



Klärschlammbehandlungskonzept der Münchner Stadtentwässerung

Bedarfsplanung Stufe 1

Abteilung MSE-Z

Februar 2016

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis.....	5
1. Bedarfsgrund und Vorgehensweise zur Bedarfsdeckung.....	6
1.1 Anlass und Notwendigkeit.....	6
1.2. Vorgehensweise Bedarfsdeckung.....	7
2. Bisherige Befassung.....	7
2.1 Einordnung im GEP.....	7
2.2 Befassung des Stadtrates.....	8
2.3 Aktuelle Befassung der MSE	9
3. Rahmenbedingungen.....	10
3.1 Aktueller Stand der Klärschlammmentsorgung.....	10
3.2 Schlammanfall und Prognose.....	15
3.3 Klärschlammbehandlungskosten.....	21
3.4 Handlungsrelevante Aspekte.....	22
4. Strategievergleich und -bewertung.....	26
4.1 Vorgehensweise	26
4.2 Strategien.....	27
4.3 Technische Konkretisierung.....	32
4.4 Kostenvergleich der Strategien.....	52
4.5 Gesamtbewertung.....	63
5. Zusammenfassung und Vorschlag für weiteres Vorgehen zur Bedarfsdeckung	70
Literaturverzeichnis.....	77
Anhangverzeichnis.....	79

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Darstellung der Verwertungswege für den anfallenden Klärschlamm bei der MSE.....	10
Abbildung 2: Verfahrensschema Klärschlammverbrennungsanlage MSE.....	11
Abbildung 3: Verfahrensschema Heizkraftwerk Nord.....	13
Abbildung 4: Darstellung des Faulschlammanfalls 1985 - 2013 (Quelle: Gewässerschutzbericht MSE 2013 [18]).....	16
Abbildung 5: Faulschlammgesamtanfall im Klärwerksverbund, 2004 - 2014.....	17
Abbildung 6: Faulschlammprognose mit spez. Anfall von 37 g TR/EW*d.....	20
Abbildung 7: Faulschlammprognose mit spez. Anfall von 39 g TR/EW*d.....	20
Abbildung 8: Darstellung der Vorgehensweise zur Strategiebewertung.....	26
Abbildung 9: Darstellung von Strategie 1: möglichst früher KVA-Neubau (etwa 2025), minimale Sanierung der bestehenden KVA.....	28
Abbildung 10: Darstellung von Strategie 2: später KVA-Neubau (etwa 2035), umfangreiche Sanierung der bestehenden KVA.....	29
Abbildung 11: Darstellung von Strategie 3: später KVA-Neubau (etwa 2035), Umrüstung der bestehenden KVA auf 2-Linienbetrieb mit 100 %iger Klärschlammverwertung.....	30
Abbildung 12: Darstellung von Strategie 4: später KVA-Neubau (etwa 2035), Umrüstung der bestehenden KVA auf 2-Linienbetrieb durch vorgezogenen Neubau der Schlammaufbereitung.....	31
Abbildung 13: Darstellung von Strategie 5: 100 %ige externe Klärschlammverwertung ab etwa 2025....	32
Abbildung 14: Darstellung der Notausschleusung bei Strategie 1 und 5.....	34
Abbildung 15: Darstellung der regulären Teilschlammausschleusung bei Strategie 2 im Falle des Verlustes des HKWN ab 2025.....	35
Abbildung 16: Darstellung der bestehenden KVA und des Pufferlagers in der Übergangsphase von Strategie 3 (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	37
Abbildung 17: Darstellung der angenommenen Anteile der intern bzw. extern verwerteten Schlammengen in der Übergangsphase von Strategie 3 (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	38
Abbildung 18: Darstellung der bestehenden KVA, der neuen Schlamm-aufbereitung und des Pufferlagers in der Übergangsphase von Strategie 4 (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	39
Abbildung 19: Darstellung von Szenario I und II als 3-D-Modell (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	44
Abbildung 20: Darstellung der zur Konzipierung der beispielhaften KVA gewählten Bunkertechnologie mit Annahme- und Ausschleusungsmöglichkeit für Schlamm (rechts) (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	45

Abbildung 21: Darstellung der Vollstromausschleusung bei Strategie 5 (links: Bunker mit Verladestation, rechts: Entwässerungsgebäude mit 5 Zentrifugen) (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	51
Abbildung 22: Darstellung des Betrachtungsumgriffs, der sich aus dem Schritt "Technische Konkretisierung" für die weitere Bewertung ergeben hat.....	51
Abbildung 23: Darstellung der vergleichenden Jahreskostenbetrachtung für Strategie 1 bis 5 mit Preissteigerungsfaktoren in Form von Jahreskurven für das Neubauszenario I (1-Linie) und Rauchgasreinigungsvariante B (nass) inklusive Erläuterungen (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	57
Abbildung 24: Darstellung des Ergebnisses der dynamischen Kostenvergleichsrechnung nach LAWA für die Strategien 1 und 2 für Neubauszenario I (1-Linie) und Rauchgasreinigungsvariante B (nass) inklusive Erläuterungen (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	59
Abbildung 25: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Strategien 1 und 2 für Neubau-Szenario I (1-Linie) in Kombination mit Rauchgasreinigungsvariante B (nass) unter Variation der Energiekosten (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	60
Abbildung 26: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Strategien 1 und 2 für Neubau-Szenario I (1-Linie) in Kombination mit Rauchgasreinigungsvariante B (nass) unter Variation der Klärschlamm Entsorgungskosten (Quelle: Born und Ermel, 2015).....	61
Abbildung 27: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Strategien 1 und 2 für Neubau-Szenario I (1-Linie) in Kombination mit Rauchgasreinigungsvariante B (nass) unter Variation der Investitionskosten (Quelle: Born und Ermel, 2015).....	61
Abbildung 28: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Strategien 1 und 2 für Neubau-Szenario I (1-Linie) in Kombination mit Rauchgasreinigungsvariante B (nass) unter Variation des Diskontierungssatzes (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	62
Abbildung 29: Darstellung der Matrix für die Gesamtbewertung der Strategien 1 bis 5.....	64
Abbildung 30: Darstellung von Strategie 1 als Vorschlag für die weitere Vorgehensweise	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Darstellung der maßgeblichen Schlammengen (Quelle: MSE-32).....	15
Tabelle 2: Prognosedarstellung 2030 der angeschlossenen Einwohner.....	19
Tabelle 3: Darstellung der Anlagenkonfiguration von Szenario I und II (RGR = Rauchgasreinigung) (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	43
Tabelle 4: Darstellung der für die Investitionskosten der Bautechnik gewählten Ansätze (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	53
Tabelle 5: Darstellung der allgemeinen Kostenansätze für die Jahreskostenbetrachtung.....	54
Tabelle 6: Darstellung der angenommenen Preissteigerungsfaktoren und Sensitivitäten.....	55
Tabelle 7: Darstellung der Investitionskosten 2015 für einen KVA-Neubau entsprechend den Strategien 1 bis 4 sowie den Einrichtungen für eine externe Schlammausschleusung bei Strategie 5 (Quelle: IB Born und Ermel, 2015).....	56

1. Bedarfsgrund und Vorgehensweise zur Bedarfsdeckung

1.1 Anlass und Notwendigkeit

Eine zentrale Aufgabe der Münchner Stadtentwässerung (MSE) betrifft neben der Ableitung und Reinigung des Abwassers die sichere Entsorgung der anfallenden Klärschlämme der beiden Münchner Klärwerke. Aus folgenden Gründen ist eine Anpassung der derzeitigen Klärschlammverwertung der MSE erforderlich (siehe dazu auch Kap. 3.4):

- Die Klärschlammverbrennungsanlage (KVA) auf dem Klärwerk Gut Großlappen befindet sich seit dem Jahr 1997 in Betrieb. Der Umfang an Revisionen und Betriebseinschränkungen hat altersbedingt in den letzten Jahren vor allem wegen mechanischer Abnutzungserscheinungen kontinuierlich zugenommen. Künftig ist mit einem immer stärker wachsenden Instandhaltungsaufwand und einer sinkenden Anlagenverfügbarkeit zu rechnen. Betroffen hiervon sind hauptsächlich die Schlammaufbereitung und die Rauchgasreinigung, aber auch weitere Komponenten wie z.B. der Bettascheaustrag oder die Wasser- und Druckluftversorgung.

Allgemeine Ursachen sind:

- zunehmende Schädigung von Hauptkomponenten der KVA,
- abnehmende Verfügbarkeit / Fachkenntnis von Servicefirmen für die annähernd 20 Jahre alten Komponenten,
- abnehmende Verfügbarkeit von Ersatzteilen für den alten Anlagenbestand bzw. zeitaufwendiger Umbau wegen Anpassungsarbeiten an aktuell verfügbaren Ersatzteilen,
- lange Lieferzeiten von Ersatzteilen

Dies hat negative Auswirkungen auf die Anlagenverfügbarkeit und die Entsorgungssicherheit für den Klärschlamm. [1,2]

- Die Dimensionierung der bestehenden KVA basiert auf einer Schlammprognose, deren prognostizierte Schlammengen sich nicht eingestellt haben, sodass für einen geplanten durchgängigen 2-Linienbetrieb heute i.d.R. nicht genügend Faulschlamm zur Verfügung steht, für einen 1-Linienbetrieb jedoch zu viel [3,4]. Aufgrund dieser Tatsache müssen bis heute rd. 30 % des anfallenden Faulschlammes im Heizkraftwerk-Nord (HKWN) zusammen mit Müll verbrannt werden.
- Die im Koalitionsvertrag getroffenen Vereinbarungen zum Thema Nachhaltigkeit sehen eine Rückgewinnung des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors sowie einen Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung vor [5]. Die Umsetzung dieser Nachhaltigkeitsstrategie soll mit der Novellierung der Klärschlammverordnung erfolgen. Ein entsprechender Referentenentwurf wurde am 27.08.2015 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMUB) veröffentlicht.

Die formale Ressortabstimmung soll demnächst eingeleitet werden (Stand Februar 2016). Aktuell ist jedoch zu erwarten, dass die Möglichkeiten der Mitverbrennung von Klärschlamm sowie die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung künftig sehr stark eingeschränkt werden [6]. Der bisher praktizierte Entsorgungspfad über das Heizkraftwerk-Nord für ca. 1/3 des Klärschlamms wäre nach derzeitigem Sachstand in Anbetracht der genannten Übergangsfristen ab dem 01.01.2025 rechtlich nicht mehr zulässig. Eine Mitverbrennung im HKWN bis zu dieser Frist ist nach derzeitigem Kenntnisstand aus technischen und betrieblichen Gründen möglich [Quelle: Aussage AWM, 2016].

- Aufgrund der Energiewende gibt es bereits heute immer weniger alternative Mitverbrennungskapazitäten für Klärschlamm (Leistungsreduktion großer Kraftwerke, geplanter Ausstieg aus der Braunkohlefeuerung) [7].
- Die Preise für eine externe Klärschlamm Entsorgung sind aufgrund der aktuellen Entwicklungen stark angestiegen. Weitere deutliche Preisanstiege (bis zu 100 %) werden prognostiziert. Dies zeigt bspw. eine Umfrage des Verbands kommunaler Unternehmen aus dem Jahr 2014 [8].

In Anbetracht der genannten Aspekte ist die Entwicklung einer strategischen Vorgehensweise erforderlich, die es der MSE ermöglicht, eine rechtskonforme und zukunftssichere Klärschlammbehandlung gewährleisten zu können.

1.2. Vorgehensweise Bedarfsdeckung

Um auf die genannten Aspekte (nähere Erläuterung siehe Kapitel 3.4) reagieren zu können, wurden fünf mögliche Strategien für eine künftige Klärschlammbehandlung entwickelt (siehe Kapitel 4). Die Strategien bestehen jeweils aus der Summe aller Maßnahmen, die erforderlich sind, um den anfallenden Klärschlamm kurz-, mittel- und langfristig sicher verwerten zu können. Ausgehend von der Gegenwart beinhalten sie immer eine Übergangsphase und eine Endphase. Die Übergangsphase ist in erster Linie geprägt vom Umgang mit der bestehenden KVA und der externen Entsorgung, die Endphase von einer Ablösung der bestehenden KVA durch eine neue Anlage bzw. durch einen rein externen Entsorger.

Zur Festlegung auf eine bestimmte Strategie wurde eine auf wirtschaftlichen, technischen und risikobasierten Kriterien aufgebaute, vergleichende Bewertung durchgeführt (siehe Kapitel 4). Die MSE wurde hierzu von einem externen Ingenieurbüro (IB) unterstützt.

2. Bisherige Befassung

2.1 Einordnung im GEP

Im GEP 2001 "Teil Klärschlamm Entsorgung" ist schon erkennbar, dass es einer Neuordnung der Klärschlamm Entsorgung bei wesentlichen Änderungen bedarf [9]:

Der GEP 2001 beleuchtet die Gesamtsituation inkl. Auslastung der Klärschlammverbrennungsanlage und des HKWN. Es wurde festgestellt, dass der tatsächliche Klärschlammfall nicht mit der Prognose von Prof. Seyfried (1991) übereinstimmt. In einer zweiten Prognose von Prof. Seyfried (1996) wurde die anfallende Klärschlammmenge nach unten korrigiert, die Erwartungswerte wurden auch hier nicht erreicht [3,4,9].

Der GEP 2001 kommt zu dem Ergebnis, dass mit diesen überarbeiteten Prognosewerten für den anfallenden Klärschlamm keine ausreichend hohen Gesamtentsorgungskapazitäten (HKWN + KVA) im Havariefall zur Verfügung stehen. Bei einem Gesamtausfall des HKWN kann der erwartete Klärschlammfall alleine nicht in der KVA verbrannt werden, da der real anfallende Faulschlamm nicht zur Auslegung der KVA passt. Für den Betrieb von zwei Linien steht nicht ausreichend Schlamm zur Verfügung, für den Betrieb einer Linie ist aber die Schlammmenge zu hoch [9]. Es ist kein passender Teillastbetrieb möglich, da der für einen stabilen Betrieb des Wirbelschichtofens erforderliche Mindestschlamminput im 2-Linienbetrieb nicht erreicht wird. Bei einem Gesamtausfall der KVA ist das Szenario nur beherrschbar mit Betrieb beider Linien im ersten Block und mindestens einer Linie im dritten Block des HKW Nord (s. verfahrenstechnische Beschreibung im Kap. 3.1).

Im GEP 2001 wurde bereits der Ersatz des Blockes 3 bedacht. In diesem Fall schlägt der GEP 2001 eine rechtzeitige Erweiterung der KVA vor. [9]

Das vorliegende Bedarfsprogramm Stufe 1 ergänzt den bestehenden GEP 2001 und stellt einen wesentlichen Baustein des zukünftigen Generalentwässerungsplans dar.

2.2 Befassung des Stadtrates

Eine Beschlussfassung über das städtische Abfallentsorgungskonzept erfolgte am 20.07.1982. Dieses sieht eine Entsorgung des gesamten Münchner Klärschlammes durch Verbrennung vor. [10]

Mit dem Beschluss vom 26.06.1985 wurde das Ergebnis der durchgeführten Standortuntersuchungen für Müll- und Klärschlammverbrennungsanlagen gebilligt. Die Verwaltung wurde beauftragt, ein Raumordnungsverfahren einzuleiten. Mit dem Beschluss vom 22.01.1986 wurde festgelegt, dass kein gemeinsamer Standort für die Müll- und Klärschlammverbrennung weiterverfolgt wird. [10]

Nach positivem Abschluss des Raumordnungsverfahrens wurde vom Münchner Stadtrat am 06.08.1986 der Beschluss gefasst, die Unterlagen für ein Planfeststellungsverfahren auszuarbeiten und dieses bei der Regierung von Oberbayern einzuleiten. [10]

Am 23.05.1990 wurde die Projektgenehmigung für die KVA beschlossen. Vorgaben des Stadtrates waren hierbei der Nachweis durch Gutachten, dass die Klärschlammmonoverbrennung im Vergleich zu anderen Verfahren weniger gesundheitsschädlich und umweltbelastend ist und dass eine Umweltverträglichkeitsprüfung durchgeführt wird. [10]

In der Vollversammlung des Stadtrats vom 19.02.1992 wurde das Planfeststellungsverfahren für die KVA beschlossen. Dabei erfolgte auch der Auftrag, mittels Aktivkohle-Filter die Schadstoffemissionen nochmals deutlich zu senken. [11]

1993 wurde der Gesamtentwässerungsplan von 1992 zustimmend zur Kenntnis genommen.

1996 ist der Stadtrat über die zwischenzeitliche Entwicklung von Klärschlammanfall und -entsorgung unterrichtet worden. [9]

Im Jahr 2002 wurde dem Stadtrat der GEP 2001 "Teil Klärschlammentsorgung" vorgelegt.

2.3 Aktuelle Befassung der MSE

Bereits im Jahr 2009 hat sich die MSE durch eine Beteiligung an einer Grundsatzstudie mit dem "Stand der Technik bei der Klärschlammbehandlung" intensiv beschäftigt. Ergebnis der Studie war, dass der von der MSE eingeschlagene Weg, Verbrennung von ausgefaultem Klärschlamm in einer Monoverbrennungsanlage mit Wirbelschichttechnologie aus ökonomischen, ökologischen und verfahrenstechnischen Gründen die beste Lösung ist. [12] Als konkrete erste Maßnahme wurde ab 08/2010 ein Klärschlammnotfallkonzept entwickelt, das am 08.04.2013 der Werkleitung vorgestellt wurde. In dem Dokument „Klärschlammnotfallkonzept für das KLV I und II“ (2013) [13] wurde eine Vielzahl von möglichen Notfallszenarien untersucht und bewertet. Als Ergebnisse wurden das Projekt "Erweiterung am Hauptschlammumpwerk" inklusive der Notausschleusung im KLV I initiiert und die Bestandsaufnahme der KVA beauftragt. Der Zustand der vorhandenen KVA wurde durch das Gutachten „KVA-Anlagencheck“ (12/2013-07/2015) [1,2] erfasst und bewertet. Ausgehend von den Ergebnissen wurden unterschiedliche Sanierungskonzepte erarbeitet, die sich an der angestrebten Nutzungsdauer orientieren.

Im Oktober 2013 wurde im Rahmen der Strategietagung der MSE die Zukunft der Klärschlammentsorgung als eines von fünf wichtigen unternehmenskritischen Themen für die MSE als dringlich eingestuft.

Bereits einen Monat später wurde zwischen der Werkleitung und MSE-Z schriftlich das Ziel definiert, das komplette System der Klärschlamm- und Aschebehandlung konzeptionell zu überarbeiten und eine zukünftige Strategie zu entwickeln. In einem Workshop mit der Werkleitung und allen Abteilungsleitern wurde im Januar 2014 der Sachstand zur Klärschlammbehandlung erörtert sowie nochmals die Dringlichkeit für die Überarbeitung der bisherigen Vorgehensweise festgestellt.

Mit der ersten Sitzung am 22.09.2014 hat der Lenkungskreis seine Tätigkeit aufgenommen. Die Sitzungen finden im vierteljährlichen Turnus statt. Insgesamt fanden bisher sieben Sitzungen statt.

3. Rahmenbedingungen

3.1 Aktueller Stand der Klärschlamm Entsorgung

Jährlich fallen rund 1 Mio. m³ bzw. 30.000 bis 31.000 t TR/a an ausgefaultem Klärschlamm insgesamt auf beiden Klärwerken an [14]. Der im Klärwerk Gut Marienhof anfallende und ausgefaulte Klärschlamm wird über eine 15 km lange Druckleitung in die Vorlagebehälter des Klärwerks Gut Großlappen gepumpt. Der Klärschlamm beider Klärwerke wird dort kurzfristig zwischengespeichert. Durch das Hauptschlammumpwerk (HSPW) wird der Schlamm zur Verwertung in die KVA und/oder in das HKWN gepumpt. In der KVA werden rund 70 % des anfallenden Schlamms monoverbrannt, der Rest wird im HKWN zusammen mit Restmüll verbrannt. Ab dem Jahr 2017 wird es zusätzlich eine Klärschlammnotausschleusung auf beiden Klärwerken geben, durch die der Schlamm im Notfall aus dem System ausgeschleust werden kann (siehe dazu auch Kap. 2.3).

In Abbildung 1 werden die soeben geschilderten Zusammenhänge grafisch dargestellt.

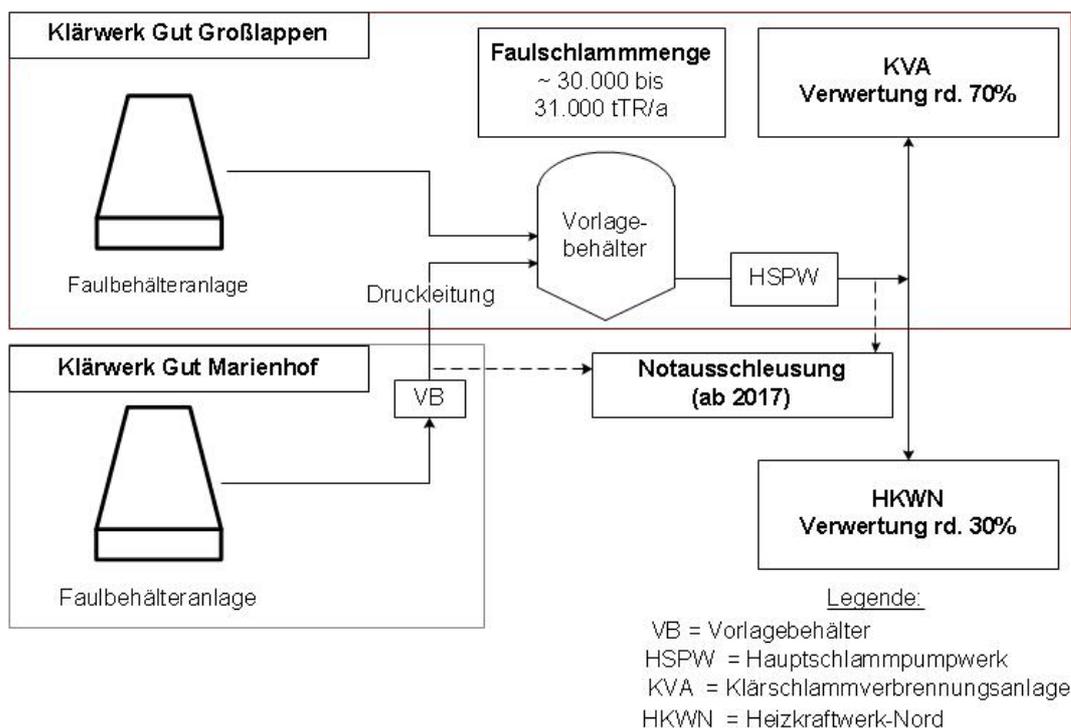


Abbildung 1: Darstellung der Verwertungswege für den anfallenden Klärschlamm bei der MSE

Die Verfahrenstechnik der beiden Entsorgungswege KVA und HKWN wird nachfolgend detaillierter erläutert.

Klärschlammverbrennungsanlage KVA

Bei der KVA im Klärwerk Gut Großlappen handelt es sich um eine Monoverbrennungsanlage, d.h. es wird ausschließlich Klärschlamm verbrannt. Die Anlage ist gemäß Bescheid der Regierung von Oberbayern seit 28.12.1993 [15] genehmigt und befindet sich seit dem Jahr 1997 in Betrieb. Sie ist als stationäre Wirbelschichtfeuerung mit vorgeschalteter mechanischer Entwässerung und dampfbeheizter Vortrocknung konzipiert.

Die KVA ist in zwei gleiche Verfahrenslinien aufgeteilt. Diese bestehen aus:

- Schlammaufbereitung mit Entwässerung und Trocknung
- Verbrennung in der Wirbelschicht inkl. Wasser-Dampf-Kreislauf und
- Rauchgasreinigung.

Das Verfahrensschema der KVA wird in Abbildung 2 dargestellt.

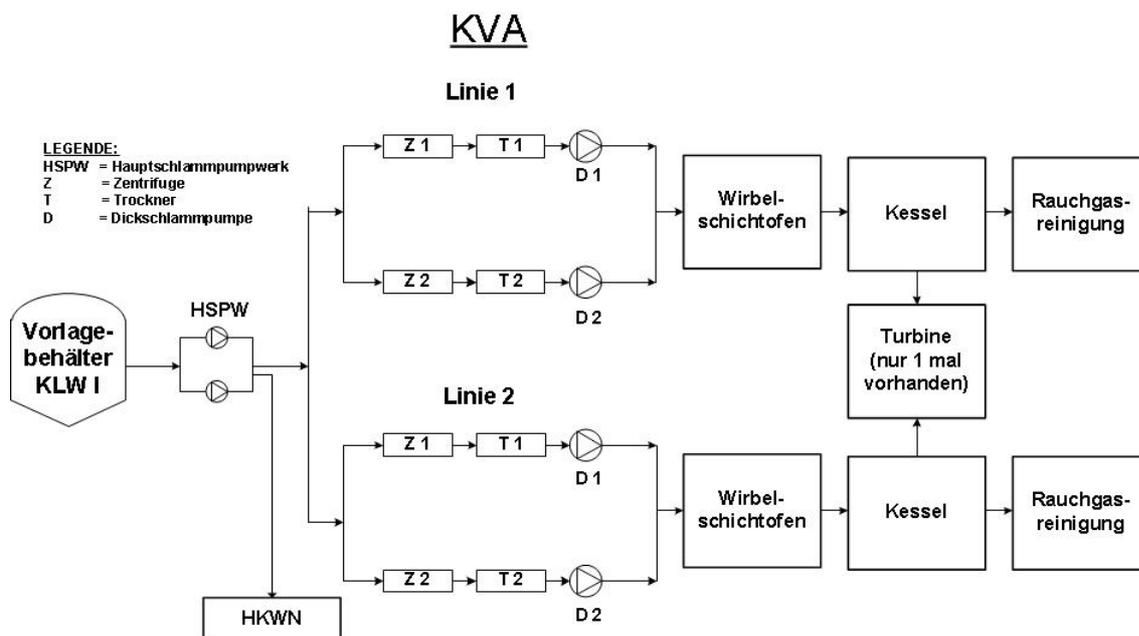


Abbildung 2: Verfahrensschema Klärschlammverbrennungsanlage MSE

Verfahrenstechnik

Die Schlammaufbereitung umfasst die Entwässerung und Trocknung des ausgefalten Klärschlammes zur Herstellung eines selbstgänglich brennenden Produkts. Der Faulschlamm (rund 2,7 % Trockenrückstand) wird in Zentrifugen mit Hilfe von Flockungshilfsmitteln mechanisch entwässert. Dabei wird ein Trockenrückstand von ca. 25 % erreicht.

Über einen Kontaktscheibentrockner, der mit Dampf aus der Turbine der Klärschlammverbrennungsanlage beheizt wird, erfolgt die Trocknung auf ca. 45 % TR [14].

Dieser Trocknungsgrad reicht aus, damit in der Wirbelschicht eine selbständige Verbrennung des Schlammes bei ca. 850 °C erfolgen kann. Das heiße Abgas aus der Verbrennung wird im nachgeschalteten Kessel auf 200 °C gekühlt. Der dabei erzeugte Hochdruckdampf (40 bar, 400 °C) wird in einer Dampfturbine mit Generator (Nennleistung 1,2 MW_{el}) in elektrische Energie umgewandelt. Hierbei entstehen rund 3 Mio. Kilowattstunden an Strom pro Jahr [14]. Dies entspricht etwa 30 % der in der KVA insgesamt benötigten Strommenge [14].

Der entspannte Dampf wird bei ca. 5 bar und 160 °C ausgekoppelt und als Niederdruckdampf zur Trocknung des Klärschlammes verwendet.

Das bei der Verbrennung des Klärschlammes entstehende Abgas wird anschließend in einer Rauchgasreinigung (jede Linie verfügt über eine eigene Rauchgasreinigung) behandelt. In einer ersten Abgasreinigungsstufe wird die Asche aus dem Abgas im Kessel und in einem Elektrofilter abgeschieden, ausgeschleust und in Aschesilos zwischengelagert. Anschließend durchströmt das teilgereinigte Abgas nach einer Kühlung von 200 °C auf 140 °C im Wärmetauscher die nachgeschalteten Gewebefilter. Vor Eintritt in die Gewebefilter wird ein Adsorbens (Aktivkohlegemisch) zur Abtrennung von leichtflüchtigen Schwermetallen (Cadmium, Quecksilber...) und Chloriden beigefügt. Das belastete Adsorbens wird über die Gewebefilter abgefangen und in ein Silo abgeführt. In der nachfolgenden zweistufigen Wäsche wird mit Hilfe von Kalksteinmehl (CaCO₃-Suspension) insbesondere Schwefeldioxid absorbiert. Die bei der Schwefeldioxidabscheidung entstehende Gips suspension wird aufbereitet, gereinigt, angereichert, entwässert und als Gips ausgeschleust. Das gereinigte Abgas durchströmt danach einen Abgaskühler und in der letzten Stufe einen Nasselektrofilter zur Abscheidung von Resttropfen. Mittels Wärmetauscher wird die gereinigte Abluft auf mindestens 105 °C erwärmt und durch den Kamin in die Atmosphäre abgeleitet.

