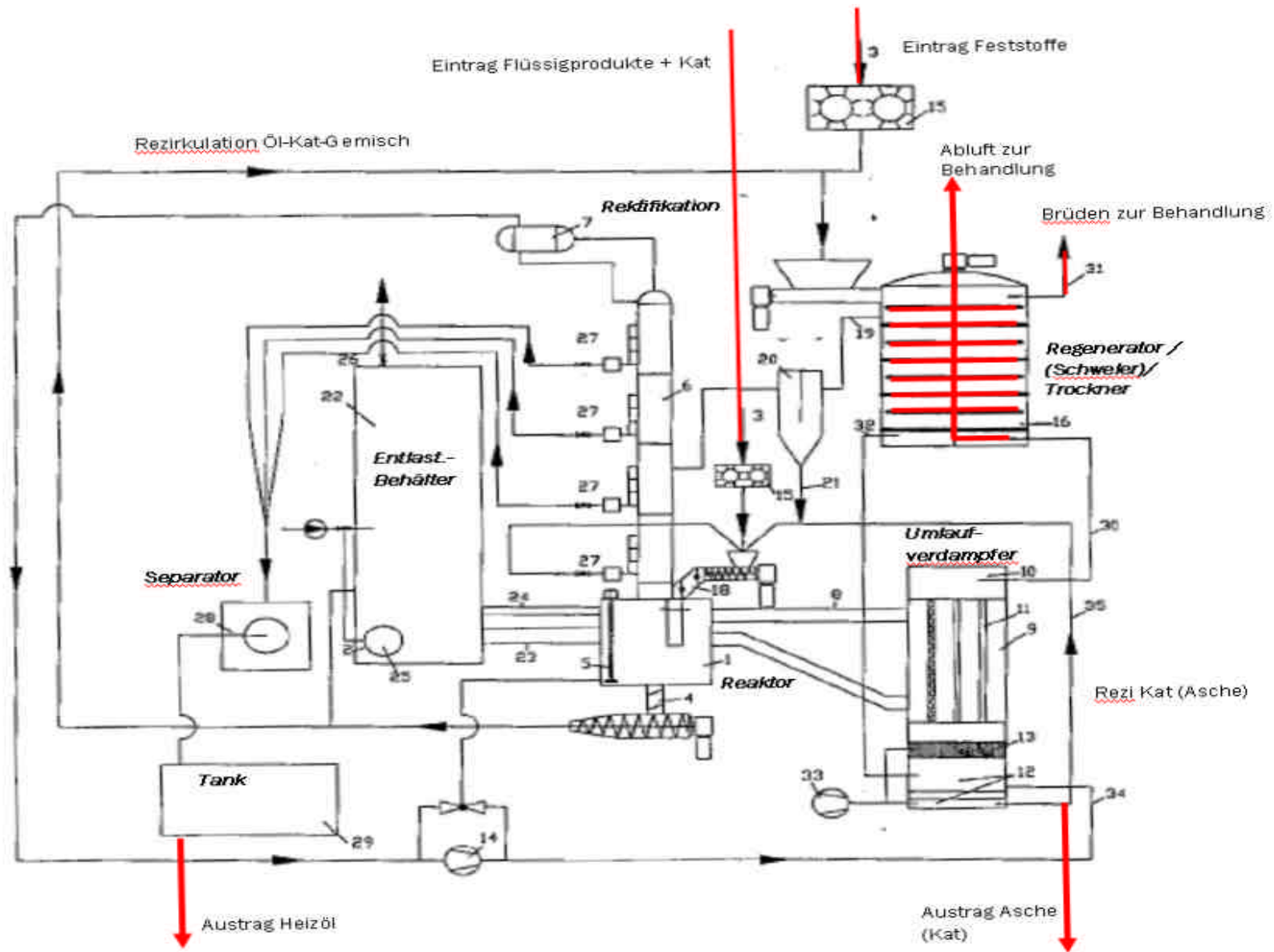
WS-Verbrennung



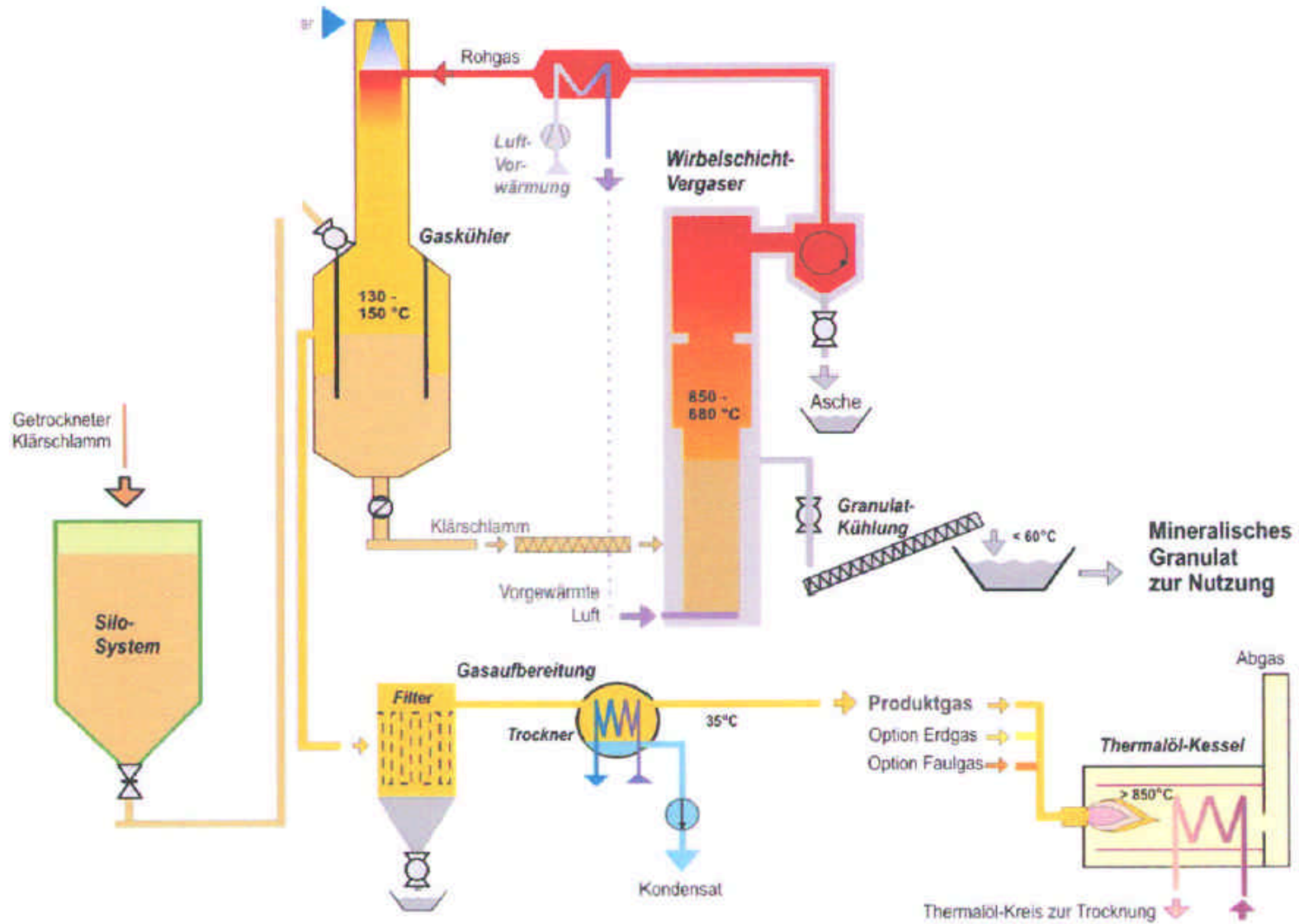
Pyrolyse



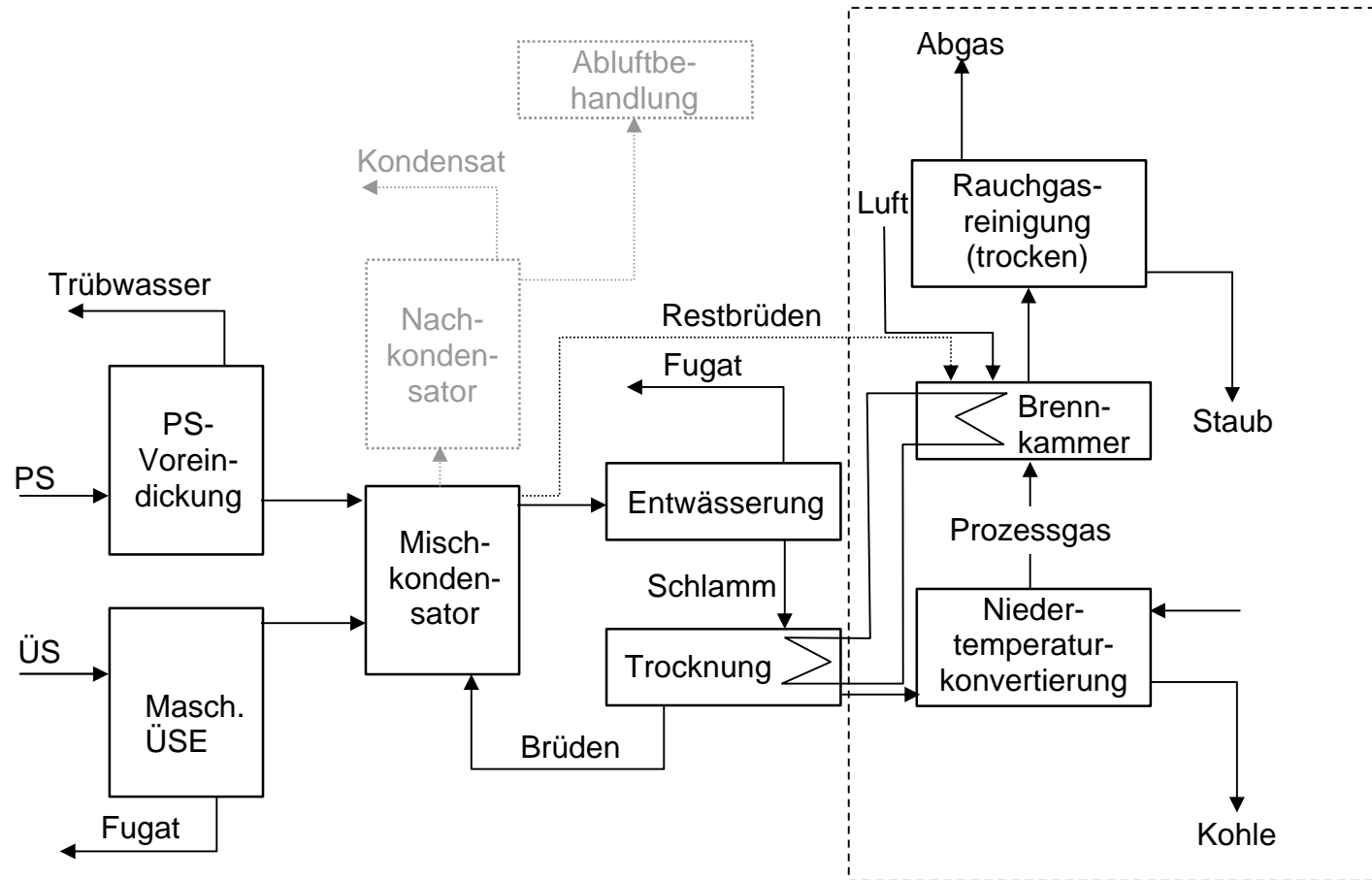