Die bestehende Technologie der Rauchgasreinigung aus dem Jahr 1997 unterschreitet die Vorgaben der 17. BImSchV deutlich und hat einen auch für heutige Verhältnisse sehr hohen Reinigungsstandard (siehe dazu Anhang 9).

Durchsatzleistung

Die KVA besitzt eine Nennleistung von 3 t TR Klärschlamm pro Stunde je Linie. Die tatsächlich erreichbare Leistung ist geringer. Sie ist durch die maximal zulässige Kesselleistung begrenzt. Abhängig vom Gehalt des Klärschlammes an organischer Trockensubstanz (oTR), also dem eigentlichen Energieinhalt des Schlammes, liegt die obere Grenze derzeit bei ca. 2,8 t TR/h bei einem oTR-Gehalt von rund 55 %. Die Leistung der KVA ist auch nach unten hin begrenzt. Dieser Wert liegt bei 2 t TR/h je Linie. Die KVA wird derzeit i.d.R. im 1-Linienbetrieb betrieben, da der derzeitige Schlammanfall nicht ausreicht, um beide Linien gleichzeitig betreiben zu können.

Ascheentsorgung

Die im Verbrennungsprozess anfallende Asche wird derzeit noch auf der MSE-eigenen Deponie Nord als Bauzuschlagsstoff im Rahmen der Baumaßnahme „Oberflächenabdeckung Deponie Nord neu“ eingesetzt. Ab Februar 2016 wird die Asche zunächst für 2 Jahre (mit einer optionalen Verlängerungsmöglichkeit um weitere 2 Jahre) einem externen Entsorger angedient. Die Verwertung erfolgt in dieser Zeit als Versatzmaterial im Bergbau. Die künftige langfristige "Asche-strategie" wird derzeit erarbeitet.

Heizkraftwerk Nord (HKWN)

Im HKWN werden drei Verbrennungsblöcke betrieben. In den Blöcken 1 und 3 wird Müll verbrannt, im Block 2 Steinkohle. Eine Mitverbrennung von Klärschlamm erfolgt vorzugsweise im Block 3, in Ausnahmefällen auch im Block 1. Den Blöcken 3 und 1 sind wiederum jeweils 2 Verbrennungslinien zugeordnet. Es erfolgt keine Verbrennung von Klärschlamm im Block 2. Das Verfahrensschema des Heizkraftwerks Nord wird in Abbildung 3 dargestellt.

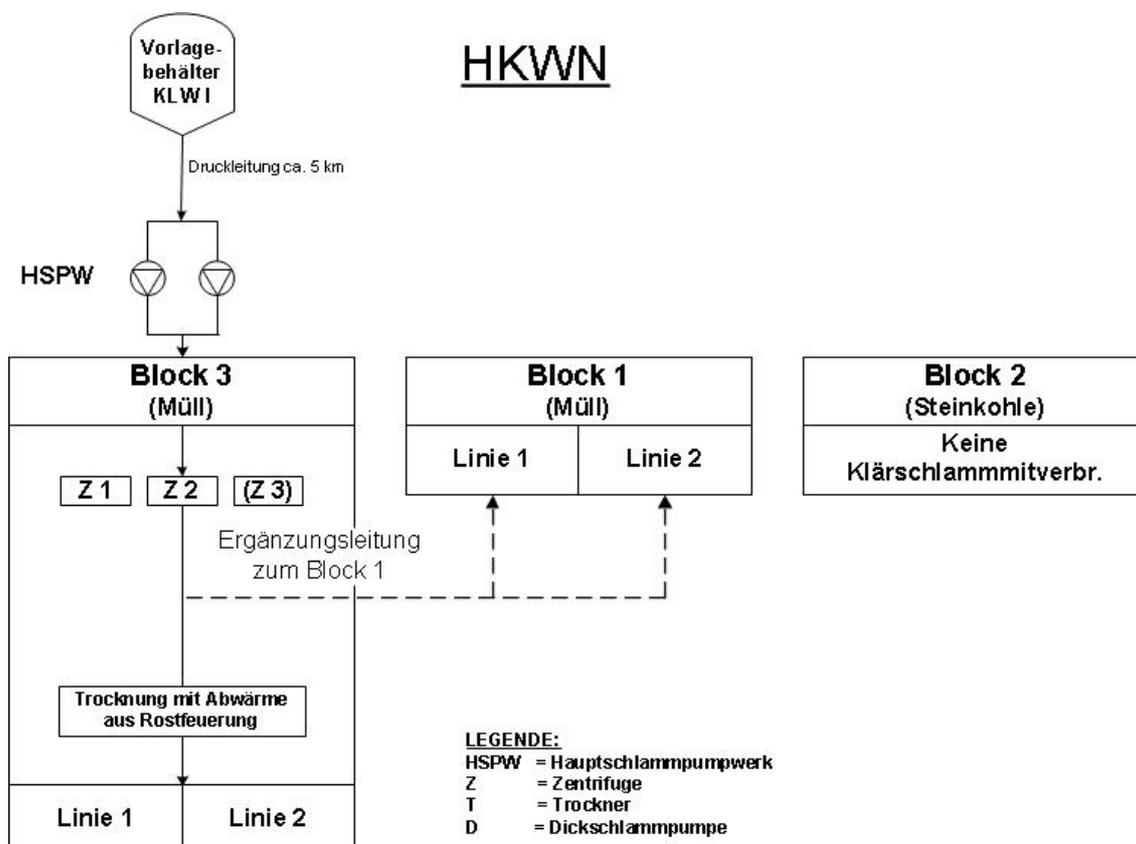


Abbildung 3: Verfahrensschema Heizkraftwerk Nord

Verfahrenstechnik

Nachdem der Faulschlamm über eine Druckleitung von den Vorlagebehältern im KLV I zum HKWN gepumpt wurde, wird er zunächst im Block 3 durch zwei Zentrifugen entwässert (Entwässerung des Schlammes von ca. 3 % TR auf ca. 22 % TR). Eine dritte Zentrifuge befindet sich in Reserve und kann bei Bedarf zugeschaltet werden. Zur Trocknung wird der Schlamm anschließend über Düsen in den Trockner eingeblasen, wo er durch das in den Müllkesseln anfallende Heißgas (ca. 800 °C) auf einen TR-Gehalt von ca. 80 % getrocknet wird. Danach wird der Schlamm in Staubform in den Feuerraum oberhalb des Rückschubrostes eingeblasen und noch in Schwebelagerung verbrannt. Die Hausmüllverbrennung wird daher im Block 3 von der Klärschlammverbrennung kaum beeinflusst. Darüber hinaus ist es möglich, eine Teilmenge des im Block 3 entwässerten Schlammes über eine Ergänzungsleitung in die Müllkessel von Block 1 zu leiten und dort zu verbrennen.

Durchsatzleistung

Die beiden Pumpen des HSPW können je 200 m³/h an Faulschlamm vom KLV I zum HKWN leiten. Über die beiden Zentrifugen im Block 3 können etwa 2*100 m³/h an Faulschlamm (bei 3 % TR) entwässert werden. Im Block 3 stehen für die Mitverbrennung von Faulschlamm theoretisch zwei Linien mit einer jeweiligen Entsorgungskapazität von 55 m³/h (entspricht ca. 2*40 t TR/d bei 3 % TR im Klärschlamm) zur Verfügung. Über eine Ergänzungsleitung können weitere 2*20 m³/h (entspricht ca. 2*15 t TR/d) im Block 1 entsorgt werden.

Betriebsführungsvertrag mit den Stadtwerken München

Die durchschnittlich bei der MSE jährlich anfallende Klärschlammmenge beträgt ca. 125 m³/h [14]. In Ausnahmefällen sind auch bis zu 150 m³/h möglich. In der Regel werden etwa 40 - 50 m³/h diskontinuierlich zum HKWN geleitet. Gemäß dem am 01.02.2015 in Kraft getretenen geänderten Betriebsführungsvertrag stehen der MSE in der Regel 95 m³/h (entspricht in Summe rd. 70 t TR/d) an Entsorgungskapazitäten für die Mitverbrennung zur Verfügung [16]. Je nach betrieblichen Möglichkeiten und zeitlichem Vorlauf (bis zu 16 d) können vertraglich auch bis zu 150 m³/h (entspricht ca. 110 t TR/d) im HKWN mitverbrannt werden. Diese Menge steht dann jedoch nur für einen kurzen Zeitraum (maximal 5 d) zur Verfügung.[16]

In Tabelle 1 werden die maßgeblichen Entsorgungsmengen der MSE im HKWN dargestellt.

Jahresdurchschnitt FS (KLW I+II) [m ³ /h]	125
Maximalmenge FS (KLW I+II) [m ³ /h]	ca. 150
Durchschnitt FS zum HKWN [m ³ /h] (KVA läuft)	40 – 50
FS zum HKWN, wenn KVA nicht läuft [m ³ /h]	100 – 150

Tabelle 1: Darstellung der maßgeblichen Schlammengen
(Quelle: MSE-32)

Die vertraglich vereinbarten Kapazitäten des HKWN für die Mitverbrennung sind demzufolge für den Regelbetrieb sowie kürzere Anlagenstillstände in der KVA ausreichend. Bei einem Ausfall der KVA für eine längere Zeit sind die Kapazitäten jedoch zu gering. Um die Entsorgungssicherheit zu erhöhen, wird daher von MSE-2 aktuell ein Klärschlammnotfallkonzept umgesetzt (Stand Februar 2016).

Alternative Notausschleusungsbesicherung

Derzeit besteht sowohl im KLW I als auch im KLW II keine Möglichkeit den Klärschlamm auszuschleusen und extern zu entsorgen.

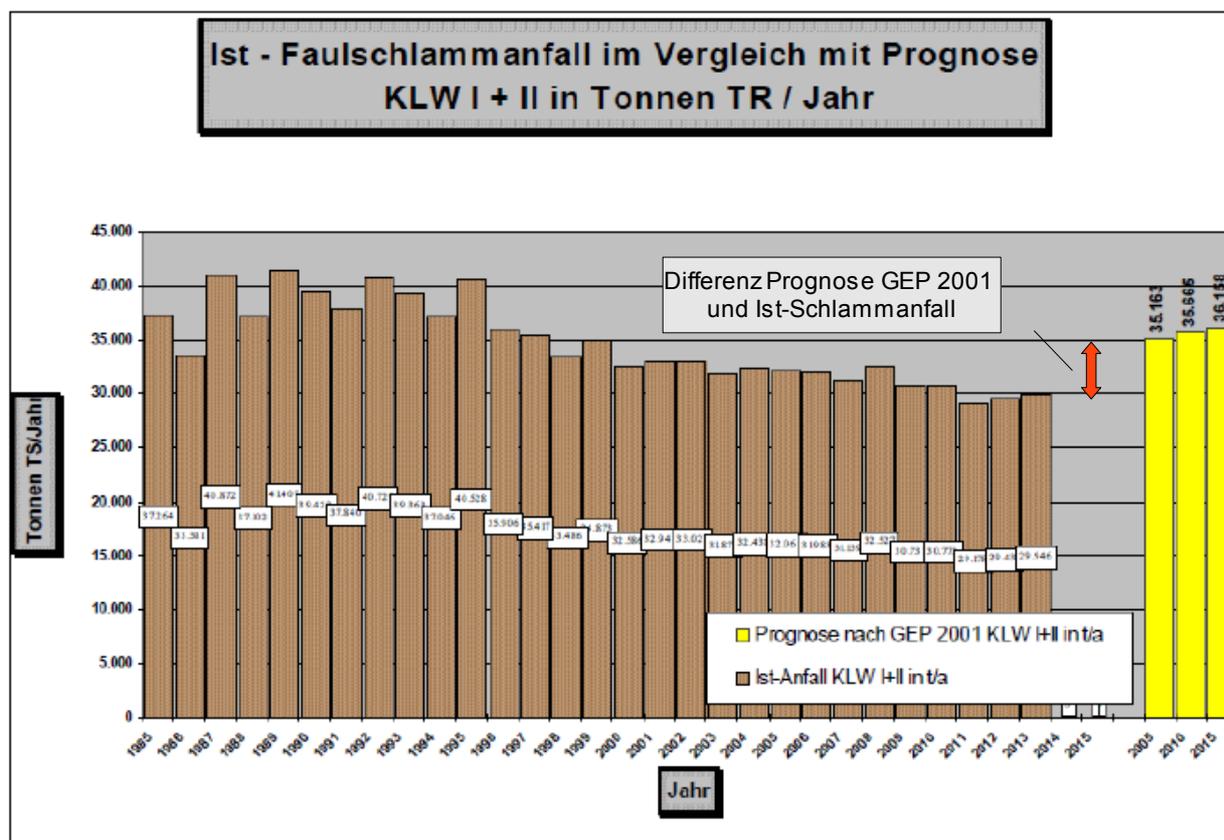
Bei MSE-2 werden aktuell verschiedene Möglichkeiten der Klärschlammausschleusung untersucht. So werden derzeit Varianten im Bereich des Hauptschlammumpwerks als auch bei der KVA in Betracht gezogen. Dies dient vor allem der Entsorgungssicherheit der Klärwerke. Dadurch besteht die Möglichkeit, bei einem längeren Ausfall der KVA oder des HKWN den täglich anfallenden Klärschlamm auf dem KLW I zu entwässern und mittels LKW abzutransportieren. Aktuell ist die Vorplanung zum Projekt "Erweiterung Hauptschlammumpwerk" kurz vor dem Abschluss. Die Notausschleusung soll ab dem Jahr 2017 einsatzbereit sein (Stand Dez. 2015) [17].

3.2 Schlammanfall und Prognose

Die letzte Klärschlammprognose wurde durch Prof. Seyfried im Jahr 1996 durchgeführt [4]. Seither ist keine weitere Prognose erfolgt. Um mögliche Szenarien für eine zukünftige Klärschlammverwertung erstellen zu können, ist es notwendig zu wissen, wie viel Klärschlamm zukünftig anfallen wird.

Der IST-Faulschlammanfall wird in Abbildung 4 von 1985 bis 2013 dargestellt. In diesem Zeitraum hat der Faulschlammanfall von ca. 37.000 t TR/a stetig abgenommen. Seit dem Jahr 2009 ist der jährliche Schlammanfall nahezu konstant bei rund 30.000 bis 31.000 t TR/a (entspricht ca. 1,1 Mio. m³ pro Jahr).

Somit ergibt sich ein durchschnittlicher stündlicher Faulschlammanfall von ca. 125 m³/h bzw. 90 t TR/d. Die in Kapitel 2.1 "Einordnung im GEP" erwähnte Diskrepanz zwischen abnehmenden Faulschlammengen und den Prognosewerten nach GEP 2001 ist erkennbar.



Quelle: Gewässerschutzbericht MSE 2013; MSE-Z-C

Abbildung 4: Darstellung des Faulschlammanfalls 1985 - 2013

(Quelle: Gewässerschutzbericht MSE 2013 [18])

Zur Dimensionierung einer neuen KVA (siehe Kap. 4.3) wurde aufgrund der angesprochenen Diskrepanz zwischen alter Prognose und IST-Schlammwerten [19] eine neue Schlammprognose für die nach derzeitigem Kenntnisstand im Jahre 2030 (der Zeitraum bis 2030 entspricht der derzeit maximal betrachteten Zeit durch das Referat für Stadtplanung und Bauordnung der LHM für die Einwohnerprognose) zu erwartenden Klärschlammengen erstellt. Hierzu wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

Schritt 1: Ermittlung der einwohnerspezifischen Schlammfracht

Aus den IST-Schlammwerten wurde in Kombination mit den aktuell an die Klärwerke angeschlossenen Einwohnern (EW) eine einwohnerspezifische Schlammfracht ermittelt (Einheit: g TR pro Einwohner und Tag). Hierzu wurden die Daten der Jahre 2008 bis 2012 verwendet. Die Daten für den gesamten Faulschlammgesamtanfall konnten ab 2013 aufgrund eines verstärkten Auftretens von Schwimmschlamm und einem Brand im Maschinenhaus des Klärwerks Gut Marienhof nicht verwendet werden (s. Abb. 5).

Somit wird im weiteren als Bezugsjahr das Jahr 2012 gewählt, da bis dahin konsistente Werte vorliegen.

Für die MSE wurde eine Bandbreite der spezifischen Schlammfracht zwischen 37 g TR/EW*d und 39 g TR/EW*d festgestellt. Es wurde erkannt, dass sich die einwohnerspezifische Schlammfracht gerade in den letzten Jahren nahezu konstant verhält. Dieser Trend wurde auch im Rahmen der neuesten DWA-Klärschlammstatistik auf den Klärschlammtagen in Potsdam (15.06.2015) belegt [20]. Daher wurden die ermittelten Werte (37 und 39 g TR/EW*d) als konstante Bandbreite für die Prognose angenommen.

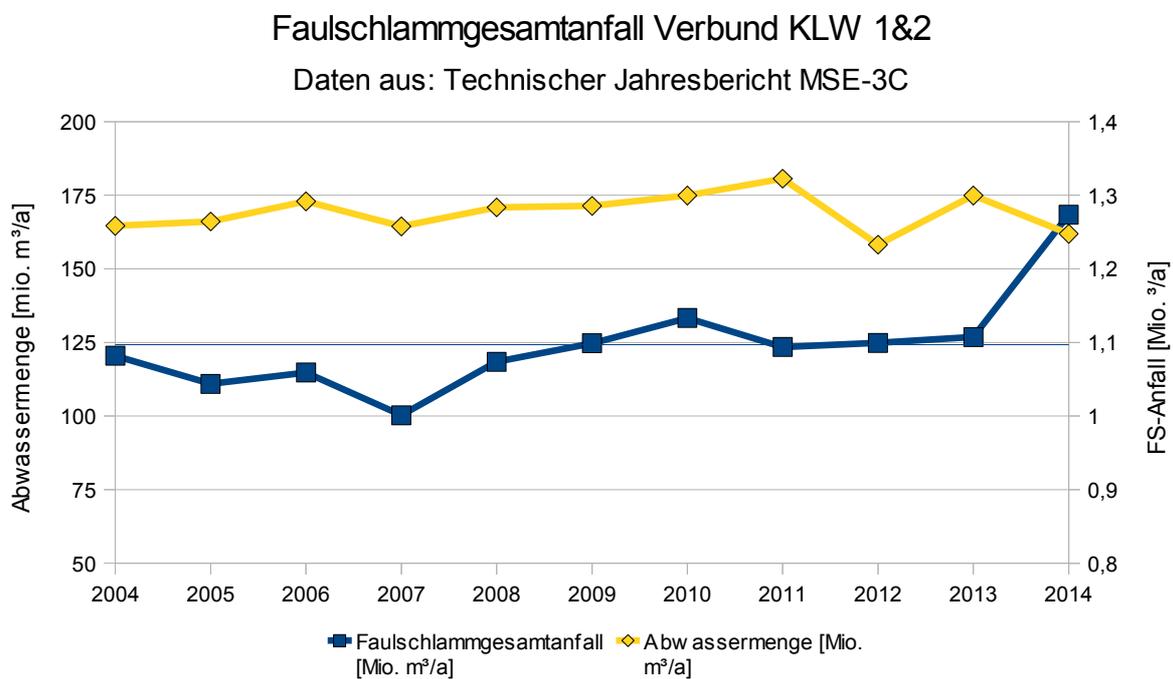


Abbildung 5: Faulschlammgesamtanfall im Klärwerksverbund, 2004 - 2014

Schritt 2: Ermittlung der zukünftig angeschlossenen Einwohnerwerte

Aus der als konstant angenommenen einwohnerspezifischen Schlammfracht und der Prognose für die im Jahr 2030 an die MSE angeschlossenen Einwohner (Einwohner der LHM, angeschlossene Umlandgemeinden, Pendler, Touristen und Industrie) wurde eine Bandbreite für die zu erwartende Klärschlammmenge ermittelt.

Die Prognose der an die MSE angeschlossenen Einwohner ist aufgrund der vorhandenen Datenlage, insbesondere für den Anteil der Pendler, Touristen und Industrie, mit Unsicherheiten behaftet. Dies liegt vor allem daran, dass für die Pendler, Touristen und Industrie zukunftsgerichteten Zahlen veröffentlicht sind [21,22,23]. Für Pendler, Touristen und Industrie wurde daher ein auf den letzten 5 Jahren basierender konservativer Erfahrungswert von 490.000 EW angesetzt. Dieser Ansatz erfolgte analog der Vorgehensweise zur Planung der Erneuerung der 1. biologische Stufe auf dem Klärwerk Gut Großlappen.

Für die Umlandgemeinden ist eine konkretere Datenbasis durch den Planungsverband "Äußerer Wirtschaftsraum München" vorhanden [22]. Hieraus ergibt sich ein prognostizierter Zuwachs von rd. 17 % bezogen auf den Ist-Zustand des Jahres 2012. Dies entspricht für das Jahr 2030 einer Anzahl von rd. 278.000 angeschlossenen Einwohnern an das Kanalnetz der MSE. Gemäß der mit den angeschlossenen Umlandgemeinden getroffenen Zweckvereinbarungen wäre ein maximaler Anschluss von rd. 477.000 Einwohnern möglich. Dies wird jedoch derzeit als nicht realistisch betrachtet.

Der Demografiebericht des Referates für Stadtplanung und Bauordnung der Landeshauptstadt München stellt für das Jahr 2030 drei mögliche Szenarien für die Bevölkerungsentwicklung der LHM dar. In einem Minimalszenario wird davon ausgegangen, dass der Zuzug nach München und in das Umland geringer wird sowie von einer Befriedung von Krisenregionen (+ 6 % Zuwachs, entspricht 1,593 Mio. Einwohner in 2030). Im mittleren Szenario wird von einem Bevölkerungszuwachs von 15 % (entspricht 1,723 Mio. Einwohner in 2030) ausgegangen. Im Maximalszenario weiten sich die weltweiten Krisen aus und ein deutlicher Zustrom nach München und Umland findet statt (+ 28 % Zuwachs, entspricht 1,834 Mio. Einwohner in 2030) [21].

In Tabelle 2 werden die soeben vorgestellten Daten für die Einwohner der LHM, das Umland, die Pendler, die Touristen und die Industrie zusammenfassend dargestellt. Demzufolge ergibt sich folgende Bandbreite von an die MSE im Jahr 2030 voraussichtlich angeschlossenen EW:

- rd. 2,3 Mio. EW für das Minimalszenario
- rd. 2,5 Mio. EW für das mittlere Szenario
- rd. 2,8 Mio. EW für das Maximalszenario

Das Referat für Stadtplanung und Bauordnung der LHM geht von einem mittleren Szenario aus, an dem sich auch die MSE orientiert. Im Vergleich zu den Szenarien liegt der aktuelle Wert des Jahres 2012 bei rund 2,1 Mio. EW.

Schritt 3: Ermittlung der Schlammengen für das Jahr 2030

Die drei Szenarien für die prognostizierten angeschlossenen Einwohner aus Schritt 2 wurden nun mit den spezifischen Faulschlammfrachten aus Schritt 1 multipliziert.

Dabei ergaben sich für 37 g TR/EW*d (untere Bandbreite) folgende Schlammengen für 2030 (siehe dazu Abbildung 6):

- rd. 32.000 t TR Faulschlamm je Jahr für das Minimalszenario
- rd. 33.500 t TR Faulschlamm je Jahr für das mittlere Szenario
- rd. 37.700 t TR Faulschlamm je Jahr für das Maximalszenario

Im Vergleich dazu fallen aktuell jährlich rund 30.000 bis 31.000 t TR Faulschlamm an.

Das gleiche Szenario wurde für einen spezifischen Faulschlammanfall von 39 g TR/EW*d (obere Bandbreite) berechnet. Dies führt zu folgendem Ergebnis (siehe dazu Abbildung 7):

- rd. 32.900 t TR Faulschlamm je Jahr für das Minimalszenario
- rd. 35.500 t TR Faulschlamm je Jahr für das mittlere Szenario
- rd. 39.900 t TR Faulschlamm je Jahr für das Maximalszenario

Anzahl [1000 E]	min	mittel	max	Ist 2012
Einwohner München (Annahme Entwicklung bis 2030)	1.593 (+8%)	1.723 (+15%)	1.834 (+20%)	1.466
Umland (Annahme Entwicklung bis 2030)	230 (+/- 0%)	278 (+17%)	477 (+52%)	230
Pendler				
Touristen	490	490	490	490
Industrie				
Prognose 2030	2.313	2.491	2.801	2.186
Zuwachs zu Ist 2030	(+6%)	(+14%)	(+28%)	

Tabelle 2: Prognosedarstellung 2030 der angeschlossenen Einwohner

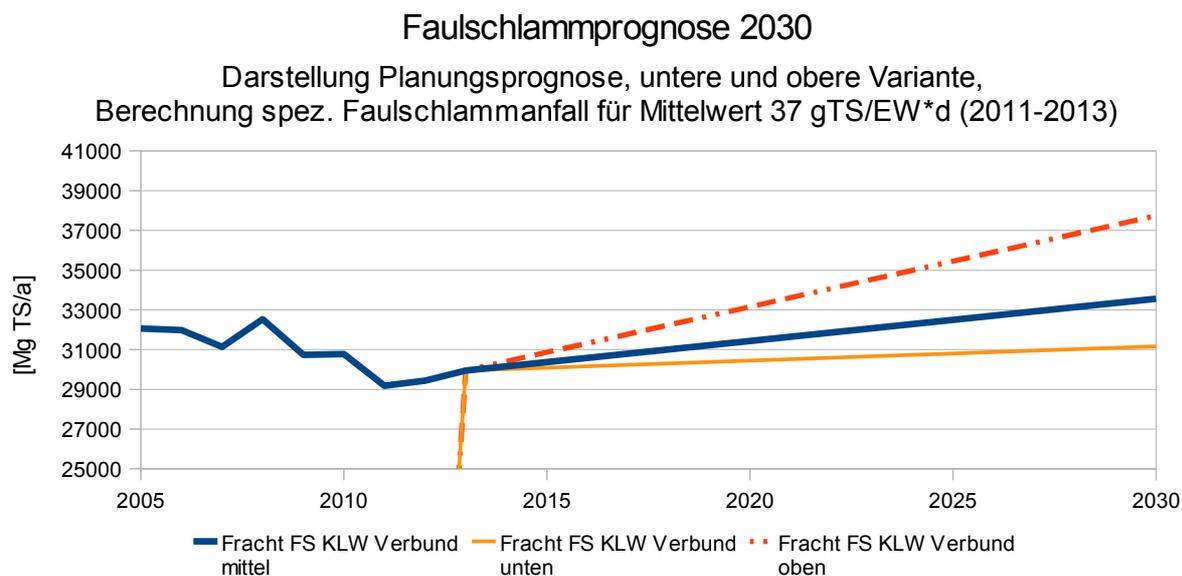


Abbildung 6: Faulschlammprognose mit spez. Anfall von 37 g TR/EW*d

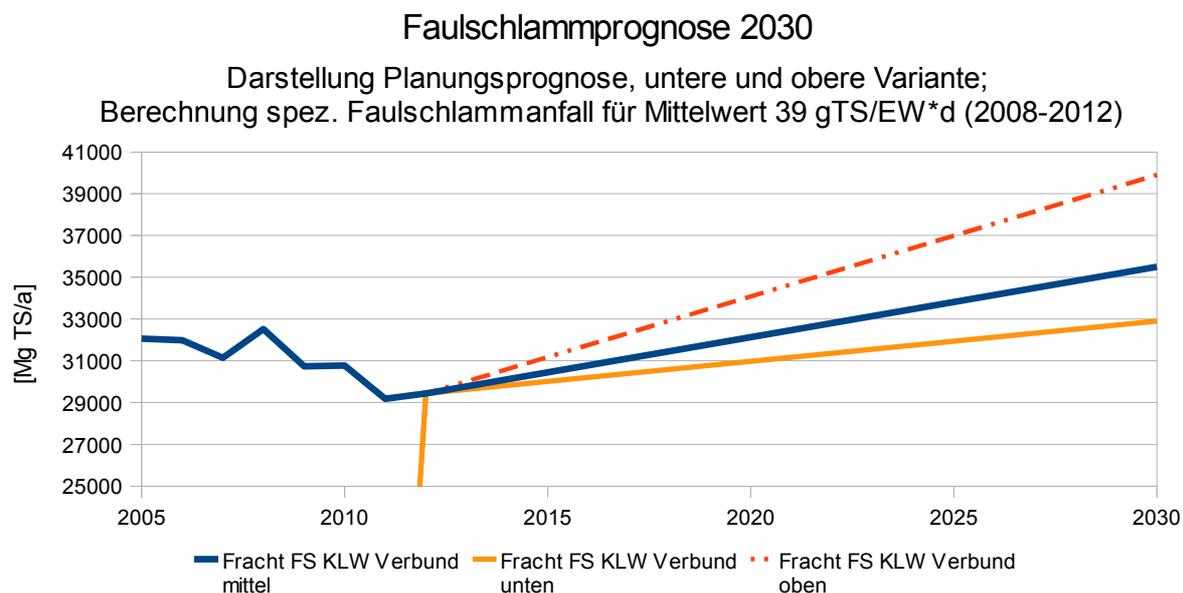


Abbildung 7: Faulschlammprognose mit spez. Anfall von 39 g TR/EW*d

Für die Schlammprognose wurde aufgrund der wachsenden hohen Unsicherheiten bei langen Betrachtungszeiträumen vom **mittleren Szenario der oberen Bandbreite** (konservativer Ansatz), also **35.500 t TR Klärschlamm für das Jahr 2030** ausgegangen.

Im Lenkungsreis vom 29.07.2015 wurde festgelegt, eine Schlammmenge von **35.500 t TR/a** als Nennlast für eine künftige thermische Klärschlammverwertung zu verwenden. Zudem wurde weiterhin beschlossen, dass die Schlammprognose für weitere Planungen ausreichend ist sowie jährlich aktualisiert und überprüft werden soll.

Der Werkleitung der MSE werden die Ergebnisse regelmäßig zur Kenntnisnahme und Abstimmung vorgelegt.

3.3 Klärschlammbehandlungskosten

Die Klärschlammverbrennungskosten der MSE setzen sich aus zwei Anteilen zusammen. Zum einen aus den Verbrennungskosten der Klärschlammverbrennungsanlage (KVA) und zum anderen aus den Verbrennungskosten des Klärschlammanteils, der zum HKWN geleitet wird. Die im SAP-System im Betriebsprozess aggregierten Klärschlammverbrennungskosten enthalten eine Vielzahl an betriebswirtschaftlich bedingten Umlagen aus anderen Bereichen und spiegeln daher nicht nur die direkt dem Prozess zuzuordnenden Kosten der Klärschlammverbrennung wider. Zur Bewertung der aktuellen Entsorgungssituation im Hinblick auf eine künftige Neuausrichtung der Klärschlamm Entsorgung war es erforderlich, die der Klärschlammverwertung in der KVA und im HKWN aktuellen direkt zurechenbaren Kosten, u.a. mit Hilfe von SAP-Einzelberichten, differenziert zu ermitteln.

Vorgehensweise

Zur Ermittlung der umlagenbereinigten direkt zurechenbaren Personalkosten als Teil der Betriebskosten wurden die tatsächlich in der KVA und zum Betrieb der Faulschlammdruckleitung arbeitenden Personen angesetzt. Darüber hinaus wurden die Kapitalkosten für die KVA und das HKWN, bestehend aus kalkulatorischen Abschreibungen und kalkulatorischen Zinsen, zusammengestellt.

Die ermittelte Kostenstruktur setzt sich folgendermaßen zusammen:

1. Kapitalkosten (kalkulatorische AfA und kalkulatorische Zinsen)
2. Betriebskosten (Energiekosten, Kosten für Einsatzstoffe, Kosten für Wartung und Instandhaltung, Personalkosten, Entsorgungskosten, Transportkosten, Restkosten)

Die dem HKWN zuzuordnenden Kosten konnten nicht in Form dieser Struktur abgebildet werden, da die von den SWM an die MSE für die Klärschlammverbrennung gestellten Rechnungen keine derart detaillierte Betrachtung zulassen.

Die Kosten des HKWN wurden daher folgendermaßen untergliedert:

1. Kapitalkosten (kalkulatorische AfA und kalkulatorische Zinsen)
2. Personalkosten
3. Sachkosten (Schlackeentsorgung, Kosten für Betriebsführung durch SWM, negative Energiegutschrift)

Ergebnis für die aktuellen Klärschlamm Entsorgungskosten

Ausgehend von der zugrunde liegenden Kostenstruktur wurden die spezifischen Klärschlammbehandlungskosten für die KVA und das HKWN in €/tTR bezogen auf die einzelnen Betriebsjahre ermittelt. Der Betrachtungshorizont erstreckt sich dabei von 2002 bis 2013 (siehe dazu Anhang 10).

Die aktuellen Klärschlamm Entsorgungskosten der KVA (Stand 2013) belaufen sich auf rund 310 €/t TR. Für das HKWN wurden Entsorgungskosten in Höhe von rd. 530 €/t TR ermittelt. Insgesamt ergeben sich daraus Gesamtentsorgungskosten (KVA + HKWN) von rd. 380 €/t TR.

Beim Vergleich mit dem Verwertermarkt ist festzustellen, dass die MSE im Rahmen der bekannten Bandbreite von ca. 250 bis 750 Euro [24] liegt.

3.4 Handlungsrelevante Aspekte

Für die Münchner Stadtentwässerung ergeben sich viele handlungsrelevante Gründe, die ein Überdenken der derzeit praktizierten Klärschlamm Entsorgung notwendig machen. Diese sind auf wirtschaftliche, technische sowie rechtliche und betriebliche Ursachen zurückzuführen. Die verschiedenen Aspekte werden nachfolgend vorgestellt:

Hoher Sanierungsbedarf der bestehenden Klärschlammverbrennungsanlage

Die bestehende Anlage befindet sich seit 1997 in Betrieb. In den letzten Jahren konnte die Anlagenverfügbarkeit nur durch einen hohen Instandhaltungsaufwand erhalten werden. Aufgrund von mechanischen Abnutzungserscheinungen und altersbedingten Ausfällen steigt der Reparaturaufwand kontinuierlich an. Ein knappes Angebot für Ersatzteile, die für Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen benötigt werden, machen die Beschaffung und den Erhalt immer zeitaufwendiger und kostenintensiver. Künftig ist daher mit einem immer stärker wachsenden Instandhaltungsaufwand und einer sinkenden Anlagenverfügbarkeit zu rechnen. Allgemeine Ursachen sind:

- zunehmende Schädigung von Hauptkomponenten der KVA
- abnehmende Verfügbarkeit/ Fachkenntnis von Servicefirmen für die annähernd 20 Jahre alten Komponenten
- abnehmende Verfügbarkeit von Ersatzteilen für den alten Anlagenbestand bzw. zeitaufwändiger Umbau wegen Anpassungsarbeiten an aktuell verfügbaren Ersatzteilen
- lange Lieferzeiten von Ersatzteilen

Aus diesem Grund wurden der Zustand der bestehenden KVA sowie Maßnahmenpakete zum Erhalt der Anlagenverfügbarkeit bis etwa 2030 im Rahmen eines von den TBF Ingenieuren im Jahr 2015 durchgeführten KVA-Anlagenchecks ermittelt. Um die mittel- und langfristige Entsorgungssicherheit des anfallenden Klärschlammes auch künftig weiterhin gewährleisten zu können, müssten dieser Untersuchung zu Folge wesentliche Komponenten der Anlage kostenintensiv erneuert oder tiefgreifend saniert werden [1,2].

Abhängig von der Inbetriebnahme der neuen KVA und den Anforderungen an den Entsorgungsgrad (Teil- oder Vollentsorgung) lassen sich die Sanierungsmaßnahmen an der bestehenden KVA in mehrere Pakete unterteilen. Die Sanierungskosten liegen zwischen 10 Mio. € (Außerbetriebnahme bestehende KVA 2025) und 24,5 Mio. € (Außerbetriebnahme bestehende KVA bis 2035) [1,2]. Unter der Annahme, dass keine unvorhersehbaren Ausfälle eintreten, wäre mit diesen Reinvestitionen die Verfügbarkeit der KVA bis 2025 bzw. 2035 gesichert. Da die Sanierungsmaßnahmen jedoch im laufenden Betrieb der bestehenden Anlage erfolgen müssten, nimmt wiederum das Risiko einer vorübergehenden sinkenden Anlagenverfügbarkeit mit dem Umfang der Eingriffe zu. Eine Umrüstung der bestehenden KVA hin zu einer 100 %igen Klärschlamm Entsorgung wird aufgrund der in diesem Fall noch komplexeren Eingriffe in die Verfahrenstechnik hinsichtlich Umsetzbarkeit und Entsorgungsrisiko als sehr kritisch angesehen. Die in der Untersuchung angenommene Lebensdauer der bestehenden KVA endet selbst bei einer umfangreichen Sanierung etwa im Jahr 2035.

Regelungsbereich der Novelle Klärschlammverordnung

Aufgrund der geplanten Novellierung der Klärschlammverordnung wird ab 01.01.2025 die Mitverbrennung von Klärschlamm im HKWN nach derzeitigem Kenntnisstand rechtlich sehr stark eingeschränkt werden [6]. Hintergrund sind die im Koalitionsvertrag getroffenen Vereinbarungen zur Rückgewinnung von Phosphor und dem Ziel, die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung zu beenden [5]. Eine Mitverbrennung im HKWN bis zu dieser Frist ist nach derzeitigem Kenntnisstand aus technischen und betrieblichen Gründen möglich [Quelle: Aussage AWM, 2016].

Der Regelungsbereich des Referentenentwurfs sieht für Klärschlämme, die in Abwasserbehandlungsanlagen der Größenklassen 4 und 5 (ab 10.000 EW) anfallen, ab 01.01.2025 u. a. Folgendes vor (Stand Januar 2016) [6]:

- Pflicht zur Rückgewinnung von Phosphor aus Klärschlämmen mit einem Phosphorgehalt von 20 Gramm oder mehr je Kilogramm Trockensubstanz.
- Als gleichrangige Alternative ist es auch zulässig, den Klärschlamm mit einem Phosphorgehalt von 20 Gramm oder mehr je Kilogramm Trockensubstanz in einer Klärschlammverbrennungsanlage oder einer Klärschlammmitverbrennungsanlage vorzubehandeln. Die dabei anfallende Verbrennungsrückgewinnung muss einer Phosphorrückgewinnung unterzogen werden. Hierbei ist ein Verfahren anzuwenden, durch das mindestens 80 % des Phosphorgehalts der Verbrennungsrückgewinnung zurückgewonnen werden können.

Zur Rückgewinnung von 80 % des Phosphors aus der Verbrennungsrückgewinnung kommen nach derzeitigem Kenntnisstand in der Realität nur wenige Verfahren der Mitverbrennung, wie evtl. hocheffiziente Kohlekraftwerke, in Frage. Die Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen wird künftig aufgrund der starken Verunreinigung der Aschen hierfür ausscheiden [30].

Da die meisten Schlämme in Deutschland einen P-Gehalt von > 20 g/kgTR aufweisen und nach derzeitigem Stand des Wissens davon ausgegangen werden kann, dass bis 2025 noch keine wirtschaftlich konkurrenzfähigen Phosphorrückgewinnungstechnologien auf dem Markt sein werden, zielt die neue Klärschlammverordnung bis zum Vorhandensein geeigneter Rückgewinnungstechnologien übergangsweise auf den Weg: „*Monoverbrennung in Kombination mit einer vorübergehenden rückholbaren Aschezwischenlagerung*“ ab. Die MSE liegt gemäß aktueller Laborauswertungen mit > 40 g/kgTR deutlich oberhalb von 20 g/kgTR.

Erhebliche Einschränkungen bei der externen Klärschlammverwertung

In Bayern sind im Jahr 2014 ca. 283.000 t TR/a Klärschlamm angefallen [25]. Davon wurden rund 78.000 t TR einer Monoverbrennung zugeführt, rund 90.500 t TR wurden mitverbrannt, der Rest wurde größtenteils in der Landwirtschaft bzw. bei landschaftsbaulichen Maßnahmen verwertet [25]. Die Monoverbrennungskapazitäten in Bayern sind gemäß LfU Bayern nahezu vollständig ausgelastet [26].

Zukünftig wird es in Deutschland voraussichtlich aus folgenden Gründen zu einer deutlichen Verknappung der thermischen und landwirtschaftlichen Klärschlammverwertungskapazitäten kommen:

- Seit 2015 bestehen deutliche Einschränkungen bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung aufgrund strengerer Grenzwerte der novellierten Düngemittelverordnung [7]. Ab 2017 folgen weitere Einschränkungen aufgrund der Nachweispflichten zur Abbaubarkeit der in der Schlammentwässerung eingesetzten Polymere [27]. Es dürfen dann nur noch Schlämme ausgebracht werden, bei denen nachgewiesen werden kann, dass die eingesetzten "Hilfsstoffe bei der Entwässerung" im Boden abbaubar sind [27].
- Aufgrund des zunehmenden Anteils erneuerbarer Energien im öffentlichen Stromnetz werden Kohlekraftwerke schon jetzt vermehrt in Teillast gefahren. Dies schränkt die Mitverbrennung von Klärschlamm in Kohlekraftwerken bereits aktuell stark ein. Die Kompensation durch einen Aufbau von Mitverbrennungskapazitäten in Müllverbrennungsanlagen ist aus langfristiger Sicht nicht sinnvoll, da das Rückgewinnungspotenzial für Phosphor aufgrund der geringeren Konzentrationen hier nicht gegeben ist [7].
- Das mit dem Referentenentwurf der Novelle der Klärschlammverordnung angestrebte P-Rückgewinnungsgebot wird nach derzeitigem Sachstand ab 01.01.2025 die Mitverbrennung am stärksten einschränken. Zur Deckung der dadurch entstehenden Entsorgungslücke wäre der Bau von rund 21 Klärschlammmonoverbrennungsanlagen in Deutschland mit einer jeweiligen Kapazität von ca. 33.000 t TR/a bis zum Jahr 2026 notwendig [7].
- Die genannten Gründe werden dazu führen, dass das thermische Klärschlammverwertungsangebot die hohe Nachfrage nicht mehr in ausreichender Weise decken kann. Deshalb ist in den kommenden Jahren mit einer verstärkten Bautätigkeit für Monoverbrennungsanlagen zu rechnen.

Hierfür steht jedoch nur eine begrenzte Anzahl von Dienstleistern zur Verfügung. Aufgrund dieses starken zu erwartenden Ungleichgewichts von Angebot und Nachfrage ist künftig auch von einem deutlichen Preisanstieg sowohl für die externe Klärschlamm-entsorgung, als auch für den Anlagenbau auszugehen. Im Umkehrschluss bedeutet dies einen Kostenvorteil im Falle eines früheren Neubaus. Gemäß einer vom VKU im Jahre 2015 veröffentlichten Umfrage haben 98 % aller befragten Unternehmen angegeben, dass aufgrund des zu erwartenden Verbots der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung für Abwasserbehandlungsanlagen der Größenklassen 4 und 5 [6] mit einem deutlichen Kostenanstieg von bis zu 100 % der aktuellen Entsorgungskosten gerechnet werden muss [8].

4. Strategievergleich und -bewertung

4.1 Vorgehensweise

Um auf die soeben dargestellten handlungsrelevanten Aspekte reagieren zu können und die Frage des aus ökonomischer, technischer und risikobasierter Sicht idealen Zeitpunktes eines KVA-Neubaus zu klären, wurden von der MSE insgesamt fünf Strategien im Rahmen einer abteilungsübergreifenden Arbeitsgruppe entwickelt (siehe Kap. 4.2). Die Strategien wurden anschließend anhand der Kriterien "Entsorgungssicherheit", "Wirtschaftlichkeit" und "Technische Umsetzbarkeit" miteinander verglichen und mit Hilfe eines Punktesystems bewertet. Aus der Summe aller Ergebnisse wurde ein konkreter Entscheidungsvorschlag für die weitere Vorgehensweise abgeleitet. Diejenige Strategie mit der höchsten Punktzahl soll anschließend die strategische Linie der MSE für die künftige Klärschlammbehandlung vorgeben (Bedarfsplanung Stufe 1) (siehe Abbildung 8).

Zur Durchführung der „Vergleichenden Strategiebewertung“ wurde die MSE durch das IB Born und Ermel unterstützt. Die Kurzversion des Abschlussberichts ist als Anlage beigefügt (Anhang 1).

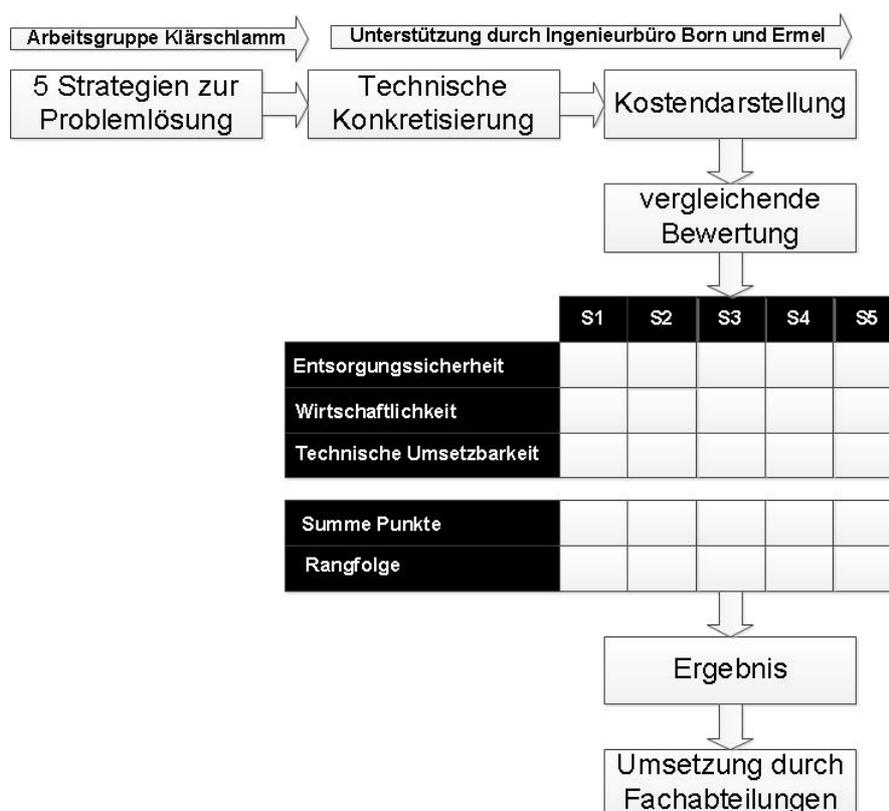


Abbildung 8: Darstellung der Vorgehensweise zur Strategiebewertung

Für die Umsetzung der gewählten Strategie müssen mitunter mehrere Maßnahmen realisiert werden. Dies findet anschließend im Rahmen der weiteren Planung durch MSE-2 statt.

Die zur Strategiebewertung ausgewählte beispielhafte Anlage stellt zu diesem Zeitpunkt noch keine endgültige Lösung dar. Die Festlegung auf bestimmte Technologien erfolgt in den sich an die Bedarfsplanungsstufe 1 anschließenden Planungsschritten. Ggf. sind hierzu nochmals Neubewertungen bestimmter Technologien erforderlich.

Im Folgenden werden die Strategien sowie die wichtigsten Ergebnisse der einzelnen Schritte des Strategievergleichs mit Bewertung erläutert. Eine detailliertere Beschreibung kann dem Abschlussbericht des Ingenieurbüros Born und Ermel entnommen werden [28].

4.2 Strategien

Um eine zukunftsichere und rechtskonforme Klärschlammbehandlung gewährleisten zu können, wurden fünf Strategien entwickelt. Jede Strategie besteht jeweils aus der Summe aller Maßnahmen, die erforderlich sind, um den anfallenden Klärschlamm kurz-, mittel- und langfristig sicher verwerten zu können. Ausgehend von der Gegenwart besteht jede Strategie aus einer Übergangsphase und einer Endphase. Die Übergangsphase ist geprägt vom Umgang mit der bestehenden KVA und dient insbesondere dazu, die Anlagenverfügbarkeit aufrechtzuerhalten. Die Endphase ist geprägt von dem Zeitpunkt der Ablösung der bestehenden KVA durch einen Neubau oder durch eine rein externe Verwertung.

Strategie 1: 1-Linienbetrieb KVA "alt" / früher Neubau

Die Besonderheit von Strategie 1 ist der frühe KVA-Neubau (geplant für das Jahr 2025) in der Endphase. Ziel ist es, eine frühzeitige Unabhängigkeit von externen Einflüssen zu realisieren. Die neue KVA soll 100 % des anfallenden Klärschlammes verwerten können. Zur Sicherstellung der Entsorgungssicherheit muss die neue Anlage über ein ausreichend dimensioniertes Pufferlager verfügen, über das auch eine externe Ausschleusung von Klärschlamm (z.B. in einem Notfall) erfolgen kann.

Zur Überbrückung der Zeit bis zum KVA-Neubau (Übergangsphase) ist altersbedingt ein Mindestpaket an Sanierungen für die bestehende KVA erforderlich. Die Bestandsanlage soll bei Strategie 1 nur saniert und nicht in ihrer gegenwärtigen Funktionsweise verändert werden. Nach wie vor sollen rd. 70 % des anfallenden Klärschlammes im 1-Linienbetrieb verwertet werden. Die restlichen 30 % des anfallenden Klärschlammes werden bis 2025 extern über das HKWN entsorgt.

In Abbildung 9 wird Strategie 1 grafisch dargestellt.

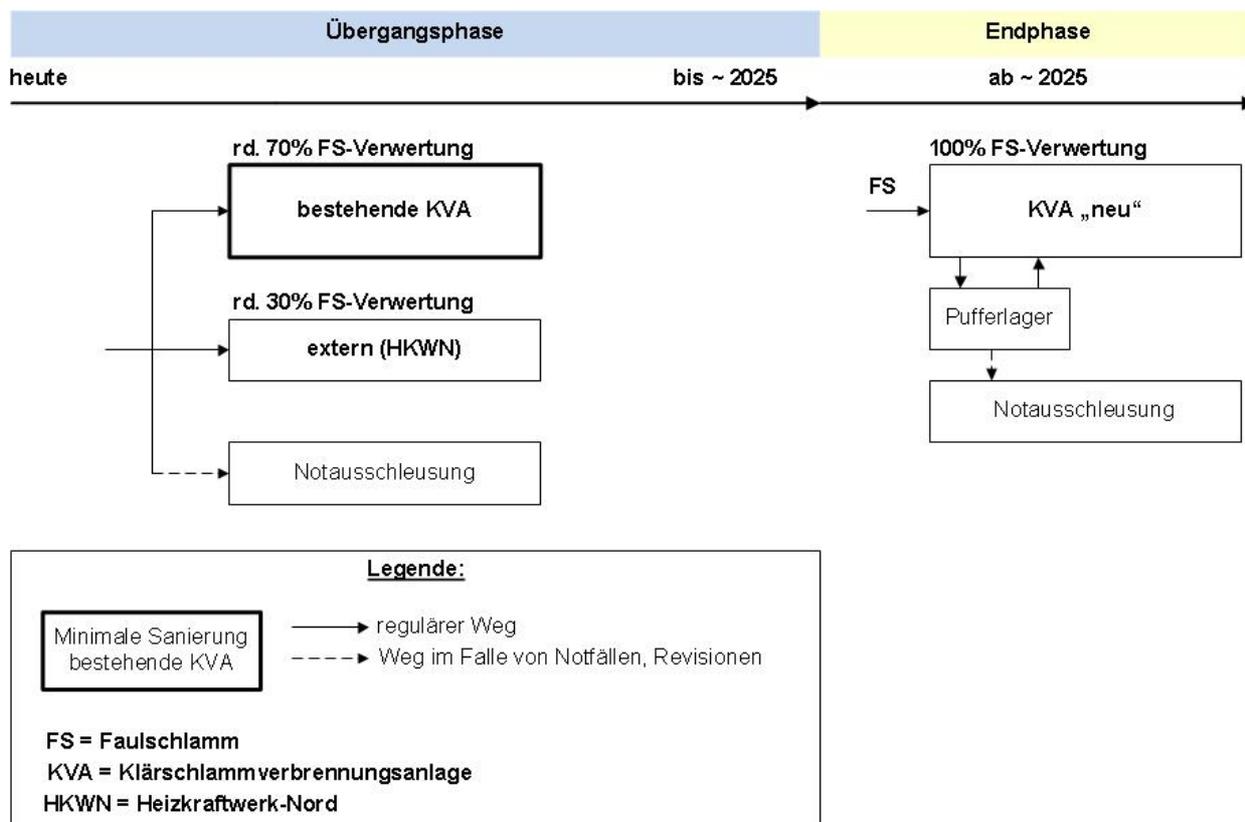


Abbildung 9: Darstellung von Strategie 1: möglichst früher KVA-Neubau (etwa 2025), minimale Sanierung der bestehenden KVA

Strategie 2: 1-Linienbetrieb KVA "alt" / späterer Neubau

Im Unterschied zu Strategie 1 wird in Strategie 2 von einem späteren Neubau einer KVA etwa ab dem Jahr 2035 ausgegangen. Der Fokus von Strategie 2 besteht in der möglichst langen Nutzung der nahezu abgeschriebenen Bestandsanlage. Die alte KVA muss in diesem Fall umfangreicher saniert werden, um die Anlagenverfügbarkeit sicherstellen zu können. Trotz der umfangreichen Sanierungen der bestehenden Anlage bei Strategie 2 kann nicht von einem Betrieb über das Jahr 2035 hinaus ausgegangen werden. Die Funktionsweise der Altanlage wird ebenso wie bei Strategie 1 nicht verändert.

Ab dem Jahr 2025 ist aus rechtlichen Gründen, wie in Kapitel 3.4 erwähnt, voraussichtlich keine Verwertung mehr über das HKWN möglich. Bis zur Inbetriebnahme der neuen KVA müsste der im HKWN entsorgte Schlammanteil bei Strategie 2 für einen längeren Zeitraum (rd. 10 Jahre) über einen alternativen externen Verwerter entsorgt werden. Hierfür muss eine entsprechende Schlammausschleusung inklusive Logistik vorgesehen werden.

In Abbildung 10 wird Strategie 2 grafisch dargestellt.

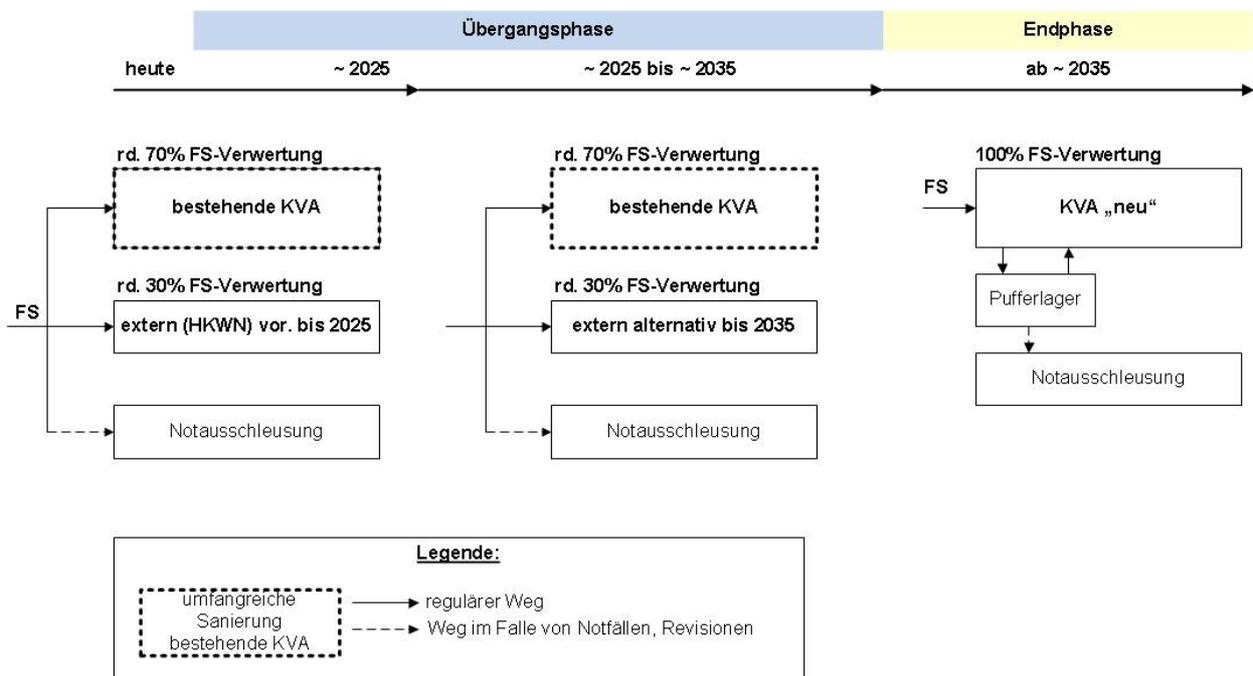


Abbildung 10: Darstellung von Strategie 2: später KVA-Neubau (etwa 2035), umfangreiche Sanierung der bestehenden KVA

Strategie 3: 2-Linienbetrieb KVA "alt" / späterer Neubau

Im Unterschied zu den Strategien 1 und 2 verfolgt die Strategie 3 das Ziel, bereits in der Übergangsphase 100 % des anfallenden Klärschlammes in der Bestandsanlage zu entsorgen. Hierzu muss die bestehende KVA in ihrer grundsätzlichen Funktionsweise verändert und auf einen 2-Linien-Betrieb umgerüstet werden. Aus Gründen der Entsorgungssicherheit und zur Realisierung des 2-Linienbetriebs ist zusätzlich ein Pufferlager erforderlich, welches über eine Möglichkeit zur Notausschleusung verfügt und in ein späteres Neubaukonzept integriert werden muss.

Wegen des beim 2-Linienbetriebs erhöhten Verschleißes ist davon auszugehen, dass die bestehende KVA bei Strategie 3 ebenfalls spätestens 2035 durch eine neue Anlage ersetzt werden muss [1,2].

In Abbildung 11 wird Strategie 3 grafisch dargestellt.