KDV-Verfahren



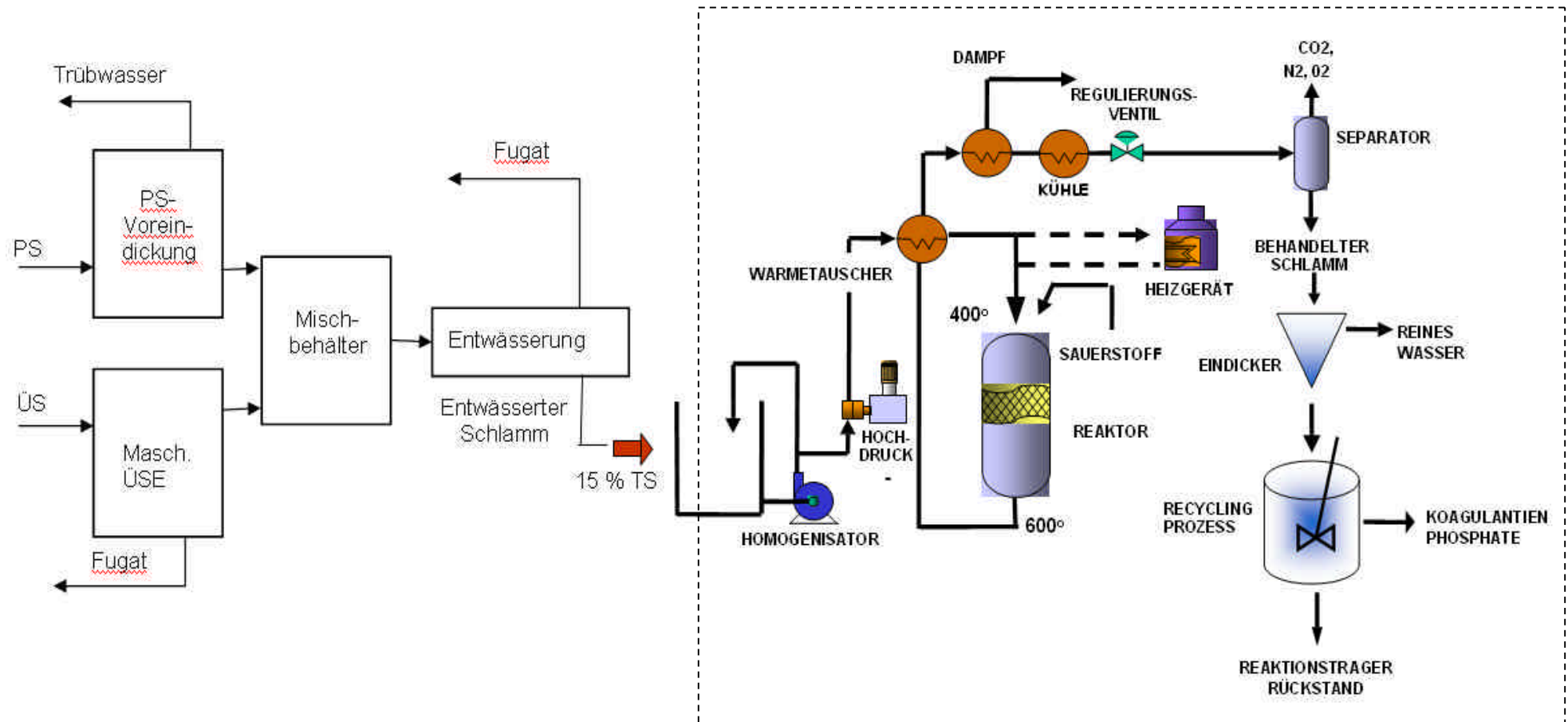
Vergasung



Niedrigtemperaturkonvertierung



Aqua-Reci-Verfahren

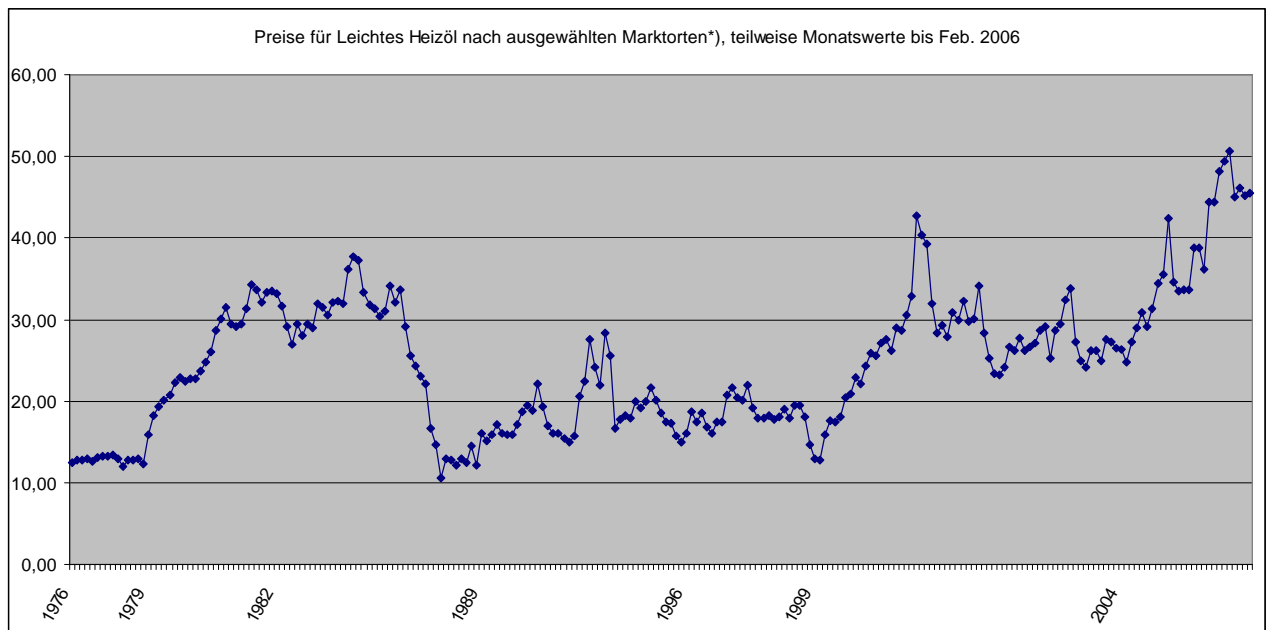


Seiten 30 – 69 (detaillierte Kostenblätter der einzelnen Verfahren)
wurden aus Gründen der Vertraulichkeit aus dem Dokument genommen.