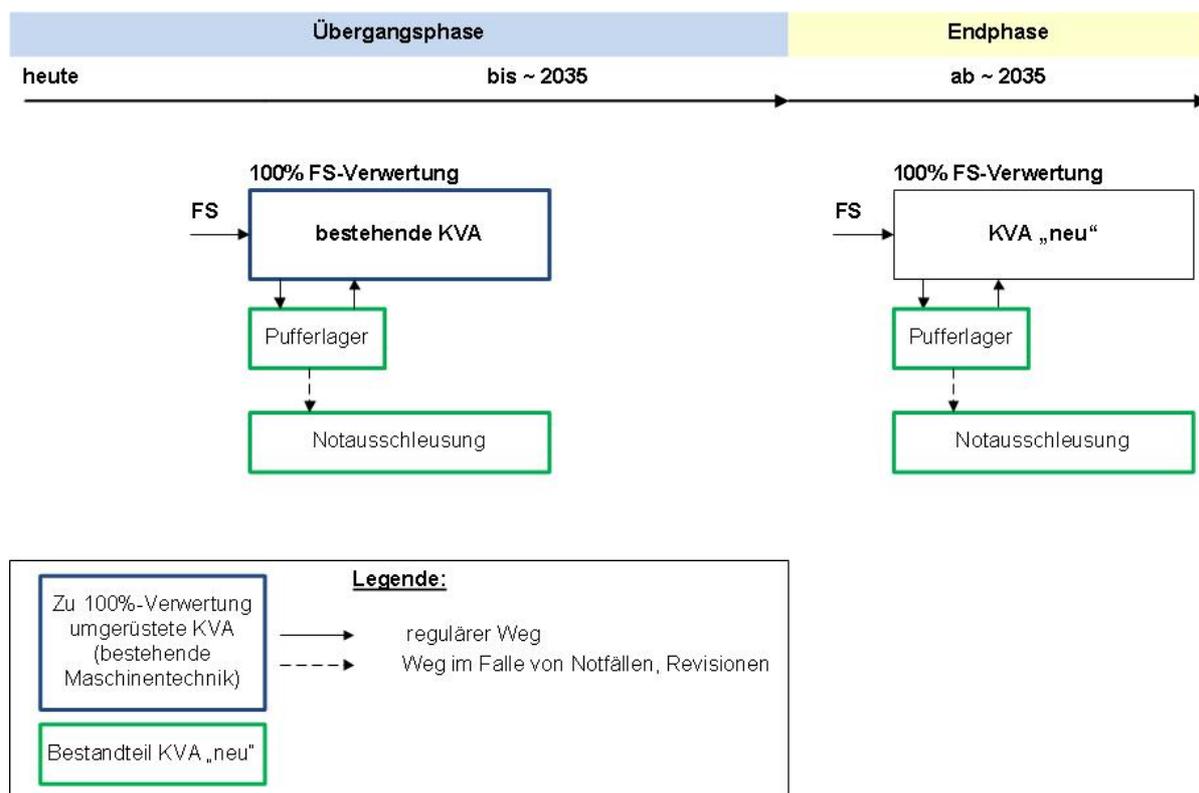


Abbildung 11: Darstellung von Strategie 3: später KVA-Neubau (etwa 2035), Umrüstung der bestehenden KVA auf 2-Linienbetrieb mit 100 %iger Klärschlammverwertung

Strategie 4: 2-Linienbetrieb KVA "alt" / modulweiser Neubau

Ebenso wie Strategie 3 verfolgt Strategie 4 das Ziel einer 100 %igen Klärschlammbehandlung in der Übergangsphase. Bei Strategie 4 soll jedoch zusätzlich zum Pufferlager als Speicherung für den 2-Linienbetrieb der Altanlage auch die gesamte Schlammaufbereitung (Entwässerung und Trocknung) als vorgezogener Teil eines KVA-Neubaus möglichst früh errichtet und an die Verbrennung inklusive Rauchgasreinigung des alten Anlagenbestands angekoppelt werden. Die Schlammaufbereitung der Bestandsanlage wird für den Regelbetrieb stillgelegt.

Hintergrund für diese Überlegungen ist der Umstand, dass die Störanfälligkeit der Schlammaufbereitung bei der bestehenden Anlage vergleichsweise hoch ist. Darüber hinaus ist die Ersatzteilbeschaffung für die Schlammaufbereitung aufgrund der alten Anlagen und der derzeitigen Marktsituation zeitaufwendig. Ein frühzeitiger Ersatz der bestehenden Schlammaufbereitung wird daher im Falle eines 2-Linienbetriebs in der Übergangsphase als sinnvoll erachtet.

In Abbildung 12 wird Strategie 4 grafisch dargestellt.

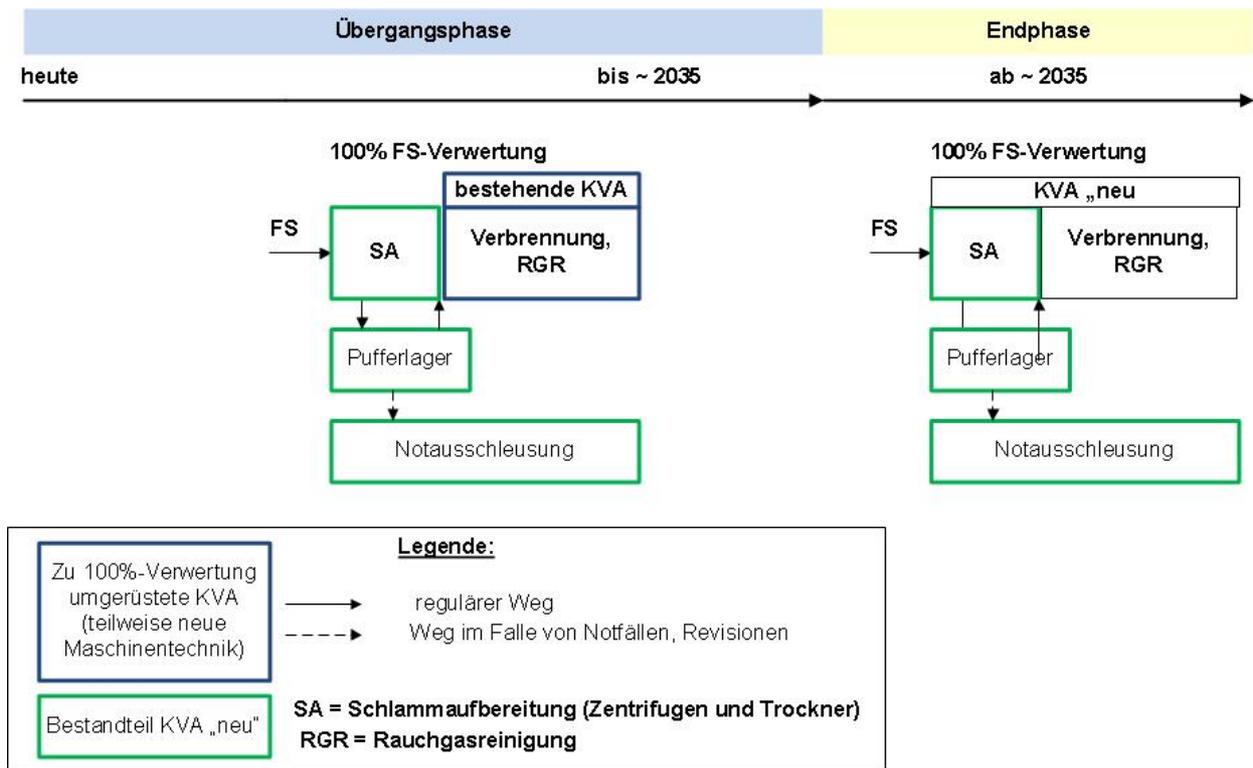


Abbildung 12: Darstellung von Strategie 4: spätere KVA-Neubau (etwa 2035), Umrüstung der bestehenden KVA auf 2-Linienbetrieb durch vorgezogenen Neubau der Schlammaufbereitung

Strategie 5: 1-Linienbetrieb KVA "alt", anschließend 100 %ige externe Entsorgung

Bei Strategie 5 wird eine dauerhafte externe Entsorgung für den kompletten Klärschlamm angestrebt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit und weil das rechtliche Erfordernis zur Monoverbrennung nach derzeitigem Kenntnisstand ab 01.01.2025 eintritt, wurde das Jahr 2025 als Zeitpunkt des Umstiegs auf die komplette externe Klärschlamm Entsorgung gewählt. Aufgrund der zunehmenden Störanfälligkeit der bestehenden KVA muss diese analog zu Strategie 1 jedoch zunächst minimal saniert werden. Anschließend soll der gesamte Klärschlamm über einen externen Dienstleister entsorgt werden.

In Abbildung 13 wird Strategie 5 grafisch dargestellt.

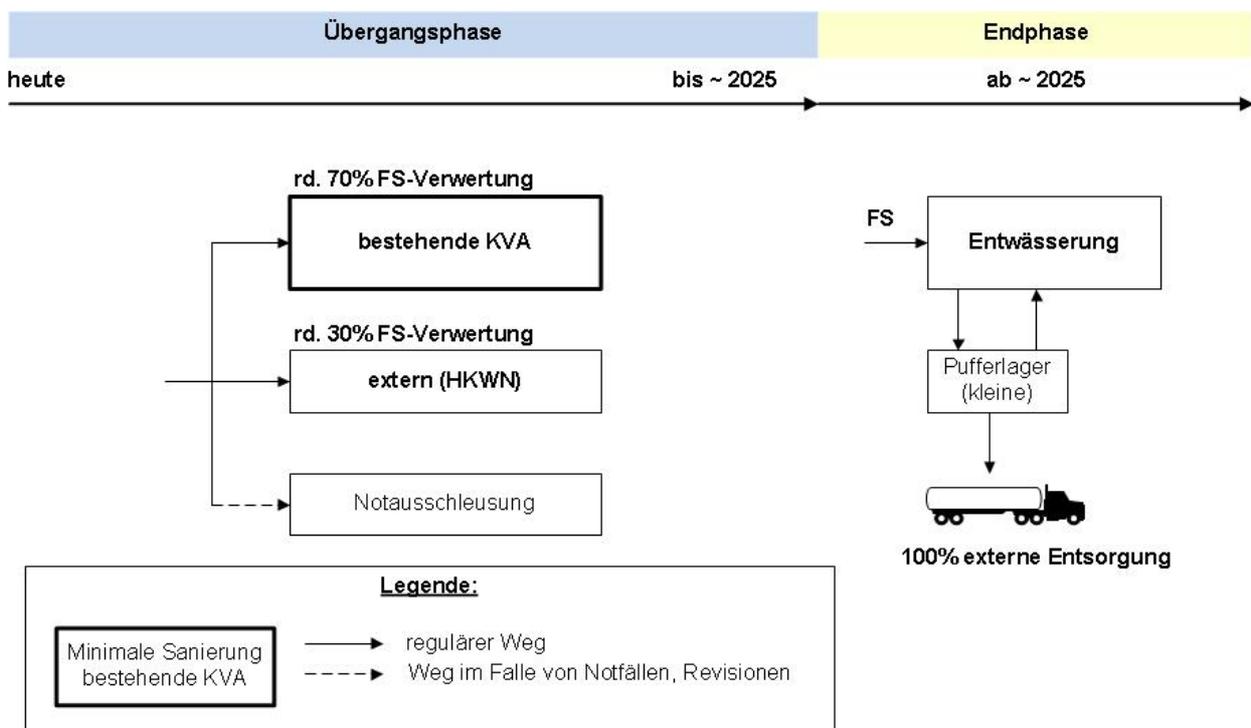


Abbildung 13: Darstellung von Strategie 5: 100 %ige externe Klärschlammverwertung ab etwa 2025

4.3 Technische Konkretisierung

Die Technische Konkretisierung dient in erster Linie der Auswahl von an dieser Stelle noch beispielhaften Technologien. Dies ist u.a. erforderlich, um die Strategien im nächsten Schritt überhaupt finanziell vergleichen zu können. Die gewählten Technologien und Lösungen wurden nach derzeitigem Kenntnisstand so gut wie möglich an die derzeitigen Rahmenbedingungen der MSE angepasst, können sich im weiteren Planungsverlauf, bspw. aufgrund neuer Erkenntnisse, jedoch nochmals verändern.

Bei der „Technischen Konkretisierung“ wurden zunächst die Übergangsphase und die Endphase der Strategien technisch näher beschrieben. Folgende Ziele wurden mit der „Technischen Konkretisierung“ verfolgt:

- Überblick und Vergleich möglicher Technologien zur Strategieumsetzung
- Auswahl von Technologien (können sich im weiteren Planungsverlauf verändern) als Grundlage für den anschließenden Kostenvergleich
- Einschätzung der technischen Umsetzbarkeit der Strategien
- Aufdeckung „technischer Knackpunkte“ sowie möglicher Probleme

Die Kenntnisse für die Übergangsphase entstammen insbesondere dem vom IB TBF in den Jahren 2014 und 2015 durchgeführten Anlagencheck der KVA sowie teilweise der von Born und Ermel durchgeführten Studie zum zukünftigen Klärschlammbehandlungskonzept aus dem Jahr 2015. Die Kenntnisse für die Endphase entstammen der Studie des Ingenieurbüros Born und Ermel. [1,2,28]

Nachfolgend wird die „Technische Konkretisierung“ jeweils für die Übergangsphase sowie für die Endphase der Strategien 1 bis 5 beschrieben.

Übergangsphase Strategie 1 / 5

Die Übergangsphase der einzelnen Strategien ist geprägt vom Umgang mit der bestehenden KVA und dem Anteil an selbst verbranntem bzw. extern verwertetem Klärschlamm. Im Falle der Strategien 1 und 5 dauert die Übergangsphase zeitlich bis etwa 2025. In beiden Fällen wird die bestehende KVA nur minimal saniert und in ihrer Funktionsweise nicht verändert, da sie möglichst früh abgelöst werden soll (bei Strategie 1 durch einen Neubau, bei Strategie 2 durch eine externe Verwertung).

Das erforderliche minimale Sanierungspaket wurde im KVA-Anlagencheck von TBF definiert. Es umfasst u.a. folgende Maßnahmen. [1,2]

- Strategische Ersatzteilbeschaffung für Trockner und Dickstoffpumpen (bereits erfolgt)
- Austausch der S5-Steuerungen und Bau einer neuen Warte
- Aufstellung einer Turbinenentwässerungsstation

Wie bereits in Kap. 3.4 erläutert, ist die bisherige externe Verwertung von rd. 1/3 des anfallenden Klärschlammes nach derzeitigem Kenntnisstand über das HKWN bis 2025 möglich. Die Diskussion in der Arbeitsgruppe „Klärschlammbehandlungskonzept“ hat ergeben, dass im Falle von Problemen in der KVA bzw. im HKWN die derzeit in Planung befindliche Notausschleusung auf dem KLW I zu berücksichtigen ist.

Folgende Maßnahmen für eine Notausschleusung im KLW I werden hierfür berücksichtigt (siehe Abbildung 14):

- Schaffung einer Ausschleusungsmöglichkeit an den Zentrifugen der bestehenden KVA
- Schaffung der Möglichkeit einer Zwischenpufferung des Klärschlammes in einem Silo mit einem Volumen von rund 250 m³

- Vorbereitung der Anschlüsse für den Betrieb von drei zusätzlichen mobilen Zentrifugen. Der Klärschlamm soll über entsprechende Leitungen vom Hauptschlammumpwerk zu den Zentrifugen transportiert werden.
- Schaffung einer zusätzlichen Lagerfläche für den entwässerten Klärschlamm zwischen KVA und Hauptschlammumpwerk.
- Berücksichtigung der möglichen Anmietung einer mobilen Zentrifuge mit einem Durchsatz von 60 m³/h (bei 3 % TR) zur Redundanzabsicherung.

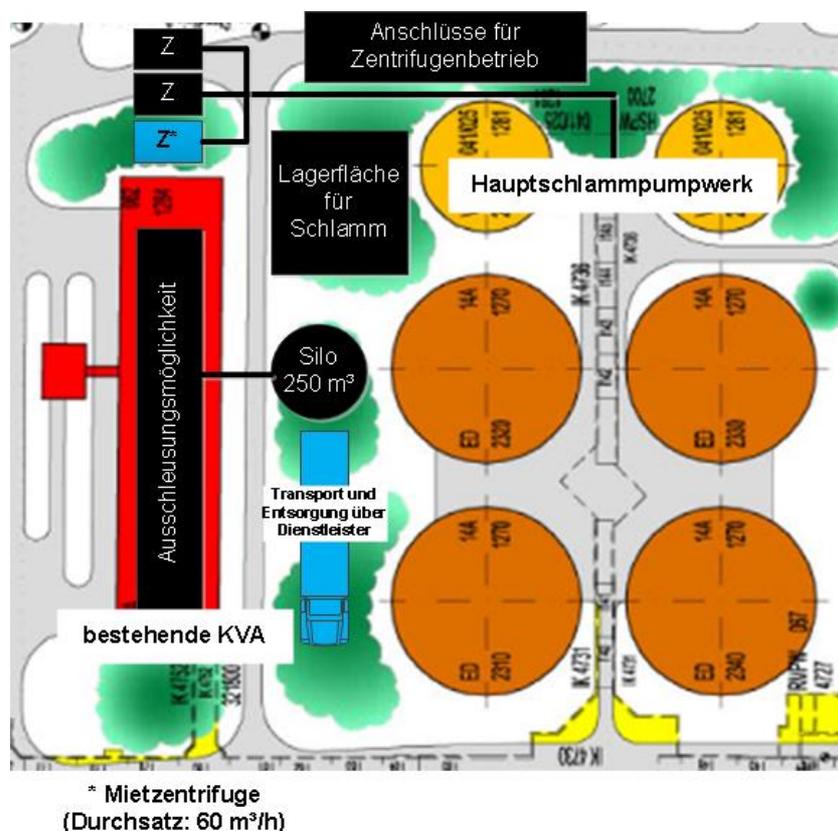


Abbildung 14: Darstellung der Notausschleusung bei Strategie 1 und 5

Einschätzung der technischen Umsetzbarkeit Strategie 1 / 5

Die technische Umsetzbarkeit der Sanierung der vorhandenen KVA ist bei den Strategien 1 und 5 vergleichsweise unkritisch. Die Verfahrenstechnik der Bestandsanlage wird nicht verändert und es sind keine tiefgreifenden Veränderungen im Altbestand der KVA vorgesehen. Während und nach der Sanierung ist daher nicht mit einer Verschlechterung der Anlagenverfügbarkeit zu rechnen.

Die Etablierung der Notausschleusung ist technisch vergleichsweise unproblematisch zu bewerkstelligen.

Übergangsphase Strategie 2

Im Falle von Strategie 2 dauert die Übergangsphase zeitlich bis etwa 2035.

Aufgrund des längeren Betriebs muss die bestehende KVA umfangreich saniert werden. Das erforderliche Sanierungspaket umfasst u. a. folgende weitere Maßnahmen [1,2]:

- Ersatz aller Zentrifugen, Trocknerrotoren und Dickstoffpumpen.
- umfangreiche Sanierung der Rauchgasreinigung, insbesondere Gewebefilter und Wäscher.
- Sanierung der Kesselanlage und Anschaffung einer neuen Vollentsalzungsanlage

Im Falle von Strategie 2 muss der rechtlich bedingte Wegfall des HKWN ab voraussichtlich 01.01.2025 für einen Zeitraum von ca. 10 Jahren kompensiert werden (etwa 2025 bis 2035). Die Diskussion in der Arbeitsgruppe „Klärschlammbehandlungskonzept“ hat ergeben, dass dafür ebenfalls das Notausschlusskonzept angewendet werden kann. Für die Überbrückung des rd. 10-jährigen Zeitraums muss bei Strategie 2 zusätzlich eine Zentrifuge mit einem Durchsatz von 60 m³/h (3 % TR) gekauft und in einem eigenen Gebäude untergebracht werden (siehe Abbildung 15):

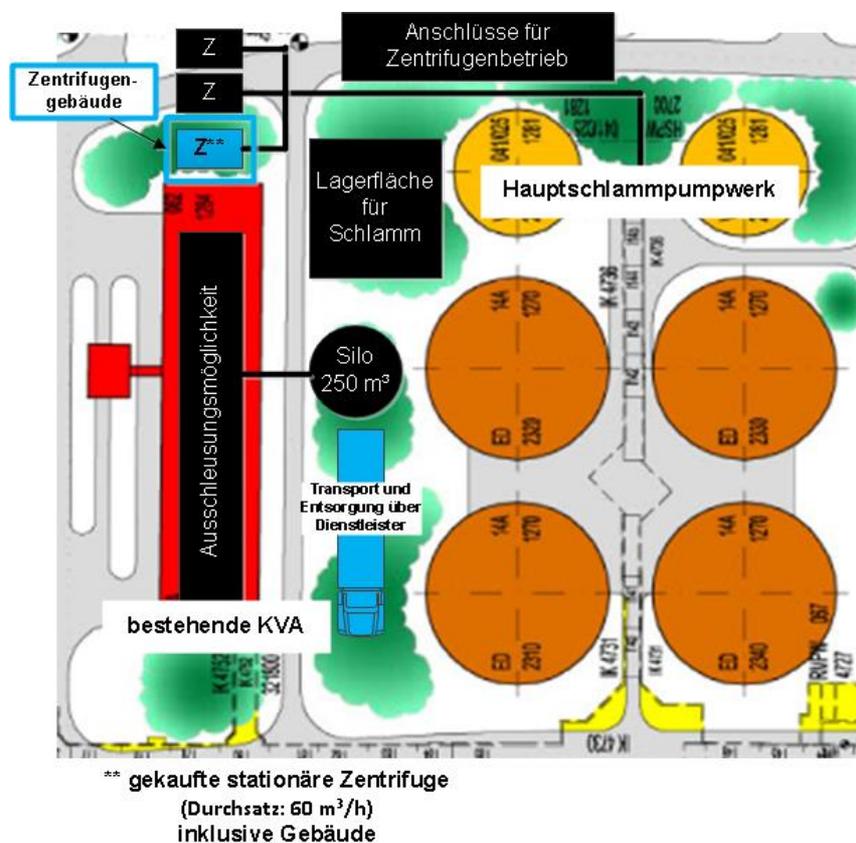


Abbildung 15: Darstellung der regulären Teilschlammausschleusung bei Strategie 2 im Falle des Verlustes des HKWN ab 2025

Einschätzung der technischen Umsetzbarkeit Strategie 2

Die technische Umsetzbarkeit der Sanierung ist bei Strategie 2 ebenfalls vergleichsweise unkritisch, da die Verfahrenstechnik der Bestandsanlage nicht verändert wird und keine tiefgreifenden Veränderungen im Altbestand der KVA vorgesehen sind. Während und nach der Sanierung ist daher auch bei Strategie 2 nicht mit einer Verschlechterung der Anlagenverfügbarkeit zu rechnen.

Die Etablierung der zum HKWN alternativen Ausschleusung von 1/3 des anfallenden Klärschlammes ist technisch ebenfalls unkritisch.

Übergangsphase Strategie 3

Im Falle von Strategie 3 dauert die Übergangsphase zeitlich ebenfalls bis etwa 2035.

Strategie 3 verfolgt im Unterschied zu den Strategien 1 und 2 das Ziel, bereits in der Übergangsphase 100 % des anfallenden Klärschlammes in der Bestandsanlage zu entsorgen. Hierfür ist eine reine Sanierung nicht mehr ausreichend. Folgende wesentliche Maßnahmen sind zur Realisierung von Strategie 3 im KVA-Anlagencheck definiert [1,2]:

- Für den Parallelbetrieb beider Verbrennungslinien sind an der bestehenden KVA umfangreiche Maßnahmen zur Flexibilisierung der Schlammaufbereitung erforderlich. Die Maßnahmen beinhalten Vorrichtungen für den Schlammaustrag und -wiedereintrag in und aus dem neu zu errichtenden Lager. Die erforderlichen Maßnahmen sind umfangreich und wurden als schwierig eingeschätzt.
- Das Pufferlager muss über die Möglichkeit einer Notausschleusung verfügen und bereits so konzipiert werden, dass es in das spätere Neubaukonzept integriert werden kann. Das Pufferlager dient der Besicherung von Revisionen und Notfällen und ist bei Strategie 3 die Grundvoraussetzung für einen „2-Linien-Sägezahnbetrieb“¹ der Bestandsanlage.

Anmerkung:

Ein „Sägezahnbetrieb“ ist erforderlich, da die beiden vorhandenen Linien aufgrund des zu geringen Schlammfalls, trotz flexibler Verknüpfung, nicht immer parallel betrieben werden können.

Die Wahl einer möglichen technischen Ausgestaltung des erforderlichen Pufferlagers wurde im Rahmen der Studie von Born und Ermel in Abstimmung mit der MSE durchgeführt. Als Technologie wurde ein Betonbunker mit integriertem Kran zum Schlammtransport innerhalb des Lagers gewählt (detailliertere Erläuterung zur Auswahl der Bunkertechnologie siehe weiter hinten in diesem Kapitel: Endphase – Verfahrensauswahl „KVA-neu“ (Strategie 1 bis 4)). Der Bunker verfügt zusätzlich über eine Ausschleusungsmöglichkeit für Klärschlamm.

1) Sägezahnbetrieb: Füllung des Pufferlagers im 1-Linienbetrieb, Leerung im 2-Linienbetrieb

Hierzu wurde eine entsprechende Verlademöglichkeit für LKWs im hinteren Teil des Bunkers berücksichtigt. Für das erforderliche Volumen des Bunkers wurden 13.500 m³ ermittelt. Die Größe wurde konservativ gewählt, unabhängig von dem später realisierten Szenario. Die Übergangsphase von Strategie 3 wird als 3-D-Modell in Abbildung 16 dargestellt.

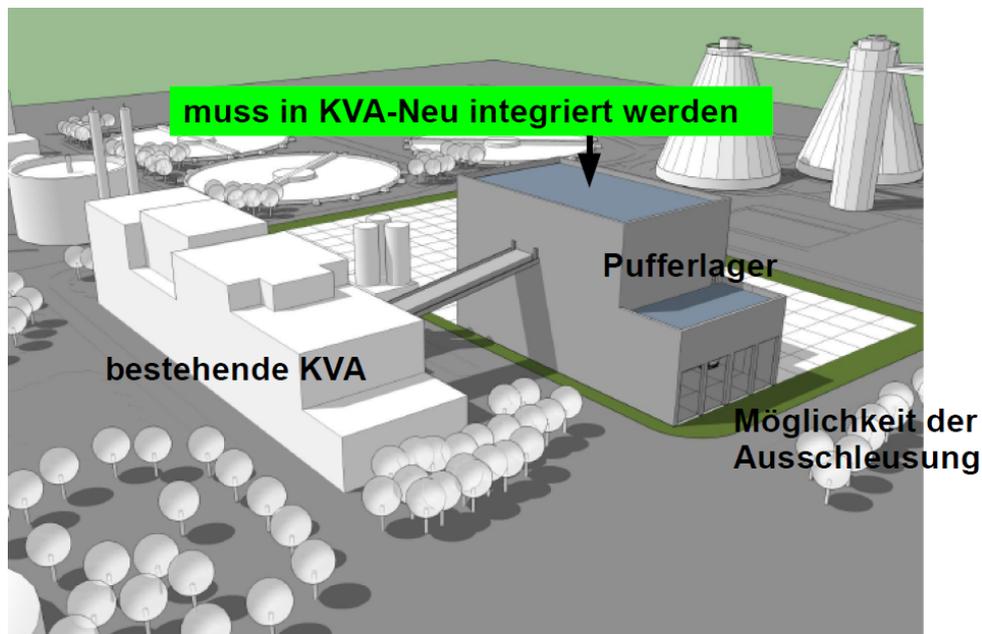


Abbildung 16: Darstellung der bestehenden KVA und des Pufferlagers in der Übergangsphase von Strategie 3 (Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

Einschätzung der technischen Umsetzbarkeit Strategie 3

Die technische Umsetzbarkeit ist bei Strategie 3 kritisch zu bewerten, da die Verfahrenstechnik der Bestandsanlage grundlegend verändert wird und tiefgreifende Anpassungen im Altbestand der KVA im laufenden Betrieb vorgenommen werden müssen. Insbesondere zu Beginn der Maßnahmen ist darüber hinaus eine deutliche Verschlechterung der Anlagenverfügbarkeit wahrscheinlich. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wurde angenommen, dass in den ersten 5 Jahren ab Beginn der Umbauphase nicht der gesamte anfallende Klärschlamm selbst verwertet werden kann. Eine vollständige Klärschlammverwertung ist in dieser Zeit nur mit teils erheblicher externer Unterstützung möglich. In Abbildung 17 werden die angenommenen Anteile der intern bzw. extern verwerteten Schlammengen dargestellt. Ein negativer Aspekt für die technische Umsetzbarkeit ergibt sich aus der Vorab-Festlegung auf bestimmte technische Lösungen (Pufferlager).