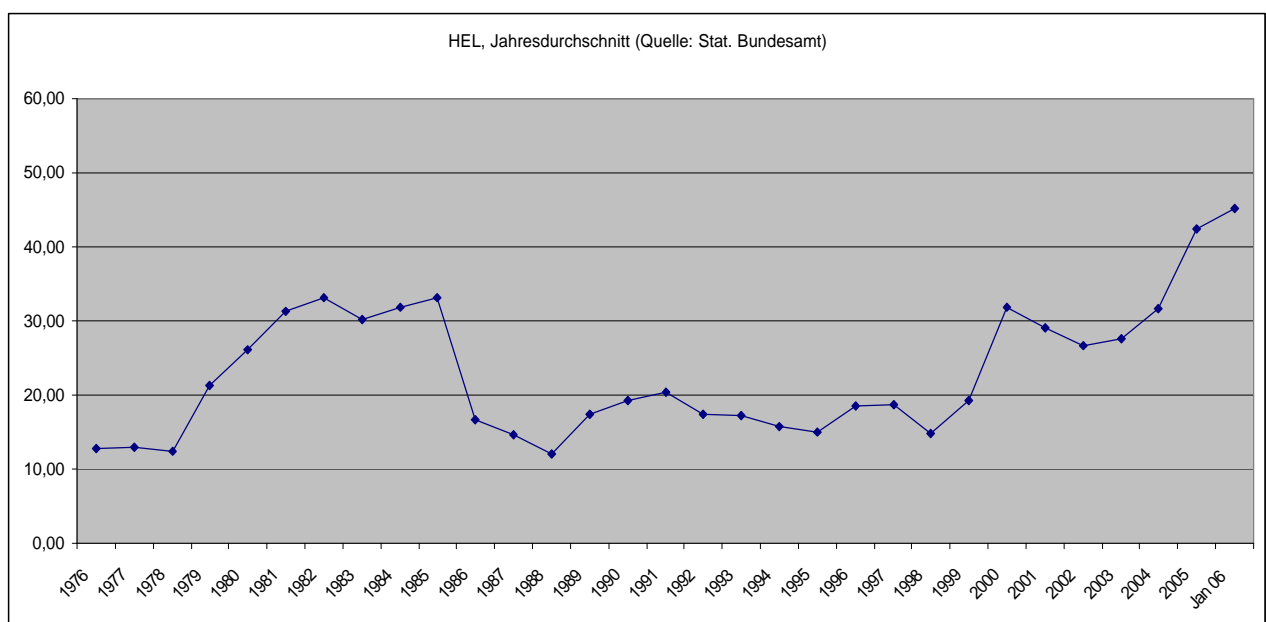
Anlage 12: Argumentation zur Festlegung des Heizöl- und damit Erdgaspreises

Da der Gaspreis auf Basis des Heizölpreises berechnet wird, ist es sinnvoll die Entwicklung des Heizölpreises über die letzten Jahrzehnte zu betrachten.