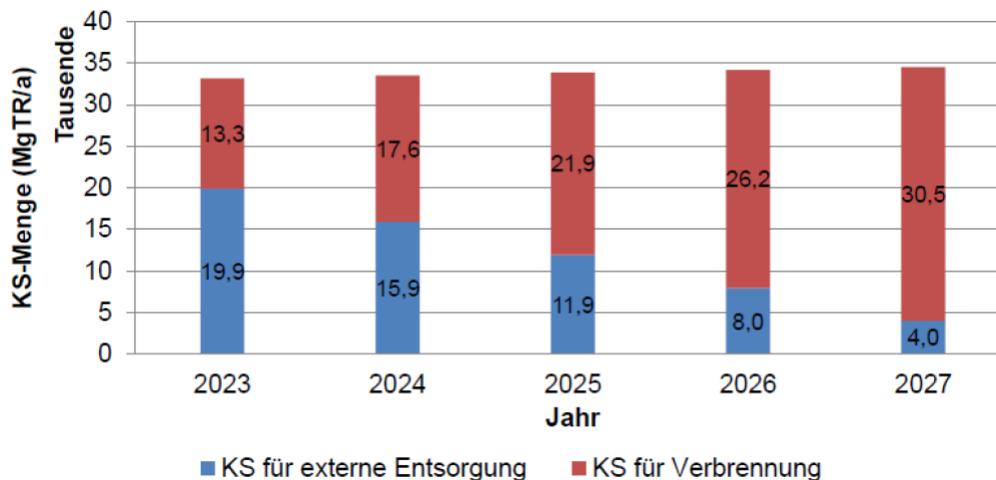


Abbildung 17: Darstellung der angenommenen Anteile der intern bzw. extern verwerteten Schlammengen in der Übergangsphase von Strategie 3 (Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

Übergangsphase Strategie 4

Im Falle von Strategie 4 dauert die Übergangsphase auch bis etwa 2035.

Ebenso wie Strategie 3 verfolgt Strategie 4 das Ziel einer 100 %igen Klärschlammbehandlung in der Übergangsphase. Bei Strategie 4 soll jedoch die gesamte Schlammaufbereitung (Entwässerung und Trocknung) als vorgezogener Teil eines KVA-Neubaus möglichst früh errichtet und an die Verbrennung inkl. Rauchgasreinigung des alten Anlagenbestands angekoppelt werden. Die Schlammaufbereitung der Bestandsanlage wird für den Regelbetrieb stillgelegt. Mit Hilfe dieser Vorgehensweise soll die Problematik der Eingriffe in den alten Anlagenbestand weitgehend umgangen werden. Genau wie im Falle von Strategie 3 ist auch hier die Etablierung eines Pufferlagers erforderlich, das ebenfalls in das spätere Neubaukonzept integriert werden muss.

Die Maßnahmen zur Umsetzung von Strategie 4 wurden nicht im KVA-Anlagencheck [1,2] behandelt und daher in der Studie "Klärschlammbehandlung" bearbeitet [28].

Die neu zu errichtende Schlammaufbereitung und das Pufferlager wurden in der Studie technisch folgendermaßen konzipiert [28]:

- Als Entwässerungsaggregate wurden 3 Zentrifugen mit einem Durchsatz von je 60 m³/h (bei ca. 3 % TR) gewählt. 2 zusätzliche Zentrifugen dienen als Redundanz.
- Zur Trocknung wurden 2 Dünnschichttrockner gewählt. 2 weitere dienen als Redundanz. Die Trockner haben einen Durchsatz von 4,6 MgTR/h (45 % TR).
- Das Pufferlager ist bei Strategie 4 in das Gebäude der Schlammaufbereitung integriert. Die Ausführungen zur gewählten Bunkertechnologie und -größe sind identisch mit den Annahmen für Strategie 3.

Die Übergangsphase von Strategie 4 wird als 3-D-Modell in Abbildung 18 dargestellt

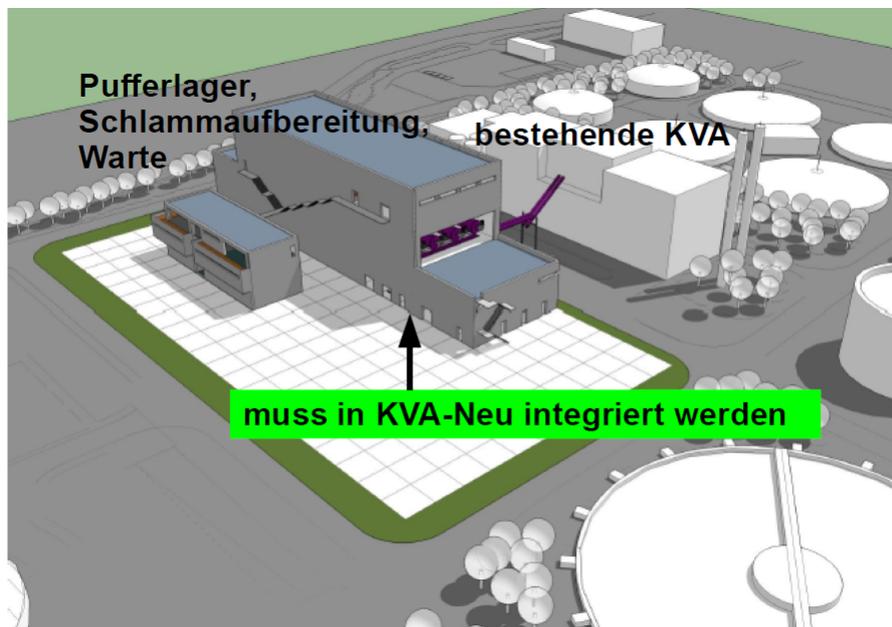


Abbildung 18: Darstellung der bestehenden KVA, der neuen Schlammaufbereitung und des Pufferlagers in der Übergangsphase von Strategie 4 (Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

Einschätzung der technischen Umsetzbarkeit Strategie 4

Die technische Umsetzbarkeit ist bei Strategie 4 teilweise kritisch zu bewerten. Obwohl der alte Bestand der Schlammaufbereitung nicht verändert wird, muss die neue Schlammaufbereitung im laufenden Betrieb samt Pufferlager an den Rest der Bestandsanlage angekoppelt werden (Leitungen, Nebensysteme, PLT,...). Der Bau der neuen Schlammaufbereitung ist jedoch einfacher zu bewerkstelligen als der Umbau der „alten“ Schlammaufbereitung bei Strategie 3. Auch in diesem Fall muss jedoch zunächst von einer Verschlechterung der Anlagenverfügbarkeit ausgegangen werden. Bei Strategie 4 wurden die gleichen Annahmen für die intern bzw. extern zu verwertenden Klärschlammanteile in den ersten 5 Jahren ab Beginn des Umbaus zu Grunde gelegt wie in Strategie 3 (siehe auch Abbildung 17). Ein negativer Aspekt für die technische Umsetzbarkeit ergibt sich aus der Vorab-Festlegung auf bestimmte technische Lösungen (Pufferlager und Schlammaufbereitung).

Endphase – Verfahrensauswahl „KVA-neu“ (Strategie 1 - 4)

Die Endphase der Strategien 1 bis 4 ist geprägt von einer neuen KVA. Bei Strategie 1 soll diese früher (etwa ab 2025), bei den Strategien 2, 3 und 4 später (etwa ab 2035) in Betrieb genommen werden. Bei den Strategien 1 und 2 wird davon ausgegangen, dass die neue KVA „in einem Guss“ errichtet wird, bei den Strategien 3 und 4 werden bereits Teile davon vorab gebaut und mit der Bestandsanlage gekoppelt. Die spätere Inbetriebnahme einer neuen KVA

wurde bei den Strategien 3 und 4 gewählt, da hier in der Übergangsphase ein hoher Aufwand erforderlich ist, um die Umrüstung der Bestandsanlage auf eine 100 %ige Eigenverwertung bewerkstelligen zu können. Wegen dieses hohen Aufwands wäre eine frühe Inbetriebnahme einer neuen KVA bei den Strategien 3 und 4 daher nicht sinnvoll.

Die neue KVA hat im Gesamtkontext des Strategievergleichs einen sehr großen Einfluss auf das Endergebnis. Um die vergleichende Strategiebewertung in technischer und monetärer Hinsicht möglichst aussagekräftig gestalten zu können, wurde eine an die Randbedingungen der MSE möglichst gut angepasste, beispielhafte neue KVA in der Studie konzipiert [28].

Die neue beispielhafte KVA wurde gemäß dem derzeitigen Kenntnisstand konzipiert. Diese Konzeption war notwendig, um einen finanziellen und technischen Vergleich der Strategien durchführen zu können. Die an dieser Stelle gewählten Lösungen und Technologien können sich im weiteren Planungsverlauf, bspw. aufgrund neuer Erkenntnisse, nochmals verändern.

Unabhängig davon, wann und in wie vielen Ausbaustufen die neue KVA bei der jeweiligen Strategie 1 bis 4 errichtet werden soll, wurden folgende einheitliche Planungsrandbedingungen sowie folgender Untersuchungsumgriff von der MSE vorgegeben:

Planungsrandbedingungen für den Strategievergleich, angelehnt an den derzeitigen Kenntnisstand:

- Der Betrachtungszeitraum umfasst die Jahre 2015 bis 2065.
- Als Verbrennungstechnologie wurde die Faulschlammmonoverbrennung vorgegeben (s.a. Kap. 2.2 Studie IB Born - Ermel, 2009).
- Die Auslegung der beispielhaften neuen KVA basiert ausschließlich auf den bei der MSE (LHM + angeschlossene Umlandgemeinden) anfallenden Schlammengen gemäß Schlammprognose (siehe Kap. 3.2) inklusive eines kleinen Puffers für die mögliche Annahme von Fremdschlämmen.
- Die neue KVA soll für diese Schlammengen eine 100 %ige Entsorgungssicherheit bieten.
- Standort der neuen KVA ist die Freifläche neben der Bestandsanlage auf dem K LW I.
- Die neue KVA muss möglichst flexibel auf schwankende Schlammengen reagieren können.
- Die neue KVA muss erweiterbar sein.
- Die neue KVA muss über die Möglichkeit einer Notausschleusung und (Fremd-)schlammannahme verfügen.
- Der MSE steht kein Entsorgungsverbund zur Risikoabdeckung zur Verfügung.

- Technologien zur Phosphorrückgewinnung, Co-Vergärung, Desintegration sowie die Verbrennung von Rechengut oder anderer Ersatzbrennstoffe werden in dieser Untersuchung nicht explizit betrachtet. Es ist jedoch möglich, dass diese in der weiteren Planung betrachtet werden, wenn sich neue Erkenntnisse ergeben. Die nachträgliche Integration dieser Technologien ist realisierbar.
- Die Verfahrenstechnik der Abwasserreinigung wird nicht verändert.

Anmerkung zu den Planungsrandbedingungen:

- Die Berücksichtigung einer zusätzlichen Annahme von Fremdschlamm in großem Umfang über die bereits an das Kanalnetz der MSE angeschlossenen 26 Umlandgemeinden hinaus war zum Zeitpunkt der Strategieerarbeitung weder quantitativ noch monetär abbildbar. Noch dazu liegt bis dato keine Zukunftsstrategie für Bayern in Bezug auf die Klärschlammbehandlung und Phosphorrückgewinnung (z.B. Zweckverbände) vor. Vor dem Hintergrund der Gebührenstabilität wurde eine möglichst gut ausgelastete, maximal effiziente und wirtschaftlich optimal betreibbare KVA auf den zur Verfügung stehenden Flächen konzipiert. Aufgrund des hohen zeitlichen Handlungsdrucks wegen der zu erwartenden Übergangsfristen der Novelle der Klärschlammverordnung (Ende der Übergangsfrist 01.01.2025) (siehe Kap. 3.4) ist die MSE gezwungen, möglichst zeitnah ein Konzept für die Zukunft der Klärschlammbehandlung zu entwickeln. Um jedoch möglichst flexibel auf künftige politische Entwicklungen, z.B. eine Fremdschlammannahme in größerem Umfang als bisher, reagieren zu können, wurde in den Strategien bereits konzeptionell eine hohe Flexibilität und eine Erweiterbarkeit der neuen KVA sowie eine optionale Fremdschlammannahme berücksichtigt.
- Die Planungsrandbedingungen wurden für die Strategieerstellung festgelegt. Sie sind mit Fortschreiten der Planung zu überprüfen.
- Insbesondere im Bereich der Phosphorrückgewinnung ist die MSE für jegliche, sich künftig als sinnvoll ergebende Technologien mit der gewählten Klärschlammmonoverbrennung flexibel und zukunftssicher.

Technischer Untersuchungsumgriff

- Es soll eine Betrachtung von 1- und Mehrlinienkonzepten im Hinblick auf Schlammaufbereitung und -verbrennung erfolgen.
- Es sollen Konzepte für die Verbrennung von entwässertem und vollgetrocknetem Klärschlamm betrachtet werden.
- Es sollen verschiedene Rauchgasreinigungskonzepte betrachtet werden. Hintergrund ist das bereits in der Bestandsanlage sehr hohe Niveau der Rauchgasreinigung, das im Falle einer neuen Anlage ebenfalls angesetzt werden muss, um zu vermeiden, dass eine Verschlechterung der aktuell erreichten Abluftwerte (siehe Anhang 9) eintritt.

- Es sollen verschiedene Technologien für die Zwischenspeicherung von Klärschlamm in einem Pufferlager betrachtet werden.

Ausgehend von den genannten Planungsrandbedingungen und dem vorgegebenen Untersuchungsumgriff wurden Technologien für die neue beispielhafte KVA ausgewählt, die im nächsten Schritt (Kostenvergleich der Strategien, siehe Kap. 4.4) monetär abgebildet werden konnten.

Nachfolgend sind die wichtigsten Ergebnisse der Verfahrensauswahl aufgeführt, die für die weitergehende Bewertung der Strategien herangezogen wurden. Eine detailliertere Erläuterung kann der Studie von Born und Ermel entnommen werden [28].

1. Anzahl an Linien / Anlagenkonfiguration

Gemäß der Planungsrandbedingungen wurden für den beispielhaften KVA-Neubau zunächst drei "Linien-Szenarien" (Szenario I, II und III) verglichen.

Szenario I beinhaltet die Errichtung einer "großen" Verbrennungslinie. Zur Entwässerung stehen im Regelbetrieb 3 Aggregate zur Verfügung, 2 weitere dienen als Redundanz. Im Falle der Trocknung sind es 2 Aggregate im Regelbetrieb und 2 als Redundanz. In der Verbrennungslinie, die mit einem Ofen ausgestattet ist, werden 100 % des anfallenden Klärschlammes thermisch verwertet. Der im Kessel erzeugte Dampf wird zu Strom und Wärme umgesetzt. Die entstehenden Rauchgase werden in einer Rauchgasreinigungslinie behandelt. Im Falle von Revisionsarbeiten steht die Verbrennung vollständig still, sodass der Klärschlamm in einem Pufferspeicher zwischengelagert werden muss. Diese Konzeption zeichnet sich durch eine hohe und gute Anlagenauslastung aus.

Für Szenario II sind zwei "kleinere" Verbrennungslinien mit je einem Ofen vorgesehen. Jede Linie kann 50 % des Klärschlammes thermisch verwerten. Auch während der Revision steht eine Linie als Verwertungsweg weiterhin zur Verfügung. Dies hat zur Folge, dass sich das Pufferspeichervolumen deutlich reduziert. Für die Reinigung der Rauchgase stehen ebenfalls 2 Linien zur Verfügung. Das Szenario zeichnet sich durch eine gute und hohe Anlagenauslastung aus. Die Entwässerung und Trocknung des Klärschlammes sowie die Energieerzeugung funktionieren analog zu Szenario I.

Im Falle von Szenario III sind zwei "große" Verbrennungslinien vorgesehen, die beide 100 % des Klärschlammes thermisch verwerten können. Die Verbrennungslinien werden nicht im Parallelbetrieb gefahren, sondern lösen sich während der Revision ab. Dies hat zur Folge, dass kein Pufferspeicher benötigt wird. Die Anlage weist jedoch aufgrund langer Stillstandzeiten eine geringere Anlagenauslastung auf. Aufgrund der Tatsache, dass die Anzahl der Linien für die anstehende Untersuchung keine Relevanz haben, wurde Szenario III an dieser Stelle zunächst nicht weiter betrachtet.

Die weiteren Betrachtungen (Kostenvergleich und finale Bewertung) erfolgten für die beiden Neubau-Szenarien I und II.

Es ist jedoch möglich, dass im weiteren Planungsverlauf aufgrund geänderter Rahmenbedingungen oder neuer Erkenntnisse andere als die an dieser Stelle gewählten Szenarien für die Linienkonfiguration der KVA betrachtet werden.

Als Aufstellungsort für die neue KVA wurde die Freifläche neben der bestehenden KVA gewählt (siehe Anhang 2). In Tabelle 3 wird die Anlagenkonfiguration der beiden ausgewählten Linien-Szenarien nochmals zusammenfassend dargestellt: Abbildung 19 zeigt ein beschriftetes 3-D-Modell der Szenarien I und II.

Komponente	Einheit	Szenario I (1 x 100%)	Szenario II (2 x 50%)
Linien	Stk.	1	2
Entwässerungs- maschine	Stk.	3 + 2	3 + 2
Trockner	Stk.	2 + 2	2 + 2
Ofen	Stk.	1	2
Energiewandlungs- maschine	Stk.	1	1
RGR	Stk.	1	2

Tabelle 3: Darstellung der Anlagenkonfiguration von Szenario I und II
(RGR = Rauchgasreinigung) (Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

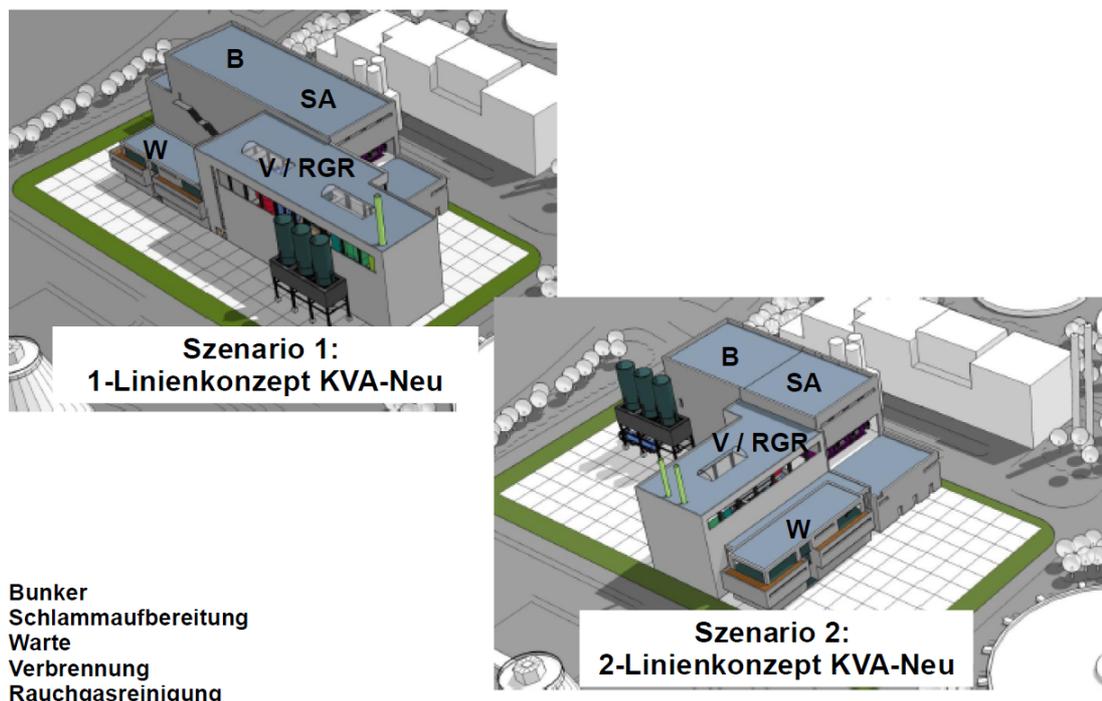


Abbildung 19: Darstellung von Szenario I und II als 3-D-Modell (Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

2. Technologie Pufferlager

Als Möglichkeit der Zwischenlagerung von entwässertem Schlamm wurden Schlammsilos, ein Bunkersystem aus Beton und die offene Lagerung auf Schlammfeldern verglichen.

Aufgrund des logistischen Aufwandes, des großen Flächenbedarfs und insbesondere auf Grund der hohen Geruchsemissionen wurde die offene Schlamm Lagerung sofort ausgeschlossen.

Schlammsilos zeichnen sich v. a. durch eine hohe Standortflexibilität und eine einfache Erweiterbarkeit aus. Nachteilig sind jedoch die sehr aufwendige und wartungsintensive Förderperipherie mit Gefahr einer hohen Störanfälligkeit und größerem Strombedarf (siehe Anhang 3).

Vergleichsweise technisch einfacher ist ein Schlamm bunker aus Beton mit einem Kran als Förderaggregat.

Der Vergleich der Speichertechnologien hat ergeben, dass ein Schlamm bunker aus Beton für die Konzipierung der beispielhaften KVA nach derzeitigem Kenntnisstand am sinnvollsten ist. Das Schlammsilo wurde ebenfalls für die weiteren Betrachtungen hier ausgeschlossen. Der Bunker wurde entsprechend der Planungsrandbedingungen mit einer Annahme- und Ausschleusungsmöglichkeit für Klärschlamm versehen (siehe Abbildung 20).

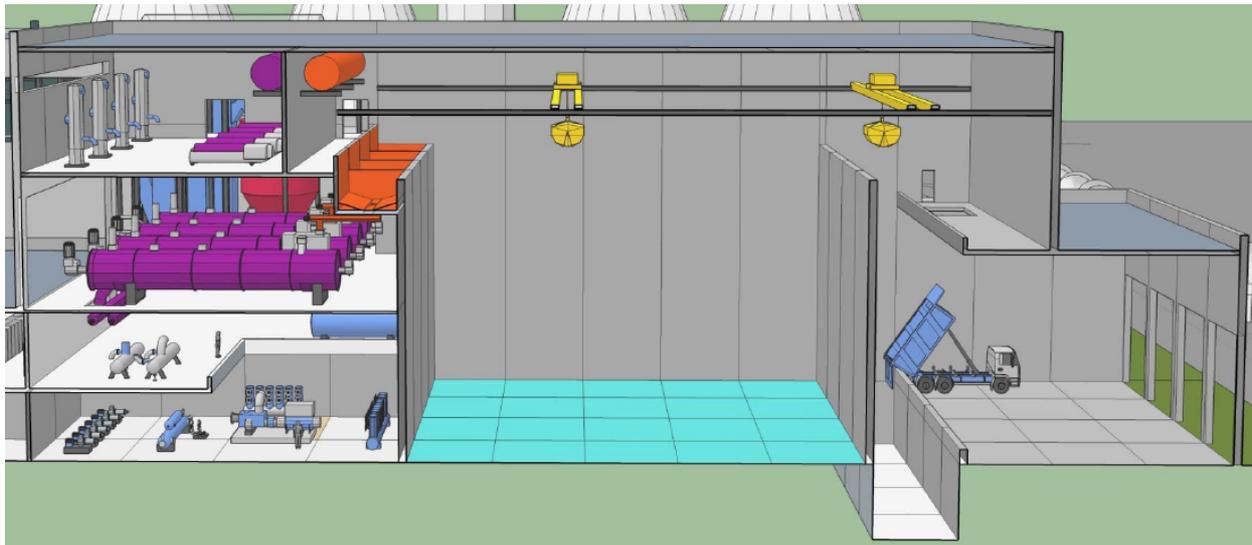


Abbildung 20: Darstellung der zur Konzipierung der beispielhaften KVA gewählten Bunkertechnologie mit Annahme- und Ausschleusungsmöglichkeit für Schlamm (rechts)
(Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

Für das Neubau-Szenario I (eine "große" Linie) wird ein größerer Pufferspeicher benötigt, da im Revisionszeitraum kein Schlamm verbrannt werden kann. Als Dimension für den Pufferspeicher bei Szenario I wurden 13.500 m^3 für ausgefaulten und entwässerten Klärschlamm ermittelt. Die maximale Entleerungszeit beträgt 172 Tage. Im Falle von Szenario II (zwei "kleinere Linien") reduziert sich das Lagervolumen auf 5.000 m^3 und die Entleerungszeit auf 67 Tage.

Anmerkung:

Lagergrößen wie im Falle von Szenario I mit 13.500 m^3 auf geringer Grundfläche sind nach aktuellem Kenntnisstand bisher in Deutschland nicht realisiert. Eine Ersteinschätzung von Born und Ermel hat eine prinzipielle Machbarkeit ergeben. Um eine optimale Entsorgungssicherheit für den Klärschlamm gewährleisten zu können, wird jedoch für die weitere Planung eine vertiefte Betrachtung der Machbarkeit und des Betriebes eines derart großen Schlamm-lagers im Rahmen der Studie empfohlen.

Mit dem Ziel der 100 %igen Schlamm-entsorgung durch die MSE und einem aktuell nicht zur Verfügung stehenden Entsorgungsverbund ergibt sich eine sehr große Menge zwischenspeichernden Klärschlammes. Dadurch unterscheidet sich die MSE deutlich von den zuletzt durch Born und Ermel geplanten und gebauten Anlagen. Dort erfolgt die Zwischenspeicherung separat bei den anliefernden Partnern. Im Lager vor Ort fällt daher viel weniger Schlamm an. Das Ergebnis der weiteren Betrachtungen zur Revisionsbesicherung (Schlamm-lagerung oder Mehrlinienkonzept) wird die grundlegende Anlagenkonzeption bestimmen. Im weiteren Planungs-verlauf ist zu prüfen, ob eine Machbarkeit gegeben ist oder Alternativen wie z.B. Mehrlinienkonzepte zu verfolgen sind.

3. Technologie Entwässerung

Für die Entwässerung des Klärschlammes wurden Zentrifugen, Bandfilterpressen, Kammerfilterpressen, Schlauchfilterpressen und Schneckenpressen verglichen und mit folgendem Ergebnis bewertet:

Für die Konzipierung der Entwässerung ist der Einsatz einer Bandfilterpresse aufgrund des hohen Instandhaltungsaufwandes nicht optimal. Ebenfalls nicht von Vorteil ist die Kammerfilterpresse die nur diskontinuierlich betrieben werden kann und sich wie die Schlauchfilterpresse durch hohe Investitionskosten auszeichnet. Zudem entspricht die Schlauchfilterpresse nicht dem Stand der Technik und hat einen hohen Energieverbrauch. Auch die Schneckenpresse eignet sich nicht als optimale Entwässerungslösung, da sie nur für geringe Durchsätze ausgelegt ist und einen geringen Abscheidegrad hat. Aufgrund der kontinuierlichen Betriebsweise, dem geringen Instandhaltungsaufwand und den guten Entwässerungseigenschaften ist die Zentrifuge eine der gängigsten Entwässerungsmaschinen in der Klärschlammverwertung. [28]

Aus diesem Grund wurde für die weiteren Betrachtungen die Zentrifuge gewählt (Technologie kann sich im weiteren Planungsverlauf noch verändern). Zur Schlammentwässerung kommen insgesamt 3 Zentrifugen mit einem Durchsatz von je 60 m³/h Klärschlamm (3 % TR) zum Einsatz. 2 weitere Zentrifugen dienen als Redundanz. Dieses Konzept gilt sowohl für Szenario I (eine "große" Linie), als auch für Szenario II (zwei "kleinere" Linien) und ist unabhängig von der zukünftigen als optimal zu ermittelnden Anzahl an Verbrennungslinien. [28]

4. Technologie Trocknung

Um die Trocknung des Klärschlammes zu realisieren, wurden folgende Trocknerarten verglichen. Dies waren der Bandtrockner, Trommeltrockner, Wirbelschichttrockner und der Dünnschicht- bzw. Scheibentrockner. Sie unterscheiden sich neben der baulichen Form auch im Bereich der Möglichkeit Schlamm teil- bzw. voll zu trocknen. Die Möglichkeit des ausschließlichen Einsatzes von vollgetrocknetem Klärschlamm wurde aufgrund der Planungsvorgaben betrachtet, jedoch aus betrieblichen Gründen zunächst ausgeschlossen. Ein System zur Volltrocknung stellt hohe Anforderungen an den Explosionsschutz, da sich explosionsfähige Stäube entwickeln können. Zudem wäre eine Vielzahl kleiner, verkapselter Silos mit komplexer und kostenintensiver Fördertechnik erforderlich. Die Vielzahl an Silos und Förderaggregaten erhöht wiederum die Wahrscheinlichkeit von Betriebsstörungen (siehe dazu Anhang 4).

Aufgrund der erhöhten Gefahr der lokalen Überhitzung und dem damit zusammenhängenden erhöhten Brandrisiko wurde der Bandtrockner für die weiteren Betrachtungen ausgeschlossen. Auch der Einsatz eines Trommeltrockners und Wirbelschichttrockners wurde als nicht praktikabel bewertet, da sie sich nicht für eine Teiltrocknung eignen. Eine Teiltrocknung wäre nur mit einem erhöhten Aufwand möglich. Eine solare Trocknung ist charakterisiert durch eine geringe Trocknungsleistung aus und benötigt somit lange Trocknungszeiten. Zudem ist der Platzbedarf so erheblich, dass diese Art der Trocknung am Standort Gut Großlappen nicht machbar ist.

Der Einsatz eines Scheibentrockners und der Einsatz eines Dünnschichttrockners haben sich bei der Bewertung als die praktikabelsten Lösungen für die Konzeption der neuen KVA herausgestellt.

Um einen konservativen Ansatz bzgl. Platzbedarf und Kosten zu wählen, wurde im Rahmen der Studie ein Dünnschichttrockner betrachtet (Technologie kann sich im weiteren Planungsverlauf noch verändern). Dieser ist vergleichsweise teuer und weist einen hohen Platzbedarf auf, ist aber in der Lage eine große Bandbreite des Entwässerungsgrades abzudecken und dient somit der Planungsrandbedingung "Flexibilität". Insgesamt kommen 2 Trockner mit einem Durchsatz von jeweils 4,6 MgTR/h (45 % TR) zum Einsatz. 2 weitere Trockner dienen als Redundanz. Dies gilt gleichermaßen für Szenario I und II.

5. Technologie Verbrennung

Für die Verbrennung des Klärschlammes wurden die Rostfeuerung, die Wirbelschichtfeuerung in ein- bzw. zwei-stufiger Ausführung, die Pyrolyse (thermo-chemische Spaltung organischer Verbindungen bei hohen Temperaturen) und das HTC-Verfahren (Hydrothermale Karbonisierung, Verkohlung bei hohem Druck und hoher Temperatur) verglichen.

Die Pyrolyse und das HTC-Verfahren sind derzeit nicht Stand der Technik. Die einzigen Referenzen für eine Pyrolyseanlage stellen aktuell die Pilotanlage am Standort der Kläranlage Balingen und eine Anlage in Mannheim dar. Eine zuverlässige Aussage zur Betriebssicherheit bzw. zu einem wirtschaftlichen Betrieb ist bis dato nicht möglich (Stand Jan. 2016).

Die Verbrennungstechnologien auf Basis einer Rost- oder Wirbelschichtverbrennung sind praxisbewährte Verfahren, allerdings ist die Wirbelschichtfeuerung in der Klärschlammverbrennung weiter verbreitet und kann insbesondere in Deutschland seit Jahrzehnten zahlreiche Referenzen aufweisen. Von Nachteil für die Rostfeuerung ist, dass Klärschlamm einen hohen mineralischen Anteil besitzt, wodurch es zu einem erhöhten Abrieb bei den beweglichen Rostböden kommt. Der Instandhaltungsaufwand nimmt deutlich zu. Hier liegt der Vorteil des Wirbelschichtofens, er besitzt keine beweglichen Teile im Verbrennungsraum, wodurch der Instandhaltungsaufwand geringer ist. Auf Grund der niedrigeren Ofentemperatur entsteht zudem deutlich weniger NO_x . Die Wirbelschichtfeuerung bietet die Möglichkeit den Ofen ein- bzw. zwei-stufig auslegen zu können. Beim zwei-stufigen Ofen ergibt sich der Vorteil, dass weniger Stickoxide (NO_x) entstehen. Ein weiteren Vorteil der zwei-stufigen Verbrennung ist, dass ein verbessertes Teillastverhalten erzielt werden kann und der Ofen dadurch flexibler auf schwankende Schlammengen reagieren kann. Dies wiederum ist eine entscheidende, eingangs definierte Planungsrandbedingung. Da es sich beim zwei-stufigen Wirbelschichtofen um eine technische Neuerung des einstufigen Ofens handelt, gibt es bisher nur eine Referenzanlage in Bitterfeld. Es befinden sich jedoch weitere in der Projektierung. Im weiteren Verlauf der Planung sind die technischen Entwicklungen zu verfolgen und in die endgültige Auswahl einzubeziehen.

Für die Konzipierung der beispielhaften KVA wurde insbesondere aus Gründen der Flexibilität und der guten NO_x -Eigenschaften in Anlehnung an die gestellten Planungsrandbedingungen ein zwei-stufiger Wirbelschichtofen gewählt.

Die Wirbelschichttechnologie ist seit Jahren die bewährteste Form der Klärschlammverbrennung. Eine Änderung der Wirbelschichttechnologie im weiteren Planungsverlauf ist derzeit nicht vorgesehen. Die genaue Ausgestaltung des Ofens (1-stufig oder 2-stufig, etc.) ist jedoch noch variabel.

Bei Szenario I (eine "große" Linie) wird von einem Ofen mit einer Feuerungswärmenennleistung von $13,5 \text{ MW}_{\text{th}}$ ausgegangen. Der Jahresdurchsatz des Ofens beträgt entsprechend der in Kapitel 3.2 vorgestellten Schlammprognose 35.500 t TR/a . Die Bandbreite des Ofens bewegt sich von 24.850 t TR/a bis 39.050 t TR/a auf. Im Falle von Szenario II (zwei "kleinere" Linien) werden 2 Öfen mit einer Feuerungswärmeleistung von je $6,8 \text{ MW}_{\text{th}}$ eingesetzt. Der Jahresdurchsatz von 35.500 t TR/a wird gleichermaßen auf die beiden Öfen verteilt. [28]

6. Wasser-Dampf-Kreislauf / Energieproduktion

Zur Konzipierung der neuen KVA wird angenommen, dass durch die Wärmeabgabe des verbrannten Klärschlammes im Kessel rund 15 t/h Dampf mit 40 bar und 400 °C entstehen (Ergebnisse der thermodynamischen Auslegungsrechnung). Als mögliche Turbinentechnologien wurden die Gegendruckturbine und die Entnahme-Kondensationsturbine verglichen. Die Entnahme-Kondensationsturbine ist zwar platzintensiver, aber aufgrund der besseren Energieausnutzung des Dampfes in der Lage, eine höhere elektrische Leistung zu erzeugen. Aufgrund der viel besseren Energieeffizienz dieser Turbinentechnologie lassen sich auch höhere CO_2 -Einsparungen im Vergleich zur Gegendruckturbine und somit positive Umweltauswirkungen realisieren.

Für die beispielhafte KVA wurde daher die Technologie einer Entnahme-Kondensationsturbine zu Grunde gelegt (Technologie kann sich im weiteren Planungsverlauf noch verändern). Die gewählte Klemmenleistung beträgt $2.000 \text{ kW}_{\text{el}}$ (aktuelle KVA $1.200 \text{ kW}_{\text{el}}$). Die produzierte jährliche Strommenge wurde mit rund $15,2 \text{ GWh/a}$ geschätzt. Diese Strommenge ist ausreichend, um die neue Anlage vollständig mit Strom zu versorgen und noch rund 2 bis 3 GWh/a an Überschussstrom zu produzieren. Für Szenario I (eine "große" Linie) und II (zwei "kleinere" Linien) ist jeweils eine Entnahme-Kondensationsturbine vorgesehen. [28]

Anmerkungen:

- Derzeit werden in der Bestandsanlage bei der Verwertung von rd. $2/3$ des anfallenden Schlammes rund 3 GWh/a an Strom durch die Gegendruckturbine erzeugt. Der Gesamtstrombedarf der Anlage beträgt ca. 9 GWh/a . Die beispielhafte neue Anlage würde daher aus energetischer Sicht eine deutliche Verbesserung darstellen, da den Berechnungen des Ingenieurbüros Born und Ermel zu Folge voraussichtlich kein zusätzlicher externer Strom für die Bedarfsdeckung benötigt würde. Ggf. kann sogar Strom in das Klärwerk zusätzlich eingespeist werden.
- Bei der Wahl der Turbinenleistung müssen im weiteren Planungsverlauf aus Wirtschaftlichkeitsgründen energierechtliche Aspekte (z.B. Stromsteuerthematik, EEG) beachtet werden.

7. Technologie Rauchgasreinigung

Hinsichtlich der gewählten Rauchgasreinigungstechnologie wurden drei Varianten verglichen.

Bei der untersuchten quasitrockenen Rauchgasreinigung (Variante A) werden Suspensionen in den Rauchgasstrom verteilt. Dadurch werden die sauren Bestandteile des Rauchgases absorbiert. Diese Variante besitzt daher keinen SO₂-Wäscher. Zur Abscheidung von organischen Schadstoffen und Schwermetallen wird Calciumhydroxid dem Rauchgasstrom zugegeben. Die Reaktionsprodukte werden in einem nachgeschalteten Gewebefilter abgeschieden (siehe Anhang 5).

Bei der nassen Rauchgasreinigung (Variante B) werden Wäscher zur Reinigung des Rauchgases eingesetzt. In der Waschzone werden die im Rauchgas befindlichen Schadstoffe durch intensiven Kontakt mit dem Waschwasser durch physikalische oder chemische Absorption abgeschieden. Durch Zugabe von Calciumhydroxid und Aktivkohle werden zunächst Salzsäure (HCl), Flußsäure (HF), Quecksilberverbindungen (Hg), Staub, partikelgebundene und gasförmige Schwermetalle im Waschwasser absorbiert. Anschließend wird primär Schwefeldioxid in einer Suspension aus Kalkhydrat oder Natronlauge (NaOH) abgeschieden (siehe Anhang 6).

Bei der trockenen Rauchgasreinigung (Variante C) wird der Reaktionsstrecke das Sorptionsmittel Natriumhydrogencarbonat zudosiert, um die im Abgasstrom enthaltenen Schadstoffe, wie Salzsäure (HCl), Schwefeldioxid (SO₂), organische Schadstoffe (z.B. Dioxine und Furane) sowie ökotoxische Schwermetalle (z.B. Quecksilber) zu binden. Die Reaktionsprodukte werden ebenfalls durch einen nachgeschalteten Gewebefilter abgeschieden.

Variante C wurde rasch ausgeschlossen, da die Reinigungsleistung insbesondere bei HF nicht so hoch ist wie bei den Varianten A und B und nicht dem Garantiewert der Bestandsanlage für diesen Parameter entspricht. Darüber hinaus würden hohe laufende Kosten für das Sorptionsmittel Natriumhydrogencarbonat aufgrund einer Monopolstellung des Lieferanten anfallen.

Für die weiteren Betrachtungen wurden daher Variante A (quasitrockene Rauchgasreinigung) und Variante B (nasse Rauchgasreinigung) gewählt. Beide Verfahren sind geeignet, die Schadstoffe bis auf die Emissionsgrenzwerte der geltenden 17. BImSchV und darüber hinaus abzuscheiden, wobei Variante B in der Lage ist, noch geringere Abluftwerte zu generieren. Ob Variante A den Garantiewert der Bestandsanlage für den Parameter SO₂ einhalten kann, ist im Rahmen dieser Ersteinschätzung nicht gesichert zu beantworten. Variante B wurde jedoch so konzipiert, dass auf keinen Fall eine Verschlechterung gegenüber den schon jetzt sehr niedrigen Garantiewerten der bestehenden KVA eintritt und sogar mit einer deutlichen Verbesserung beim Parameter SO₂ gerechnet werden könnte.

Anmerkung:

Die Rauchgasreinigung der Bestandsanlage hat auch für heutige Verhältnisse einen sehr hohen Reinigungsstandard (siehe auch Kap. 3.1).

Aus Gründen des Umweltschutzes muss bei der weiteren Planung daher insbesondere auf die Rauchgasreinigung ein großes Augenmerk gelegt werden. Eine hohe Qualität der Rauchgasreinigung soll auch künftig angestrebt werden.

Endphase Strategie 5

In der Endphase von Strategie 5 wird der komplette anfallende Klärschlamm etwa ab 2025 zunächst auf dem KLW I entwässert und anschließend von einem externen Entsorger abgeholt und entsorgt. Hierzu wurde das folgende Konzept entwickelt:

Um den Schlamm ausschleusen zu können, muss dieser in entwässerter Form vorliegen. Für die Auslegung der Zentrifugen und das Redundanzkonzept wurde, wie auch bei der beispielhaften neuen KVA, eine Aufteilung von 3 Zentrifugen im Regelbetrieb und 2 Zentrifugen als Redundanz angenommen. Als Durchsatz wurden entsprechend 60 m³/h (bei 3 % TR) gewählt. Die Zentrifugen müssen in einem entsprechenden Gebäude untergebracht werden.

Für die Abholung des auf dem KLW I entwässerten Schlamms wurde angenommen, dass diese nur werktags von 06.00 bis 18.00 Uhr erfolgen kann. Diese Annahme begründet sich aus geltenden Liefer- und Entsorgungsverträgen. Auch in diesem Fall muss ein Pufferspeicher errichtet werden, der den Klärschlamm für 5 Tage (langes Wochenende) zwischenspeichern kann. Der Pufferspeicher wird ebenfalls als Bunker konzipiert und erhält eine Verladehalle. Im Falle eines langen Wochenendes müssen pro Tag 35 LKWs mit Klärschlamm beladen werden. Hierin berücksichtigt sind sowohl der zwischengelagerte als auch der täglich anfallende Klärschlamm. Für den Normalfall, dass nur ein normales Wochenende überbrückt werden muss, müssen werktags 25 LKWs mit Klärschlamm beladen werden. Die Strategie 5 ist demnach im Vergleich zu den anderen Strategien mit dem höchsten Verkehrsaufkommen verbunden.

Anmerkung:

Die logistischen Aspekte wurden an dieser Stelle beim Vergleich der Strategien nicht herangezogen.

Als Standort wurde, wie im Falle eines KVA-Neubaus, die Freifläche neben der bestehenden KVA auf dem KLW I gewählt.

Abbildung 21 zeigt, wie die Vollstromausschleusung bei Strategie 5 aussehen könnte:

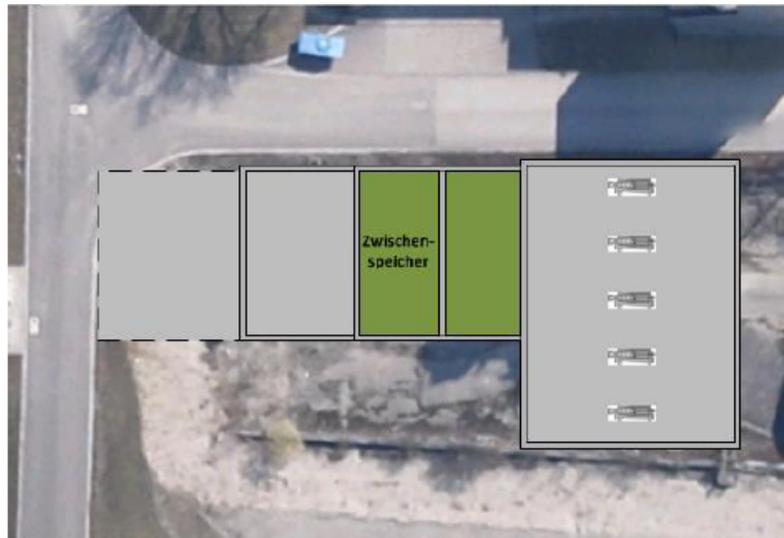


Abbildung 21: Darstellung der Vollstromausschleusung bei Strategie 5 (links: Bunker mit Verladestation, rechts: Entwässerungsgebäude mit 5 Zentrifugen) (Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

Zusammenfassung der „Technischen Konkretisierung“

Die bei der „Technischen Konkretisierung“ ausgewählten Lösungen wurden im nächsten Schritt (Kostenvergleich der Strategien im Kap. 4.4) monetär bewertet, sodass die Strategien untereinander nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten verglichen werden konnten. Abbildung 22 stellt die Zusammenfassung des Betrachtungsumgriffs für die weitere wirtschaftliche Untersuchung dar, der sich aus der „Technischen Konkretisierung“ ergeben hat.

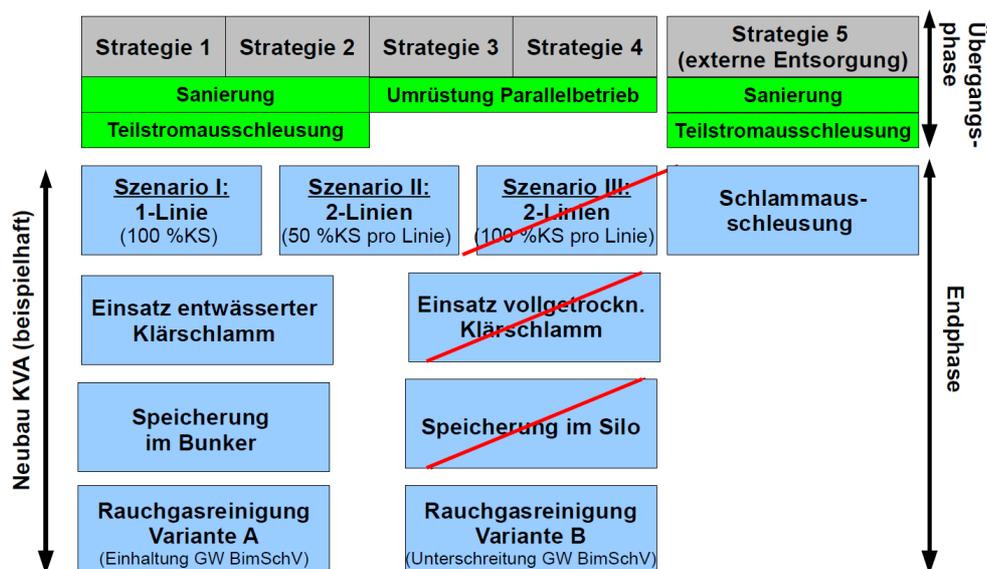


Abbildung 22: Darstellung des Betrachtungsumgriffs, der sich aus dem Schritt "Technische Konkretisierung" für die weitere Bewertung ergeben hat

4.4 Kostenvergleich der Strategien

Ziel des Kostenvergleichs war es, für die fünf entwickelten Strategien, ausgehend von den gegenwärtigen Klärschlammbehandlungskosten (KVA + HKWN) in Höhe von rd. 380 €/tTR (siehe Kap. 3.2), die jeweiligen zukünftigen Klärschlammbehandlungskosten zu ermitteln und dadurch herauszufinden, welche Strategie aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten die beste ist. Neben den reinen Kosten spielt hierbei auch der Kostenverlauf über die betrachteten Jahre für die Gebührenentwicklung eine wichtige Rolle. Bei der Kostenermittlung wurde die MSE wiederum durch das IB Born und Ermel unterstützt.

Um die gewünschten Aussagen zu erhalten, wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

- Zunächst wurden die allgemeinen Rahmenbedingungen für die Kostenbetrachtung festgelegt (Abschreibungszeiträume, Ansatz für Personalkosten, Wartung u. IH, ...).
- Ausgehend davon wurde eine statische Jahreskostenbetrachtung zunächst ohne und anschließend mit Preissteigerungsfaktoren durchgeführt. Bei der Jahreskostenbetrachtung werden die Investitionen (über kalkulatorische Abschreibungen und Zinsen) sowie die Betriebskosten auf den Betrachtungszeitraum verteilt. Hierbei ist gut erkennbar, wie gleichmäßig bzw. ungleichmäßig ein Kostenverlauf über die Jahre ist.
- Eine Schwäche der statischen Jahreskostenbetrachtung ist es, dass Strategien, bei denen Investitionen später anfallen, benachteiligt werden, da Zins- und Zinseszinsseffekte nicht berücksichtigt werden. Dies ist insbesondere bei den Strategien 2, 3 und 4 der Fall, da die neue KVA hier erst im Jahre 2035 in Betrieb geht. Aus diesem Grund wurde im Anschluss an die Jahreskostenbetrachtung daher eine dynamische Kostenvergleichsrechnung nach den LAWA-Leitlinien (Barwertmethode) durchgeführt.
- In einer abschließenden Sensitivitätsanalyse wurde überprüft, ob sich die gewonnenen Grundaussagen bei der Variation wichtiger Parameter verändern.

Nachfolgend werden zunächst die allgemeinen Rahmenbedingungen der Kostenbetrachtung erläutert. Anschließend werden die Ergebnisse der Kostenbetrachtung vorgestellt.

1. Allgemeine Rahmenbedingungen der Kostenbetrachtung

Die allgemeinen Rahmenbedingungen für die Kostenbetrachtung beinhalten:

- Ansätze für die Investitionskosten
- Allgemeine Kostenansätze für die Jahreskostenbetrachtung
- Ansätze für die dynamische Kostenbetrachtung nach LAWA
- Angenommene Preissteigerungsfaktoren und hinterlegte Sensitivitäten

1.1 Ansätze für die Investitionskosten

Die Investitionskosten für die Sanierungs- und Flexibilisierungsmaßnahmen der Strategien in der Übergangsphase wurden hauptsächlich dem KVA-Anlagencheck entnommen [1,2]. Die Kosten für die Maßnahmen zur Teilstromausschleusung wurden anhand der im Rahmen der „Technischen Konkretisierung“ gewählten Maschinen- und Bautechnik festgelegt.

Grundlage für die Investitionskosten der Maschinen- und Elektrotechnik des KVA-Neubaus (Strategie 1 bis 4) bzw. der Vollstromausschleusung (Strategie 5) in der Endphase sind Richtpreisangebote von Born und Ermel aus dem Jahr 2015. Die Kosten verstehen sich inklusive Lieferung und Montage sowie inklusive Kosten für Gutachten und Genehmigungen. Die Investitionskosten der Bautechnik basieren auf festen Kostenansätzen für den umbauten Raum (siehe Tabelle 4). Die Kosten für die Baustelleneinrichtung sind hierbei berücksichtigt. Die Kosten für Planung und Detailengineering wurden vergabeunabhängig, also unabhängig davon, ob die Vergabe an einen Generalplaner, Generalunternehmer oder losweise erfolgt, mit 20 % der Herstellungskosten der neuen KVA angesetzt.

Nr.	Kostenansätze Bautechnik	Kostenansatz
1	Zentrifugenraum	260 €/m ³
2	Bunker	260 €/m ³
3	Trocknerhalle	260 €/m ³
4	Verbrennungsgebäude / Kesselhaus	200 €/m ³
5	Turbinenhalle	200 €/m ³
6	Halle Rauchgasreinigung	200 €/m ³
7	Halle / Gebäude allgemein	282 €/m ³

Tabelle 4: Darstellung der für die Investitionskosten der Bautechnik gewählten Ansätze
(Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

1.2 Allgemeine Ansätze für die Jahreskostenbetrachtung

Zur Durchführung der statischen Jahreskostenbetrachtung wurden MSE-spezifische Ansätze für die Kapitalaufwendungen, Wartung, Reparatur und Instandhaltung, Verwaltung, Versicherung und sonstige Administration, Personal-, Betriebsmittel- und Entsorgungsaufwand sowie für sonstige Erlöse und Aufwendungen gewählt.

Die zusammengefassten Ansätze für die Jahreskostenbetrachtung werden in Tabelle 5 dargestellt.

Anmerkung:

Der prozentuale Ansatz für die Instandhaltung der Maschinenteknik wurde bewusst hoch mit 5 % veranschlagt, um eine konstante Anlagenverfügbarkeit über die Laufzeit garantieren zu können.

Nr.	Parameter	Kostenansatz
1	Kapitalaufwendungen	
	Abschreibungszeitraum Investitionen Bautechnik	30 Jahre
	Abschreibungszeitraum Investitionen Maschinenteknik	15 Jahre
	Abschreibungszeitraum Investitionen Elektrotechnik	10 Jahre
	Zinssatz Bautechnik	3,0 %
	Zinssatz Maschinenteknik	3,0 %
	Zinssatz Elektrotechnik	3,0 %
2	Wartung, Reparatur und Instandhaltung	
	Prozentualer Anteil von Investitionen Bautechnik	1,0 %
	Prozentualer Anteil von Investitionen Maschinenteknik	5,0 %
	Prozentualer Anteil von Investitionen Elektrotechnik	2,0 %
3	Verwaltungs-, Versicherungs- und sonstige Administrationsaufwendungen	
	Prozentualer Ansatz Versicherung (Bezug auf Gesamtinvestition)	0,3 %
	Prozentualer Ansatz Asche-Analytik (Bezug auf Entsorgungskosten)	1,5 %
4	Personalaufwendungen	
	MSE-Ansatz	2.420.000 €/a
5	Betriebsmittelaufwendungen	
	Strombezug	0,20 €/kWh
	Erdgas	0,069 €/kWh
	Flockungsmittel	3.500 €/t
	Wirbelsand	30 €/t
	Natronlauge	225 €/t
	Calciumhydroxid	145 €/t
	Aktivkoks	400 €/t
	Stadtwasser	3,12 €/m ³
	sonstiges (z.B. Öl, Fett)	1 €/MgTR
	Ammoniakwasser	160 €/t
6	Entsorgungsaufwendungen	
	Ascheverwertung	70 €/t
	Reststoffe aus Rauchgasreinigung	100 €/t
	sonstiges (z.B. Altöl, Isoliermaterial)	0,20 €/MgTR
	externe Schlamm Entsorgung HKWN (2015 bis 2022)	470 €/MgTR
	externe Schlamm Entsorgung alternativer Dienstleister (2023 bis 2024)	500 €/MgTR
7	Erlöse / Aufwendung	
	Abgabe Überschussstrom an KLV I (= Strombezug – EEG-Umlage)	0,15 €/kWh
	EEG-Umlage	0,05 €/kWh

Tabelle 5: Darstellung der allgemeinen Kostenansätze für die Jahreskostenbetrachtung

1.3 Angenommene Ansätze für die dynamische Kostenbetrachtung nach LAWA

Um die Strategien mit den unterschiedlichen Investitionszeitpunkten vergleichbar zu machen und um keine Strategie zu benachteiligen, wurde zusätzlich zur Jahreskostenermittlung die Barwertmethodik nach LAWA durchgeführt. Bei der Methodik nach LAWA werden im Unterschied zur Jahreskostenbetrachtung Zins- und Zinseszinsseffekte berücksichtigt. Darüber hinaus orientiert sich die Kostenaufteilung nicht an den Abschreibungen sondern am tatsächlichen Mittelabfluss.

Als Basiszinssatz für die Barwertmethode wurde der wissenschaftlich ermittelte DWA-Branchenansatz 3 % für langfristige Investitionen gewählt. [29]

Der Ansatz der Stadtkämmerei (Zinssatz 3,85 % für 2015) kam u.a. deshalb nicht in Frage, da dieser Wert nicht inflationsbereinigt ist. Der gewählte LAWA-Basiszinssatz wurde im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse zusätzlich variiert (siehe nächster Punkt).

1.4 Angenommene Preissteigerungsfaktoren und Sensitivitäten

Zur Durchführung der statischen Jahreskostenbetrachtung sowie der dynamischen Kostenbetrachtung nach LAWA wurden Preissteigerungsfaktoren angesetzt, um aktuellen Entwicklungen, wie z.B. steigenden Strom- und Klärschlamm Entsorgungskosten Rechnung zu tragen.

Während des langen Betrachtungszeitraums der Strategien können sich aktuelle Entwicklungen und Tendenzen jedoch wieder verändern. Um zu vermeiden, dass die getroffenen strategischen Entscheidungen durch „starre“ Preissteigerungsfaktoren verfälscht werden, wurden Sensitivitäten für die gewählten Faktoren definiert. Durch dieses Vorgehen konnte abschließend überprüft werden, ob sich die gewonnenen Grundaussagen unter anderen Rahmenbedingungen wieder verändern. Die angenommenen Preissteigerungsfaktoren und Sensitivitäten werden in Tabelle 6 dargestellt.

Nr.	Parameter	Basisansatz Preissteigerung	Sensitivität		
1	Preissteigerung Investitionskosten allgemein	1,0 %	0 %	2,0 %	
2	Preissteigerung ext. Schlamm Entsorgung bis 2025	lineare Zunahme von 320 €/tTR bis 640 €/tTR (keine Sensitivität erf.) (Quelle: Umfrage VKU [3])			
3	Preissteigerung ext. Schlamm Entsorgung ab 2025	3,5 %	1,0 %	2,0 %	5,0 %
4	Preissteigerung Entsorgung (ohne Schlamm)	1,0 %	keine Sensitivität betrachtet		
5	Preissteigerung Energiekosten	3,5 %	1,0 %	2,0 %	5,0 %
6	Preissteigerung Zinssatz (Barwertmethode)	3,0 %	2,5 %	3,5 %	

Tabelle 6: Darstellung der angenommenen Preissteigerungsfaktoren und Sensitivitäten

2. Ergebnisse der Kostenbetrachtung

2.1 Investitionskostenermittlung KVA-Neubau (ohne Preissteigerungsfaktoren)

Als Vorstufe der ganzheitlichen Jahreskostenermittlung wurden zunächst die Investitionskosten für einen KVA Neubau als Endphase der Strategien 1 bis 4 sowie die Investitionskosten für die 100 %ige externe Schlamm Entsorgung von Strategie 5 betrachtet. Die Ermittlung wurde für Neubau Szenario I (1-Linie) und Neubau Szenario II (2-Linien) jeweils mit der Rauchgasreinigungsvariante A (quasi-trocken) und der Rauchgasreinigungsvariante B (nass) durchgeführt. Das Ergebnis wird in Tabelle 7 dargestellt.

Die Darstellung der Investitionskosten zeigt, dass eine neue KVA heute zwischen rund 81 bis 84 Mio. € (ohne Unvorhergesehenes) kosten würde.