Nimmt man die Daten des statistischen Bundesamts der Jahre 1976 bis 2006 als Grundlage, dann ergibt sich unter Berücksichtigung von Monatsmittelwerten für Heizöl das folgende Bild.



Im folgenden Diagramm werden größeren Schwankungen während eines Jahres ausgeglichen, indem die Jahresmittelwerte dargestellt werden. Daraus ergibt sich der folgende Trend:



Auf der Tecson Website kann man durch das folgende Diagramm eine kurzfristige Tendenz zur Entwicklung des Heizölpreises der letzten gut 3 Jahre finden.



Zu diesem Diagramm ist anzumerken, dass der hier gezeigte Heizölpreis pro hl incl. MwSt. ist und damit über dem Wert Rheinschiene liegt, welcher als Basis zur Berechnung der Erdgaspreise der Stadtentwässerung Dresden gilt. Das heißt, der für Anfang 2006 ausgewiesene Preis von ca. €60/hl entspricht ca. €52.-/hl Netto, welcher nochmal um ca. €5.- nach unten korrigiert werden muss, um eine Vergleichbarkeit zum Wert Rheinschiene herzustellen. Demzufolge liegt der für die

SE DD relevante Wert bei aktuell €47.- /hl. (Es ist zu beachten, dass der zur Berechnung des Gaspreises genutzte Heizölpreis 6 Monate zeitversetzt Gültigkeit bekommt. Außerdem ist der für jedes Quartal anwendbare Wert der Mittelwert von 6 Monaten Rheinschienenwerten).

Da der Heizölpreis direkt abhängig vom Rohölpreis ist, muss dieser herangezogen werden, um eine bessere Einschätzung zur Entwicklung in der Zukunft vornehmen zu können. Hierzu soll eine aktuelle Spotanalyse von Tecson helfen die Situation einzuschätzen.

28. März **Starker Preisimpuls nach oben**

Aktueller Marktkommentar

Die Ölnotierungen an den Ölbörsen schnellten zum Dienstagsschlusskurs in steiler Rallye nach oben !!

Die Heizölpreise werden am Mittwoch ebenfalls spürbar anziehen...

US-Ölmarkt

Die USA wollen die eingelagerten 'Strategischen Ölreserven' erheblich erhöhen.

Die neuen US-Ölbestandszahlen des DOE werden Mittwoch Abend bekannt.

OPEC und Weltmarkt

Saudi Arabien beabsichtigt seine Raffineriekapazität bis 2010 zu verdoppeln. Damit können neben Rohöl auch Ölprodukte insbesondere für den asiatischen und amerikanischen Ölmarkt produziert und exportiert werden. Saudi Arabien will einem übermäßigen Ölpreisanstieg bremsend entgegen wirken.

Iran-Atomkonflikt :

Noch keine Lösung im Atomkonflikt mit dem Iran. Der iranische Präsident Ahmadinejad betonte nochmals, er bestehe auf dem Recht des Iran zur Anreicherung von Uran. Der Sicherheitsrat der UN konnte sich noch nicht auf einen Beschluss einigen. Der Iran ist der zweitwichtigste OPEC-Produzent und hat bereits mehrmals mit einer Lieferunterbrechung gedroht.

Die USA drängen auf Sanktionen gegen den Iran.

Die OPEC produziert derzeit knapp unter 30 Millionen Barrel Rohöl täglich. Die NON-OPEC Ländern produzieren zusammen knapp über 50 Millionen Barrel Rohöl pro Tag. Weiterhin starke Zuwachsraten kommen von Angola. Die Nordsee-Ölfördermengen dagegen nehmen ab. Nigerias Exporte sind derzeit um ca. 650.000 Tagesbarrel vermindert.

Die OPEC behält die Förderquoten bis Juni unverändert bei. Ihre Schätzung der Weltölnachfrage hat die OPEC leicht nach unten korrigiert.

Rohölpreise

OPEC-Basketpreis bei 58 Dollar pro Barrel.