Rund 1,8 Mio. € an Mehrkosten werden durch eine aufwendigere Rauchgasreinigung nach dem „Nassverfahren“ (Variante B) verursacht (siehe Umrahmung in der Tabelle 7).

Die Errichtung einer Entwässerung und eines Pufferspeichers für die vollständige externe Schlammmentsorgung bei Strategie 5 würde zum heutigen Zeitpunkt rund 5,6 Mio. € kosten.

Investitions- kosten	Einheit	Szenario I		Szenario II		Strategie 5
		Variante A	Variante B	Variante A	Variante B	Vollständige externe Entsorgung
Maschinen- technik	€, brutto	37.716.000	39.221.000	43.933.000	45.839.000	2.756.000
E-MSR-/ Leittechnik	€, brutto	4.400.000	4.400.000	6.564.000	6.564.000	-
Bautechnik	€, brutto	25.256.000	25.256.000	17.286.000	17.286.000	1.906.00
Nebenkosten	€, brutto	13.474.000	13.775.000	13.557.000	13.938.000	932.000
Gesamt- summe	€, brutto	80.846.000	82.652.000	81.340.000	83.627.000	5.594.000

Tabelle 7: Darstellung der Investitionskosten 2015 für einen KVA-Neubau entsprechend den Strategien 1 bis 4 sowie den Einrichtungen für eine externe Schlammausschleusung bei Strategie 5 (Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

Anmerkung:

Für die Strategien 1 bis 4 wurden im Rahmen der anschließenden statischen Jahreskostenermittlung die Szenarien I und II jeweils mit der Rauchgasreinigungsvariante B (nass) betrachtet, da diese den konservativeren Ansatz darstellt und in Bezug auf die erreichbaren Abluftwerte vergleichbar mit der derzeitigen Rauchgasreinigung ist.

Ob im Falle der Entscheidung für einen KVA-Neubau eine oder mehrere Linien gebaut werden, oder welche Art der Rauchgasreinigung gewählt wird, wird in der weiteren Planung vertieft und ist nicht Teil der Bedarfsplanungsstufe 1.

2.2 Stat. Jahreskostenermittlung der Strategien unter Berücksichtigung von Preissteigerungen

Bei der statischen Jahreskostenermittlung wurden die Strategien 1 bis 5 beginnend bei der Gegenwart über den gesamten Betrachtungszeitraum inkl. Übergangs- und Endphase anhand ihrer spezifischen Klärschlammmentsorgungskosten [€/t*a] miteinander verglichen.

Den Strategien liegen unterschiedliche Betrachtungszeiträume zu Grunde. Strategie 1 geht von einer Inbetriebnahme einer neuen KVA etwa im Jahr 2025 aus, die Strategien 2, 3 und 4 etwa

im Jahr 2035. Gemäß Tabelle 5 (Kostenansätze allgemein) werden die Baukosten über einen Zeitraum von 30 Jahren, Maschinen- und Elektrotechnik über 15 bzw. 10 Jahre abgeschrieben. Der vollständige Abschreibungszyklus der neuen KVA endet daher bei Strategie 1 im Jahr 2054, bei den Strategien 2, 3 und 4 erst im Jahr 2064. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mussten die unterschiedlichen Abschreibungszeiträume angeglichen werden. Hierfür wurde der Ansatz gewählt, dass Strategie 1 im Jahr 2054 reduzierte Reinvestitionen für Bau-, Maschinen- und Elektrotechnik zugewiesen werden. Die jeweiligen Anteile entsprechen einer Überbrückung von 10 Jahren.

Für die Durchführung der statischen Jahreskostenbetrachtung wurden die allgemeinen Kostenansätze aus Tabelle 5 und der Basisansatz der Preissteigerungsfaktoren aus Tabelle 6 berücksichtigt. Zur besseren Übersichtlichkeit wird das Ergebnis in Form von Vergleichskurven dargestellt (siehe Abbildung 23). Die Abbildung zeigt die Darstellung des Vergleichs aller fünf Strategien für das Neubauszenario I (1-Linie) in Kombination mit Rauchgasreinigungsvariante B (nass). Dieselbe Grafik existiert auch für Neubauszenario II. Da die Erkenntnisse jedoch mit der vorliegenden Grafik identisch sind, wird diese nicht gesondert aufgeführt, ist jedoch als Anhang 7 inklusive einer Kostenübersicht hinterlegt.

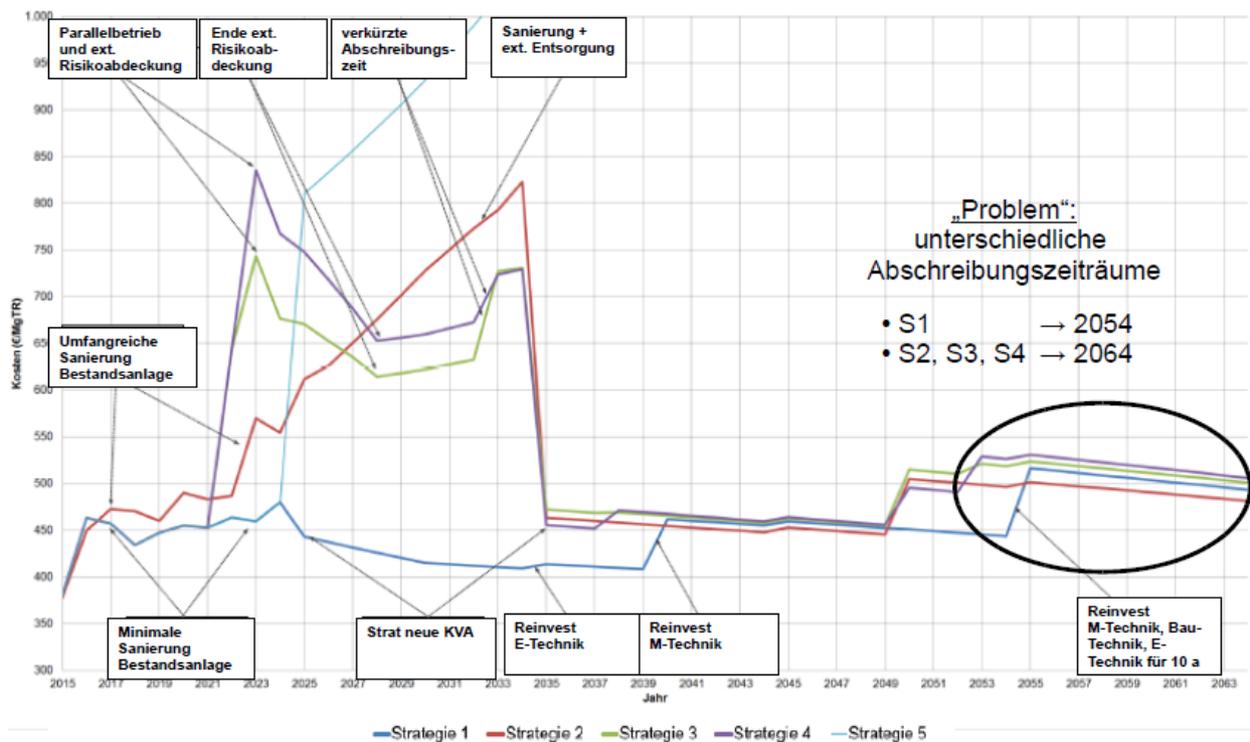


Abbildung 23: Darstellung der vergleichenden Jahreskostenbetrachtung für Strategie 1 bis 5 mit Preissteigerungsfaktoren in Form von Jahreskurven für das Neubauszenario I (1-Linie) und Rauchgasreinigungsvariante B (nass) inklusive Erläuterungen (Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

Erläuterung der Kurven:

Anhand der Kurven lässt sich ein sehr unterschiedlicher Kostenverlauf über die Zeit erkennen. Der Verlauf von Strategie 1 ist über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg am konstantesten. Dies liegt in erster Linie an dem frühzeitigen Ausstieg aus der externen Klärschlammverwertung ab dem Jahr 2025 sowie an den vergleichsweise niedrigen Investitionskosten für die minimale Sanierung der Bestandsanlage. Die „Sprünge“ im Kurvenverlauf sind auf Reinvestitionsmaßnahmen zurückzuführen. Auch die Betriebskosten für Wartung und Instandhaltung der Bestandsanlage sind bei Strategie 1 aufgrund der angestrebten frühzeitigen Ablösung durch einen Neubau vergleichsweise gering. Der homogene Kurvenverlauf ist im Hinblick auf die Gebührenstabilität sehr positiv zu werten. Strategie 1 weist mit 453 €/t TR darüber hinaus im Mittel die geringsten Klärschlammverwertungskosten über die Zeit (2015 bis 2064) auf.

Strategie 2 zeigt nach Strategie 5 den längsten Kostenanstieg bis zum Jahr 2035. Dieser Anstieg wird durch die lange externe Entsorgung von 1/3 des anfallenden Klärschlammes ausgelöst. Ab 2035 ist der Verlauf der Jahreskurve dann konstant. Die mittleren Klärschlammbehandlungskosten betragen bei Strategie 2 im Mittel 523 €/t TR.

Die Strategien 3 und 4 zeichnen sich durch einen extrem starken Kostenanstieg in den Jahren 2022 bis 2028 aus. Der Anstieg kommt zustande, da sehr hohe Investitionskosten für die Umrüstung auf eine 100 %ige Klärschlammbehandlung bereits in der Übergangsphase anfallen (diese sind bei Strategie 4 wegen des kompletten Neubaus der Schlammaufbereitung noch höher). Des Weiteren ist bei den Strategien 3 und 4 davon auszugehen, dass die Anlagenverfügbarkeit der Bestandsanlage aufgrund der erheblichen Eingriffe im laufenden Betrieb v.a. in den ersten Jahren der Umbauphase sinkt. In dieser Zeit ist es erforderlich, einen Teil des Schlammes zusätzlich extern zu verwerten (siehe dazu Kapitel 4.3, Abbildung 17). Der Anteil des extern verwerteten Schlammes geht in den Folgejahren kontinuierlich zurück. Dies bildet sich wiederum auch im Kostenverlauf ab. Die mittleren Klärschlammbehandlungskosten betragen bei Strategie 3 527 €/t TR und bei Strategie 4 538 €/t TR.

Strategie 5 ist aufgrund der 100 %igen externen Klärschlamm Entsorgung mit mittleren Kosten von 1.344 €/t TR weit abgeschlagen und in keinster Weise konkurrenzfähig.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass Strategie 1 hinsichtlich Kostenverlauf und Höhe der Kosten bei der Jahreskostenbetrachtung eindeutig am besten abschneidet. Alle anderen Strategien sind mit hohen Unwägbarkeiten behaftet. Dies betrifft beispielsweise die tatsächliche Marktentwicklung für den extern verwerteten Klärschlamm sowie die tatsächliche Anlagenverfügbarkeit im Falle einer Umrüstung der Bestandsanlage auf 100 %ige Klärschlammverwertung. Diese Unwägbarkeiten spiegeln sich in einem unkonstanten, schwer vorhersehbaren Kostenverlauf wieder.

Wie bereits erwähnt, deckt die Jahreskostenbetrachtung keine Zins- und Zinseszins effekte ab und benachteiligt somit Strategien mit späteren Investitionszeitpunkten. Aus diesem Grund wurde zusätzlich eine dynamische Kostenbetrachtung nach LAWA für die Strategien 1 und 2 durchgeführt. Die alleinige Betrachtung dieser beiden Strategien und jeweils der Szenarien I und II wurde als ausreichend erachtet, da zu diesem Zeitpunkt bereits klar war, dass die

Technische Umsetzbarkeit der Strategien 3 und 4 höchst fraglich ist. Strategie 5 war bereits nach der Jahreskostenbetrachtung in wirtschaftlicher Hinsicht so weit abgeschlagen, dass eine noch eingehendere Bewertung als nicht erforderlich erachtet wurde.

2.3 Dynamische Kostenbetrachtung der Strategien 1 und 2 nach LAWA (Barwertmethode) und Sensitivitätsanalyse

Bei der dynamischen Kostenbetrachtung nach LAWA wurden die Strategien 1 und 2 jeweils für das Neubau-Szenario I (1-Linie) und II (2-Linien) in Kombination mit der Rauchgasreinigungsvariante B (nass) betrachtet. Durch die Kostenbetrachtung nach LAWA wird der Zins- und Zinseszinsseffekt berücksichtigt und somit eine methodische Gleichstellung der Strategien 1 und 2 erreicht. Die Benachteiligung von Strategie 2 bei der Jahreskostenbetrachtung aufgrund ihres späteren Investitionszeitpunktes für den KVA-Neubau wird dadurch vermieden. Die Ergebnisse der Barwertmethode werden im Unterschied zur Jahreskostenbetrachtung kumuliert und nicht jahresspezifisch dargestellt. Dies ist die gängigste Darstellung für dynamische Vergleichsrechnungen, da sofort ersichtlich wird, ab wann eine Strategie wirtschaftlicher ist als eine andere. Ein weiterer Unterschied zur statischen Betrachtung ist der Ansatz der vollen Investitionskosten direkt zum Zeitpunkt des Anfalls (und damit der Verzicht der Abbildung über kalkulatorische Abschreibungen und Zinsen). Das Ergebnis der Kostenvergleichsrechnung nach LAWA wird in Abbildung 24 für das Neubau-Szenario I dargestellt. Das Ergebnis für Neubau-Szenario II erbringt dieselben Erkenntnisse und ist als Anhang 8 hinterlegt.

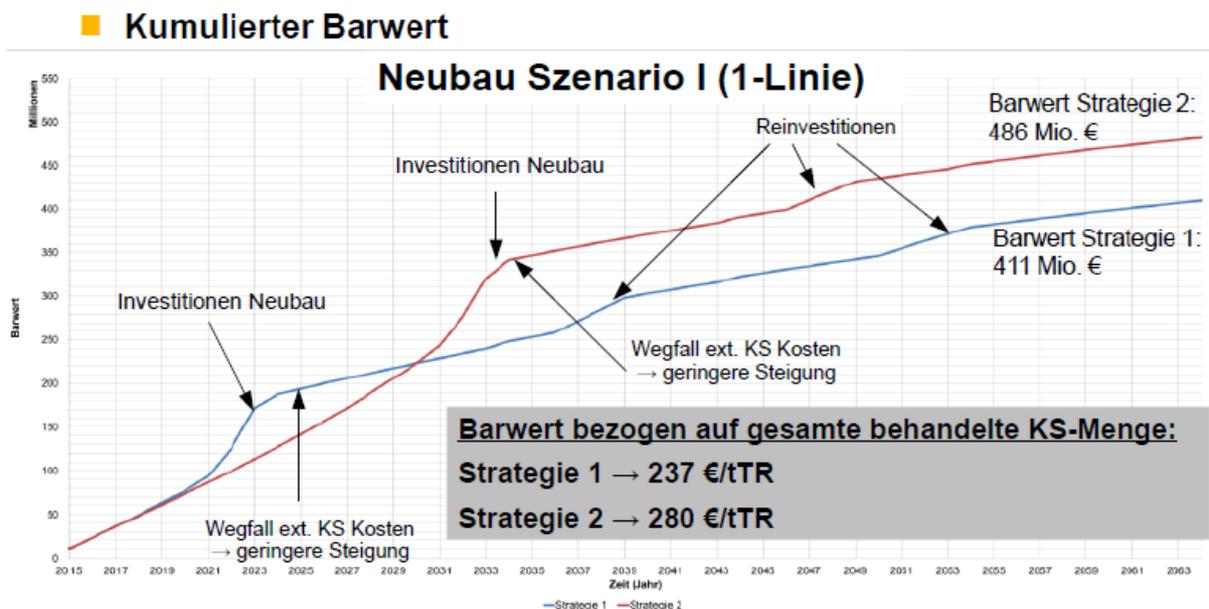


Abbildung 24: Darstellung des Ergebnisses der dynamischen Kostenvergleichsrechnung nach LAWA für die Strategien 1 und 2 für Neubauszenario I (1-Linie) und Rauchgasreinigungsvariante B (nass) inklusive Erläuterungen (Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

Erläuterung der Graphen:

Bei Betrachtung der kumulierten Barwerte wird ersichtlich, dass Strategie 1 gegenüber Strategie 2 auch unter Berücksichtigung des Zins- und Zinseszinseseffektes für den Betrachtungszeitraum von 2015 bis 2064 eindeutig die wirtschaftlichere Strategie darstellt. Der kumulierte Barwert von Strategie 1 beträgt 411 Mio. €, der von Strategie 2 486 Mio. €. Hauptgrund für das Ergebnis sind die Kosten für die externe Klärschlammmentsorgung bei Strategie 2. Bezieht man die kumulierten Barwerte auf die gesamte erwartungsgemäß zu entsorgende Klärschlammmenge im Betrachtungszeitraum, ergeben sich spezifische Barwerte in Höhe von 237 €/t TR für Strategie 1 und 280 €/t TR für Strategie 2.

Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse wurde zuletzt überprüft, ob sich die bisher gewonnenen Grundaussagen durch Variation der Parameter „Klärschlammmentsorgungskosten“, „Energiekosten“, „Investitionskosten“ und „Diskontierungssatz“ verändern. Die gewählten Ausprägungen der Sensitivitäten können Tabelle 6 entnommen werden. Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse werden für den Vergleich der Strategien 1 und 2 jeweils für das Neubau-Szenario I (1-Linie) in Kombination mit Rauchgasreinigungsvariante B (nass) in den Abbildungen 25 bis 28 dargestellt.

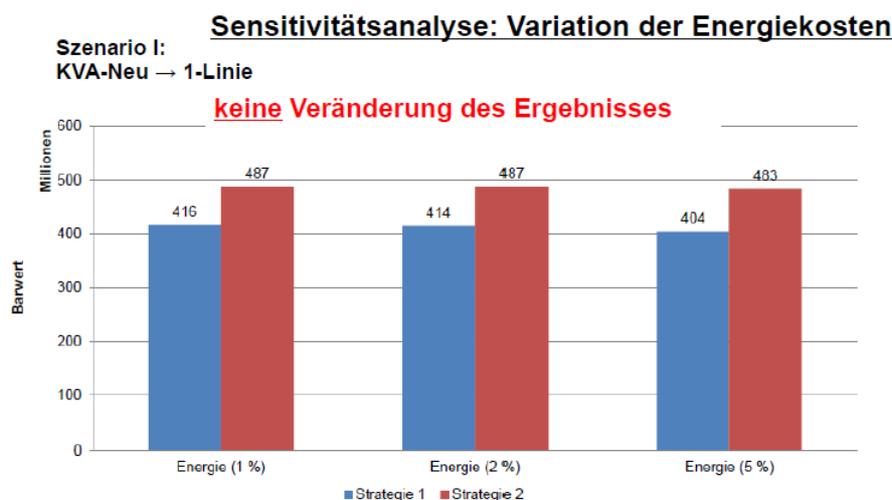


Abbildung 25: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Strategien 1 und 2 für Neubau-Szenario I (1-Linie) in Kombination mit Rauchgasreinigungsvariante B (nass) unter Variation der Energiekosten (Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

Szenario I: Sensitivitätsanalyse: Var. der Entsorgungskosten
 KVA-Neu → 1-Linie

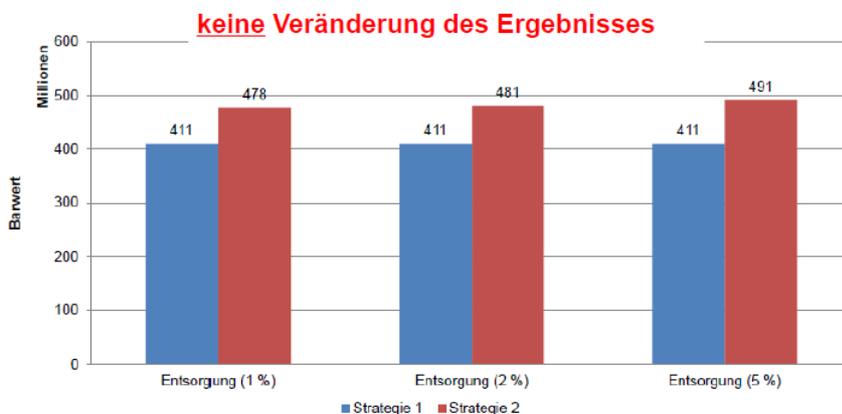


Abbildung 26: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Strategien 1 und 2 für Neubau-Szenario I (1-Linie) in Kombination mit Rauchgasreinigungsvariante B (nass) unter Variation der Klärschlamm Entsorgungskosten (Quelle: Born und Ermel, 2015)

Szenario I: Sensitivitätsanalyse: Var. der Investitionskosten
 KVA-Neu → 1-Linie

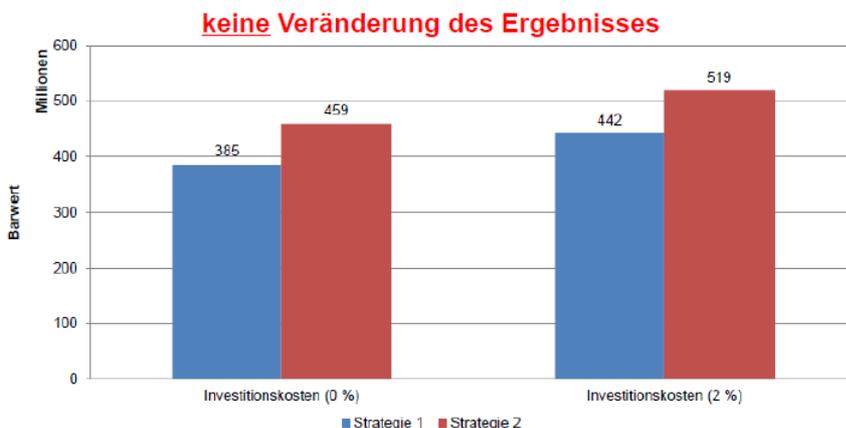


Abbildung 27: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Strategien 1 und 2 für Neubau-Szenario I (1-Linie) in Kombination mit Rauchgasreinigungsvariante B (nass) unter Variation der Investitionskosten (Quelle: Born und Ermel, 2015)

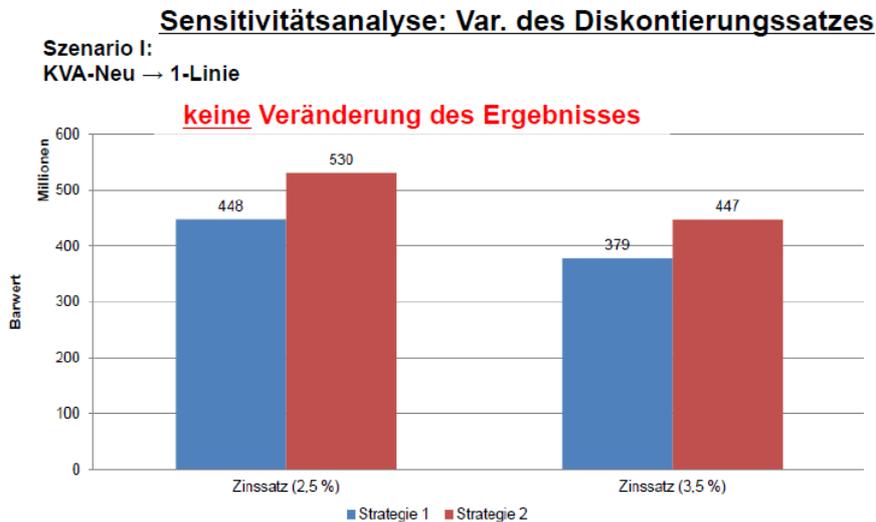


Abbildung 28: Darstellung der Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse für die Strategien 1 und 2 für Neubau-Szenario I (1-Linie) in Kombination mit Rauchgasreinigungsvariante B (nass) unter Variation des Diskontierungssatzes (Quelle: IB Born und Ermel, 2015)

Fazit:

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass Strategie 1 auch unter Variation der Parameter „Klärschlamm Entsorgungskosten“, „Energiekosten“, „Investitionskosten“ und „Diskontierungssatz“ die wirtschaftlichste Strategie ist. Die Ergebnisse der Kostenbetrachtung ergeben daher sowohl beim Kostenverlauf, als auch bei der Wirtschaftlichkeit eine eindeutige Präferenz von Strategie 1.

Ergänzend zu der soeben vorgestellten Kostenbetrachtung wurde die Wirtschaftlichkeit der Strategien auch in Anbetracht einer weitergehenden Steigerung der Kosten für einen KVA-Neubau um bis zu 50 % gegenüber dem Neubau-Szenario II (2-Linien) bei einem Diskontierungssatz von 3,5 % überprüft. Durch diese Betrachtung wurde bewertet, ob Strategie 1 im Fall einer höheren Kostensteigerung die wirtschaftlichste Alternative bleibt.

Sollten sich im weiteren Planungsverlauf aufgrund geänderter Rahmenbedingungen, bisher noch nicht bewertete Neubauvarianten als erforderlich erweisen, oder sonstige aktuell nicht erkennbare Kostensteigerungen eintreten, so zeigt das Ergebnis, dass selbst beim Bau einer neuen KVA, für die gegenüber Neubauszenario II um 50 % höhere Investitionskosten angesetzt wurden, keine Änderung der Grundaussage eintritt. Auch in diesem Fall bleibt Strategie 1 (früherer Neubau, minimale Sanierung der Bestandsanlage) die wirtschaftlichste Alternative.

Die Kostenbetrachtung macht nur einen Teil der Gesamtbewertung aus. Im letzten Schritt wurden die Strategien 1 bis 5 anhand weiterer Kriterien gegenübergestellt und bewertet.

4.5 Gesamtbewertung

Die Gesamtbewertung wurde bei allen fünf Strategien für die Kriterien „Entsorgungssicherheit“, „Kosten“ und „Technische Umsetzbarkeit“ durchgeführt. Die Gewichtung wurde nach eingehender Diskussion in den Arbeitsgesprächen zwischen MSE und dem IB Born und Emsel wie folgt angenommen:

- Entsorgungssicherheit 35 %
- Kosten 35 %
- Technische Umsetzbarkeit 30 %

Die Punktevergabe erfolgte 5-stufig. Die "sehr gute" Erfüllung eines Kriteriums durch eine Strategie wurde mit ++ (entspricht 4 Punkte) bewertet, die "gute" Erfüllung wurde mit + (entspricht 3 Punkte) bewertet, eine "mittlere, neutrale" Erfüllung wurde mit 0 (entspricht 2 Punkte) bewertet, die "schlechte" Erfüllung wurde mit – (entspricht 1 Punkt) bewertet und die "sehr schlechte" Erfüllung mit -- (entspricht 0 Punkte) bewertet. Die erreichten Punkte wurden anschließend bei jedem Kriterium mit der entsprechenden Gewichtung multipliziert.

Folgende Aspekte wurden bei den einzelnen Kriterien für die Bewertung berücksichtigt:

Berücksichtigte Aspekte beim Kriterium Entsorgungssicherheit:

- Abhängigkeit von externen Einflüssen, wie z.B. Preisabhängigkeit oder Abhängigkeit von Verwertungskapazitäten am Markt.
- Betriebssicherheit und Anlagenverfügbarkeit. Dieser Aspekt betrifft insbesondere die Übergangsphase der Strategien, in der mehr oder weniger „tiefe Eingriffe“ in die Bestandsanlage erfolgen.
- Kapazitäten für eine Zwischenspeicherung von Klärschlamm vor Ort.

Berücksichtigte Aspekte beim Kriterium Kosten:

- Bei diesem Aspekt werden die Ergebnisse des Kostenvergleichs der Strategien (siehe Kap. 4.4) berücksichtigt. Hierbei werden insbesondere die Gesamtkosten der einzelnen Strategien über den Betrachtungszeitraum 2015 bis 2064 sowie der Verlauf der spezifischen Klärschlammbehandlungskosten über die Zeit bewertet.

Berücksichtigte Aspekte beim Kriterium Technische Umsetzbarkeit:

- Bei diesem Aspekt wurde insbesondere die technische Komplexität der Eingriffe in die Bestandsanlage in der Übergangsphase der Strategien berücksichtigt. Diese geht wiederum einher mit der Wahrscheinlichkeit einer realistischen Umsetzbarkeit.

- Auch der KVA-Neubau ist in die Bewertung eingeflossen. Hier wurde insbesondere bewertet, ob es sich bei den Strategien um einen Neubau aus „einem Guß“ handelt oder ob ein modulares Vorgehen gewählt wurde. Ein Neubau aus „einem Guß“ ist nach Aussage des IB Born und Ermel planerisch einfacher zu bewerkstelligen und somit einfacher umsetzbar.

Die finale Bewertungsmatrix wird in Abbildung 29 dargestellt.