US-Dollar (Ölwährung) notiert bei 0,828 € / US-\$.

Charts: [US-Dollar](#), [Rohölpreise](#)

Bestellen oder warten

Nur wenig Aussicht auf Preisrückgang. Marktanalytiker erwarten für Quartal II und III höhere Ölpreise. Der Preisanstieg dürfte schubhaft und unverhofft eintreten. Beispiel: Preisrallye Dienstag auf Mittwoch.

Quelle: Tecson Website, 28.03.2006

Es kann also davon ausgegangen werden, dass der Ölpreis kurzfristig noch steigen wird, aber mittelfristig wieder auf ein Niveau um die €40,- bis €45,- fällt. Ein Absinken unter dieses Niveau ist nach Ansicht des Autors eher unwahrscheinlich, da die wachsende Energienachfrage - insbesondere aus China und Indien - dem entgegen wirkt.

Setzt man einen Wert zwischen 40 und 45,- EUR/hl für heute an und rechnet mit 2% Inflation per a, so ergibt sich für das Bezugsjahr 2009 ein Preis von ca. €45,- /hl.

Anlage 13: Zusammenfassung der wichtigsten Korrespondenz und Aktivitäten

Im folgenden wird auf die für die Erstellung des Kostenvergleiches wichtigsten Aktivitäten stichpunktartig hingewiesen. Die detaillierten Informationen sind den entsprechenden Unterlagen entnehmbar.

- 1) Bestandsanlage
aktualisierte Kosten für den Ausbau der Bestandsanlage (interne Besprechung mit Fr. Krause am 21.03.2006)
- 2) Faulung
Die Investitionskosten für die untersuchten Faulungsanlagen wurden den PROWA-Unterlagen entnommen. (siehe dazu Bericht ‚Ausbau der Schlammbehandlung mit einer Faulungsanlage‘ vom 30.07.2004)
- 3) WS-Verbrennung
Richtpreisangebot BAMAG GmbH vom 19.09.2006 sowie Alternativangebot von Dr. Born & Dr. Ermel vom 22.02.2006
- 4) Pyrolyse
Richtpreisangebot vom 09.01.2006
Besuch der Referenzanlage Rotenburg a.d. Fulda am 01.12.2005
- 5) KDV-Verfahren
Besprechung mit Prof. Heimbürge am 09.02.2006 in der Zentralen Warte der SE DD
Fax von Hr. Dr. Koch vom 11.01.2006
Brief an Hr. Dr. Koch vom 09.01.2006
Fax an Fr. Krause vom 31.08.2005 mit Abschätzung der Investitions- und Betriebskosten
- 6) Vergasungsanlage
Angebot vom 03.02.2006
Besuch der Referenzanlage Balingen am 11.01.2006
- 7) Niedrigtemperaturkonvertierung
Informationsangebot vom 08.12.2005
Besuch der ZWT-Versuchsanlage in Eisleben (AWT) am 23.11.2005
- 8) Aqua-Reci-Verfahren
Richtpreisangebot vom 18.10.2005,
Anpassung des Angebotes auf 3-Straßigkeit am 21.01.2006

Desweiteren wurden wichtige Festlegungen in den folgenden Besprechungen vorgenommen.

- 9) Festlegung und Definition der Kriterien für die nichtmonetäre Bewertung
Besprechung der Arbeitsgruppe Ausbau Schlammbehandlung am
30.11.2005
- 10) Personalbedarf der betrachteten Verfahren im laufenden Betrieb
Besprechung mit Hr. Dr. Tietze und Hr. Wagner in der Zentralen Warte am
06.12.2005
- 11) Festlegung der Entsorgungspreise für die von den einzelnen Verfahren
produzierten Restprodukte
Besprechung mit Hr. Scholz (Abfallbeauftragter der SE DD) und Hr. Hüning
(MineralPlus) am 16.12.2005
- 12) Festlegung der Mehrsträgigkeit der Alternativverfahren
Besprechung der Arbeitsgruppe Ausbau Schlammbehandlung am
22.12.2005
- 13) Festlegung der Wichtung von monetärer zu nichtmonetärer Bewertung sowie
der einzelnen Kriterien
Besprechung mit der GF der SE DD am 03.02.2006 im BR C/D