Matrix Gesamtbewertung						
		Strategie 1	Strategie 2	Strategie 3	Strategie 4	Strategie 5
Kriterium	Wichtung	Wertung / Punkte				
Entsorgungssicherheit						
Abhängigkeit von ext. Einflüssen	35	++ / 4	0 / 2	- / 1	0 / 2	-- / 0
Betriebssicherheit / Anlagenverfügbarkeit						
Lagerkapazitäten Klärschlamm						
		140	70	35	70	0
Kosten						
Gesamtkosten	35	++ / 4	+ / 3	0 / 2	- / 1	-- / 0
Kostenverlauf über die Zeit						
		140	105	70	35	0
Technische Umsetzbarkeit						
„Tiefe“ der Eingriffe in Bestandsanlage	30	++ / 4	+ / 3	- / 1	0 / 2	++ / 4
Art des KVA-Neubaus (aus „einem Guß“, modular)						
		120	90	30	60	120
Gesamtsumme Punkte		400	265	135	165	120
Rangfolge		1	2	4	3	5

Wertung:	
++ (sehr gut)	= 4 Punkte
+ (gut)	= 3 Punkte
0 (mittel)	= 2 Punkte
- (schlecht)	= 1 Punkt
-- (sehr schlecht)	= 0 Punkte

Abbildung 29: Darstellung der Matrix für die Gesamtbewertung der Strategien 1 bis 5

Erläuterung der Bewertungsmatrix:**Rang 1: Strategie 1 "1-Linienbetrieb 'KVA alt' / früherer Neubau"**

Strategie 1 hat mit 400 Punkten insgesamt am besten bei der Gesamtbewertung abgeschnitten.

Das Kriterium **Entsorgungssicherheit** wird "sehr gut" erfüllt (Wertung + +), da durch den möglichst frühen KVA-Neubau mit 100 % Eigenverwertung des Klärschlammes in Verbindung mit einem entsprechend dimensionierten Schlamm bunker eine rasche Abkopplung von externen Einflüssen erreicht wird. Hierbei spielt insbesondere die Unabhängigkeit vom externen Verwertermarkt eine entscheidende Rolle. Folgende Effekte werden dadurch erzielt:

- Wie in Kap. 3.4 erläutert, wird aufgrund der gesetzlichen Entwicklungen eine große "Entsorgungslücke" für den anfallenden Klärschlamm prognostiziert, die bereits jetzt spürbar ist. Aufgrund dieser Angebotsverknappung, muss künftig mit Engpässen und hohen Kosten im Falle einer externen Klärschlamm entsorgung gerechnet werden. Je größer die anfallenden Schlamm m mengen sind, desto größer ist wiederum die Gefahr, dass diese nur unzureichend am Verwertermarkt platziert werden können. Die bei der MSE anfallenden Schlamm m mengen sind mit > 30.000 t TR/a so hoch, dass diese entweder auf mehrere externe Verwerter aufgeteilt oder in einer großen externen Anlage behandelt werden müssten. Derzeit gibt es bayernweit jedoch keine Möglichkeiten die hohen Schlamm m mengen der MSE unterzubringen (siehe Kap. 3.4). In diesem Zusammenhang sind lange Transportwege zu vermeiden. Die Folge wären unverhältnismäßig hohe Umweltbelastungen (CO₂-Emission, Carbon Footprint), ein erhöhtes „Wegerisiko“ und höhere spezifische Transportkosten. Durch Strategie 1 können die beschriebenen Unwägbarkeiten des externen Verwertermarkts möglichst früh vermieden werden.
- Ein weiterer entscheidender externer Einfluss wird durch den geplanten Regelungsbereich der Novelle der Klärschlammverordnung ausgelöst (siehe Kap. 3.4). Strategie 1 realisiert den KVA-Neubau zeitlich passend zum Auslaufen der geplanten Übergangsfristen und schafft somit frühzeitig die besten Voraussetzungen für eine spätere P-Rückgewinnung.
- Darüber hinaus sind bei Strategie 1 in der Übergangsphase nur vergleichsweise geringe sanierungstechnische Eingriffe in die Bestandsanlage erforderlich. Es ist daher mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, dass die Anlagenverfügbarkeit und somit die Entsorgungssicherheit der Bestandsanlage bis zum KVA-Neubau erhalten werden kann.

Das Kriterium **Kosten** wird ebenfalls "sehr gut" erfüllt (Wertung + +). Wie bereits ausführlich unter Kap. 4.4 beschrieben, weist Strategie 1 sowohl die beste Kostenbilanz im Betrachtungszeitraum auf, als auch den günstigsten Kostenverlauf. Der Verlauf der Kosten ist wiederum ein wichtiges Kriterium für das Ziel der Gebührenstabilität.

Das Kriterium **Technische Umsetzbarkeit** wird von Strategie 1 aus folgenden Gründen ebenfalls mit "sehr gut" erfüllt (Wertung + +):

- Ein wichtiger Grund dafür sind die technisch vergleichsweise unkomplizierten Eingriffe in die Bestandsanlage in der Übergangsphase (siehe dazu auch Kap. 4.3).
- Darüber hinaus kann die Planung für den KVA-Neubau in der Endphase bei Strategie 1 aus „einem Guß“ erfolgen. Dies ist aus technischer Sicht wegen der engen Verzahnung der Verfahrenstechnik günstig. Der frühe Zeitpunkt des Neubaus hat dabei keine negativen Auswirkungen auf die Technische Umsetzbarkeit. Sowohl von den TBF-Ingenieuren, als auch von Born und Ermel wurde die zeitliche Machbarkeit bis 2025 als realistisch eingeschätzt. Ein von der MSE im Vorfeld erstellter grober Projektfahrplan, der auch im Lenkungsreis vorgestellt wurde, belegt dies.
- Ein positiver Aspekt des frühen KVA-Neubaus für das Kriterium der Technischen Umsetzbarkeit könnte die positive Angebots- / Nachfragesituation für Anlagenbauer sein. Je früher eine neue KVA gebaut wird, desto weniger Kapazitäten sind in anderen gleichartigen Bauvorhaben gebunden.

Ein weiterer, nicht explizit bewerteter Effekt kann bei Strategie 1 zusätzlich durch die Minimierung des externen Einflusses der Energiewende auf die Stromkosten erzielt werden. Grund dafür ist die frühe „Stromautarkie“ einer neuen energieeffizienten KVA (siehe Kap. 4.3), wodurch eine rasche Unabhängigkeit von den externen Stromkosten realisiert wird. Dies hat zusätzlich positive Umwelteffekte durch CO₂-Einsparungen zur Folge.

Rang 2: Strategie 2 "1-Linienbetrieb 'KVA alt' / späterer Neubau"

Strategie 2 hat mit 265 Punkten insgesamt den 2. Rang belegt.

Das Kriterium **Entsorgungssicherheit** wurde aus folgenden Gründen mit "mittel" bewertet (Wertung 0):

- Aufgrund der vergleichsweise unkomplizierten sanierungstechnischen Eingriffe in die Bestandsanlage kann in der Übergangsphase noch immer von einer guten Anlagenverfügbarkeit ausgegangen werden kann. Die Entsorgungssicherheit für den selbst verwerteten Schlamm ist daher positiv zu bewerten.
- Das Kriterium der Entsorgungssicherheit umfasst jedoch auch den extern zu verwertenden Schlammanteil. Bei Strategie 2 muss weiterhin rund 1/3 des anfallenden Schlamms (ca. 10.000 t TR/a) für einen vergleichsweise langen Zeitraum bis ca. 2035 extern verwertet werden. Dieser Schlammanteil unterliegt den zahlreichen Unwägbarkeiten des externen Marktes u.a. in Bezug auf Marktkapazitäten und Preise. Dieser Aspekt geht negativ in die Bewertung der Entsorgungssicherheit ein. Unter Einbezug der dargestellten Aspekte ergibt sich die o.g. Bewertung.

Das Kriterium **Wirtschaftlichkeit** wird gemäß der Rangfolge des Kostenvergleichs mit "gut" bewertet (Wertung +). Gegenüber Strategie 1 weist Strategie 2 eine schlechtere Wirtschaftlichkeit auf, ist jedoch besser als die Strategien 3, 4 und 5. Der Verlauf der Kosten ist aufgrund der langen externen Schlammentsorgung für ca. 1/3 des anfallenden Schlammes nicht homogen und mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Das Kriterium **Technische Umsetzbarkeit** wird von Strategie 2 "gut" erfüllt (Wertung +):

- Ein wichtiger Grund für die Bewertung sind die technisch vergleichsweise noch immer unkomplizierten Eingriffe in die Bestandsanlage in der Übergangsphase ohne tiefgreifende verfahrenstechnische Änderungen. Die Eingriffe sind bei Strategie 2 aufgrund der umfangreicheren Sanierungen gegenüber Strategie 1 etwas höher. Die technische Umsetzbarkeit fällt daher gegenüber Strategie 1 leicht ab.
- Genau wie bei Strategie 1 kann der Neubau in „einem Guß“ erfolgen. Dies ist für die technische Umsetzbarkeit positiv zu werten.

Rang 3: Strategie 4 "2-Linienbetrieb 'KVA alt' / modulweiser Neubau"

Strategie 4 hat mit 165 Punkten insgesamt den 3. Rang belegt.

Das Kriterium **Entsorgungssicherheit** wurde aus folgenden Gründen mit "mittel" bewertet (Wertung 0):

- Bei Strategie 4 sind in der Übergangsphase tiefere verfahrenstechnische Eingriffe in der Bestandsanlage erforderlich, als bei den Strategien 1, 2 und 5, da nicht nur eine Sanierung, sondern eine Umrüstung auf eine 100 %ige Eigenverwertung des Schlammes erfolgt. Die Eingriffe in den "alten" Anlagenbestand sind jedoch nicht so tiefgreifend wie bei Strategie 3. Die verfahrenstechnischen Eingriffe beschränken sich bei Strategie 4 hauptsächlich auf die Ankopplung der neu errichteten Schlammaufbereitung und des Pufferlagers an die Bestandsanlage. Die Umrüstung muss im laufenden Betrieb stattfinden. Aus diesem Grund ist mit einer sinkenden Anlagenverfügbarkeit in dieser Zeit zu rechnen, die durch eine vorübergehende externe Verwertung ausgeglichen werden muss. Diese Tatsache wurde bei Strategie 4 im Hinblick auf die Entsorgungssicherheit negativer bewertet, als bei den Strategien 1, 2 und 5.
- Als positiv ist bei Strategie 4 insbesondere gegenüber Strategie 2 zu bewerten, dass eine frühere Abkopplung vom externen Verwertermarkt stattfindet, da bereits in der Übergangsphase eine 100 %ige Eigenverwertung des Schlammes erfolgen kann.

Das Kriterium **Kosten** wird entsprechend der Rangfolge des Kostenvergleichs mit "schlecht" bewertet (Wertung -). Strategie 4 weist vergleichsweise hohe Kosten sowie einen sehr schwer vorhersagbaren inhomogenen Kostenverlauf auf. Dies liegt insbesondere an den hohen Investitionen für die Umrüstung sowie an den Kosten für den extern zu verwertenden Schlamm während der Umbauphase der Bestandsanlage.

Das Kriterium **Technische Umsetzbarkeit** wird von Strategie 4 "mittel" erfüllt (Wertung 0):

- Der vorgezogene Bau der Schlammaufbereitung inklusive Schlamm bunker kann als vergleichsweise unkritisch betrachtet werden. Die Anbindung an die Bestandsanlage ist dagegen kritischer zu bewerten (Leitungen, Nebensysteme, PLT). Insgesamt erhält Strategie 4 bei diesem Kriterium eine schlechtere Bewertung als die Strategien 1, 2 und 5, da die Eingriffe wesentlicher komplexer sind, als die Sanierungen. Gegenüber Strategie 3 fällt die Bewertung besser aus, da die Umrüstung nicht ausschließlich wie bei Strategie 3 im "alten", störanfälligen Bestand stattfindet.
- Der Neubau erfolgt bei Strategie 4 nicht in "einem Guß", sondern modulweise. Dies ist gegenüber den Strategien 1 und 2 negativ zu werten, da die Planung komplizierter ist. Darüber hinaus muss das vorgezogene Modul "Schlammaufbereitung" in der Endphase zunächst wieder von der Bestandsanlage abgekoppelt und an die neue, bis dahin technologisch schon wieder fortschrittlichere Restanlage (ab Verbrennung) angekoppelt werden.

Rang 4: Strategie 3 "2-Linienbetrieb 'KVA alt' / späterer Neubau"

Strategie 3 hat mit 135 Punkten insgesamt den 4. Rang belegt.

Das Kriterium **Entsorgungssicherheit** wurde aus folgenden Gründen mit "schlecht" bewertet (Wertung -):

- Bei Strategie 3 sind in der Übergangsphase die komplexesten verfahrenstechnischen Eingriffe in die Bestandsanlage erforderlich. Im Gegensatz zu Strategie 4 muss die Umrüstung vollständig im störanfälligen Altbestand der KVA stattfinden. Die tatsächliche Realisierbarkeit von Strategie 3 wurde sowohl von MSE-32, als auch von Born und Ermel aufgrund der tiefen technischen Eingriffe in den alten Anlagenbestand als sehr fraglich und somit äußerst risikoreich für die Schlammentsorgung eingeschätzt.
- Als positiv ist bei Strategie 3 analog zu Strategie 4 zu bewerten, dass theoretisch eine frühere Abkopplung vom externen Verwertermarkt stattfinden würde, als bei Strategie 2.

Das Kriterium **Kosten** wird entsprechend der Rangfolge des Kostenvergleichs mit "mittel" bewertet (Wertung 0). Strategie 3 weist eine etwas bessere Kosten auf als Strategie 4, jedoch einen genauso schwer vorhersagbaren inhomogenen Kostenverlauf.

Das Kriterium **Technische Umsetzbarkeit** wird von Strategie 3 "schlecht" erfüllt (Wertung -):

- Die Realisierbarkeit der Umrüstung der Bestandsanlage auf 100 %ige Eigenverwertung in der Übergangsphase ist, wie oben erwähnt, fraglich und wird daher im Vergleich zu allen anderen Strategien am schlechtesten bewertet.
- Der Neubau kann bei Strategie 3 bis auf den vorgezogenen Schlamm bunker jedoch in „einem Guß“ erfolgen. Dies verbessert die Wertung wiederum ein wenig. Die Dominanz der fraglichen Realisierbarkeit der Umrüstung auf 100 %ige Eigenverwertung führt

insgesamt aber zu einer schlechten Bewertung der Technischen Umsetzbarkeit für Strategie 3.

Rang 5: Strategie 5 "1-Linienbetrieb 'KVA alt' / anschließend 100 %ige externe Entsorgung"

Strategie 5 hat mit 120 Punkten den letzten Rang belegt.

Das Kriterium **Entsorgungssicherheit** wurde aus folgenden Gründen mit "sehr schlecht" bewertet (Wertung - -):

- Bei Strategie 5 wird die Bestandsanlage durch eine 100 %ige externe Schlammverwertung abgelöst. Dadurch besteht eine dauerhafte, vollständige Abhängigkeit von externen Einflüssen, wie z.B. der Entwicklung externer Verwerterpreise und verfügbarer Marktkapazitäten. Die Unterbringung der hohen Schlammengen der MSE (> 30.000 t TR/a) wäre derzeit in Bayern unmöglich. Strategie 5 wurde daher bei diesem Kriterium von allen Strategien am schlechtesten bewertet.

Das Kriterium **Kosten** wird entsprechend der Rangfolge des Kostenvergleichs mit "sehr schlecht" bewertet (Wertung - -). Hauptgrund für diese Bewertung sind die im Vergleich zur Eigenverwertung sich bereits jetzt abzeichnenden viel höheren Preise für eine externe Verwertung.

Das Kriterium **Technische Umsetzbarkeit** wird von Strategie 5 "sehr gut" erfüllt (Wertung + +), da in diesem Fall nur eine Entwässerung, ein kleines Pufferlager und eine Möglichkeit zur Abholung des Schlammes geschaffen werden müssten.

Ein weiterer, jedoch nicht explizit bewerteter negativer Effekte ist bei Strategie 5 der potenzielle Wegfall zahlreicher Arbeitsplätze bei einer Verlagerung der Verbrennung nach extern. Des Weiteren würden im Falle einer 100 %igen externen Schlammverwertung zwischen 25 bis 35 LKW-Transporte pro Tag stattfinden. Dies stellt eine erhebliche zusätzliche Verkehrs- und Umweltbelastung dar. Die Genehmigungsfähigkeit eines solchen Vorhabens ist fraglich, da die Verkehrsbelastung im Gebiet um das KLW I bereits jetzt sehr hoch ist und umliegend zahlreiche Wohngebäude existieren.

5. Zusammenfassung und Vorschlag für weiteres Vorgehen zur Bedarfsdeckung

Eine zentrale Aufgabe der Münchner Stadtentwässerung (MSE) betrifft neben der Ableitung und Reinigung des Abwassers die sichere Entsorgung der anfallenden Klärschlämme der beiden Münchner Klärwerke. Jährlich fallen rund 30.000 bis 31.000 t TR/a Faulschlamm auf beiden Klärwerken an.

Seit dem Jahr 1997 wird eine Klärschlammmonoverbrennungsanlage (KVA) auf dem Klärwerk Gut Großlappen betrieben, in der rund 70 % der bei der MSE anfallenden Klärschlämme nach vorheriger anaerober Behandlung thermisch verwertet werden. Eine 100 %ige Verwertung der anfallenden Schlämme ist aktuell aus anlagenbedingten Gründen nicht möglich. Die restlichen rund 30 % werden zusammen mit Müll im Heizkraftwerk Nord (HKWN) mitverbrannt.

In einem Gutachten aus dem Jahr 1991 über die zu erwartende Entwicklung der Schlammengen in München wurde bereits festgestellt, dass die gesicherte Entsorgung des Münchner Klärschlammes nur durch den Bau einer KVA gewährleistet werden kann. Der Stadtrat hat dem Vorhaben im Jahr 1992 zugestimmt, nachdem eine vergleichende Umweltverträglichkeitsprüfung zum Ergebnis kam, dass eine Klärschlammverbrennung mit Wirbelschichttechnologie im Vergleich mit allen anderen Alternativen (landwirtschaftliche Nutzung, Deponierung, Verbrennung im Schmelzverfahren) aus ökologischer Sicht die beste Lösung darstellt. Dieses Ergebnis wurde im Jahr 2009 durch eine groß angelegte Studie unter Beteiligung der MSE zusammen mit 6 weiteren Entwässerungsbetrieben nochmals bestätigt. Die Studie wurde von der TU Darmstadt, dem IFEU Institut und dem Ingenieurbüro Dr. Born und Dr. Ermel GmbH durchgeführt und erbrachte das Ergebnis, dass die Verbrennung von ausgefautem Klärschlamm in einer Monoverbrennungsanlage mit Wirbelschichttechnologie aus ökonomischen, ökologischen und verfahrenstechnischen Gründen am besten ist.

Der bisher von der MSE praktizierte Weg der Klärschlammbehandlung, rund 70 % des anfallenden Klärschlammes in der bestehenden KVA thermisch zu verwerten und rund 30 % zusammen mit Müll im HKWN zu verbrennen, ist aus folgenden anlagenbedingten sowie rechtlichen Gründen künftig nicht mehr möglich (siehe Kapitel 3.4):

In den letzten Jahren konnte die Anlagenverfügbarkeit der bestehenden KVA nur durch einen hohen Instandhaltungsaufwand erhalten werden. Aufgrund von mechanischen Abnutzungserscheinungen und altersbedingten Ausfällen steigt der Reparaturaufwand kontinuierlich an. Ein knappes Angebot auf dem externen Markt für Ersatzteile, die für Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen benötigt werden, machen die Beschaffung und den Erhalt immer zeitaufwendiger und kostenintensiver. Künftig ist daher mit einem immer stärker wachsenden Instandhaltungsaufwand bei sinkender Anlagenverfügbarkeit zu rechnen. Betroffen hiervon sind hauptsächlich die Schlammaufbereitung und die Rauchgasreinigung, aber auch Komponenten der Verbrennung, wie z.B. der Bettascheaustrag sowie die Wasser- und Druckluftversorgung.

Allgemeine Ursachen sind:

- zunehmende Schädigung von Hauptkomponenten der KVA,
- abnehmende Verfügbarkeit / Fachkenntnis von Servicefirmen für die annähernd 20 Jahre alten Komponenten,
- abnehmende Verfügbarkeit von Ersatzteilen für den alten Anlagenbestand bzw. zeitaufwendiger Umbau wegen Anpassungsarbeiten an aktuell verfügbaren Ersatzteilen,
- lange Lieferzeiten von Ersatzteilen

Dies hat negative Auswirkungen auf die Entsorgungssicherheit für den Klärschlamm. Aus diesem Grund wurde der Zustand der bestehenden KVA im Rahmen einer extern durchgeführten Untersuchung ermittelt. Um die Entsorgungssicherheit des anfallenden Klärschlammes auch künftig weiterhin gewährleisten zu können, müssten dieser Untersuchung zufolge wesentliche Komponenten der Anlage kostenintensiv erneuert oder tiefgreifend saniert werden. Die Sanierungskosten liegen zwischen 10 Mio. € (Außerbetriebnahme bestehende KVA 2025) und 24,5 Mio. € (Außerbetriebnahme bestehende KVA bis 2035).

Da die Sanierungsmaßnahmen jedoch im laufenden Betrieb der bestehenden Anlage erfolgen müssten, nimmt wiederum das Risiko einer vorübergehenden sinkenden Anlagenverfügbarkeit mit dem Umfang der Eingriffe zu. Eine Umrüstung der bestehenden KVA hin zu einer 100 %igen Klärschlamm Entsorgung wird aufgrund der in diesem Fall noch komplexeren Eingriffe in die Verfahrenstechnik hinsichtlich Umsetzbarkeit und Entsorgungsrisiko als sehr kritisch angesehen. Die in der Untersuchung angenommene Lebensdauer der bestehenden KVA endet selbst bei einer umfangreichen Sanierung etwa im Jahr 2035.

Neben den anlagenbedingten Gründen müssen auch rechtliche Entwicklungen beachtet werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand ist die Mitverbrennung von Klärschlamm zusammen mit Müll ab dem 01.01.2025 rechtlich nicht mehr zulässig. Hintergrund sind die im Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD im Jahr 2013 getroffenen Vereinbarungen zum Thema "Nachhaltigkeit". Diese geben eine Rückgewinnung des im Klärschlamm enthaltenen Phosphors sowie einen Ausstieg aus der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung vor. Die Umsetzung soll mit der Novellierung der Klärschlammverordnung erfolgen. Ein entsprechender Referentenentwurf wurde am 27.08.2015 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit veröffentlicht. Die formale Ressortabstimmung soll demnächst eingeleitet werden (Stand Februar 2016). Der Referentenentwurf sieht für Klärschlämme, die in Abwasserbehandlungsanlagen der Größenklassen 4 und 5 anfallen, also ab einer Anschlussgröße von 10.000 EW, ab dem 01.01.2025 eine Pflicht zur Rückgewinnung von Phosphor vor. Die derzeit noch praktizierte thermische Verwertung von rund 30 % des anfallenden Klärschlammes zusammen mit Restmüll im HKWN ist dann nicht mehr möglich, da in diesem Fall nicht genug Phosphor aus der bei der Mitverbrennung anfallenden Schlacke zurückgewonnen werden kann, um die zu erwartenden gesetzlichen Rückgewinnungsquoten (> 80 %ige Phosphorrückgewinnung aus der Asche) erfüllen zu können.

Die soeben dargestellten Entwicklungen werden voraussichtlich durch zu erwartende Entsorgungsengpässe künftig weiter verschärft. Die Monoverbrennungskapazitäten in Bayern sind gemäß LfU Bayern bereits jetzt nahezu vollständig ausgelastet. Zukünftig wird es in Deutschland aus folgenden Gründen vermutlich zu einer weiteren deutlichen Verknappung der thermischen und landwirtschaftlichen Klärschlammverwertungskapazitäten kommen:

- Seit 2015 bestehen deutliche Einschränkungen bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung aufgrund strengerer Grenzwerte der novellierten Düngemittelverordnung. Ab 2017 folgen weitere Einschränkungen aufgrund der Nachweispflichten zur Abbaubarkeit der in der Schlammentwässerung eingesetzten Polymere.
- Aufgrund des zunehmenden Anteils erneuerbarer Energien im öffentlichen Stromnetz werden Kohlekraftwerke schon jetzt vermehrt in Teillast gefahren. Dies schränkt die Mitverbrennung von Klärschlamm in Kohlekraftwerken bereits aktuell stark ein.
- Das mit dem Referentenentwurf der Novelle der Klärschlammverordnung angestrebte P-Rückgewinnungsgebot wird nach derzeitigem Sachstand ab 01.01.2025 die Mitverbrennung am stärksten einschränken. Zur Deckung der dadurch entstehenden Entsorgungslücke wäre der Bau von rund 21 Klärschlammmonoverbrennungsanlagen in Deutschland mit einer jeweiligen Kapazität von ca. 33.000 t TR/a bis zum Jahr 2026 notwendig. Die genannten Gründe werden dazu führen, dass das thermische Klärschlammverwertungsangebot die hohe Nachfrage nicht mehr in ausreichender Weise decken kann. Deshalb ist in den kommenden Jahren mit einer verstärkten Bautätigkeit für Klärschlammmonoverbrennungsanlagen zu rechnen. Hierfür steht jedoch nur eine begrenzte Anzahl von Dienstleistern zur Verfügung. Aufgrund dieses starken zu erwartenden Ungleichgewichts von Angebot und Nachfrage ist daher künftig auch von einem deutlichen Preisanstieg sowohl für die externe Klärschlamm-entsorgung als auch für den Anlagenbau auszugehen. Im Umkehrschluss bedeutet dies einen Kostenvorteil im Falle eines früheren Neubaus. Gemäß einer vom VKU im Jahre 2015 veröffentlichten Umfrage haben 98 % aller befragten Unternehmen angegeben, dass aufgrund des zu erwartenden Verbots der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung für Abwasserbehandlungsanlagen der Größenklassen 4 und 5 mit einem deutlichen Kostenanstieg von bis zu 100 % der aktuellen Entsorgungskosten gerechnet werden muss.

Aufgrund der genannten Aspekte musste eine strategische Vorgehensweise erarbeitet werden, die es der MSE ermöglicht, eine rechtskonforme und zukunftssichere Klärschlammbehandlung gewährleisten zu können. Hierzu wurden zunächst fünf mögliche Strategien definiert und anschließend anhand technischer, monetärer und risikobasierter Kriterien verglichen (siehe Kapitel 4).

- Strategie 1: möglichst früher Neubau einer KVA mit einer geplanten Inbetriebnahme (IBN) im Jahr 2025. Die neue KVA soll 100 % des anfallenden Klärschlammes verwerten können. Zur Überbrückung der Zeit bis zum KVA-Neubau ist altersbedingt ein Mindestpaket an Sanierungen für die bestehende KVA erforderlich.

Die Bestandsanlage soll nicht in ihrer gegenwärtigen Funktionsweise verändert werden. Rund 30 % des anfallenden Klärschlamms werden bis zur Inbetriebnahme der neuen Anlage extern über das HKWN entsorgt.

- Strategie 2: Im Unterschied zu Strategie 1 wird in Strategie 2 von einem späteren Neubau einer KVA und einer IBN etwa ab dem Jahr 2035 ausgegangen. Der Fokus von Strategie 2 besteht in der möglichst langen Nutzung der nahezu abgedruckten Bestandsanlage. Die alte KVA muss in diesem Fall umfangreicher saniert werden, um die Anlagenverfügbarkeit sicherstellen zu können. Die Funktionsweise der Altanlage wird ebenso wie bei Strategie 1 nicht verändert. Ab dem Jahr 2025 ist aus rechtlichen Gründen voraussichtlich keine Verwertung mehr über das HKWN möglich. Bis zur Inbetriebnahme der neuen KVA müsste der im HKWN entsorgte Schlammanteil bei Strategie 2 daher für einen längeren Zeitraum (rd. 10 Jahre) über einen alternativen externen Verwerter entsorgt werden. Hierfür muss eine entsprechende Schlammausschleusung inklusive Logistik vorgesehen werden.
- Strategie 3: Im Unterschied zu den Strategien 1 und 2 verfolgt die Strategie 3 das Ziel, möglichst rasch 100 % des anfallenden Klärschlamms in der Bestandsanlage zu entsorgen. Hierzu muss die bestehende KVA in ihrer grundsätzlichen Funktionsweise verändert und auf einen 2-Linien-Betrieb umgerüstet werden. Aus Gründen der Entsorgungssicherheit und zur Realisierung des 2-Linienbetriebs ist zusätzlich ein Pufferlager erforderlich, welches über eine Möglichkeit zur Notausschleusung verfügt und in ein späteres Neubaukonzept integriert werden muss. Wegen des beim 2-Linienbetrieb erhöhten Verschleißes ist davon auszugehen, dass die bestehende KVA bei Strategie 3 ebenfalls spätestens 2035 durch eine neue Anlage ersetzt werden muss.
- Strategie 4: Strategie 4 verfolgt analog zu Strategie 3 das Ziel einer raschen 100 %igen Klärschlammbehandlung in der Bestandsanlage. Bei Strategie 4 soll zusätzlich zum Pufferlager auch die gesamte Schlammaufbereitung (Entwässerung und Trocknung) als vorgezogener Teil eines KVA-Neubaus möglichst früh errichtet und an die Verbrennung inklusive Rauchgasreinigung des alten Anlagenbestands angekoppelt werden. Die Schlammaufbereitung der Bestandsanlage wird für den Regelbetrieb stillgelegt. Hintergrund für diese Überlegungen ist der Umstand, dass die Störanfälligkeit der Schlammaufbereitung bei der bestehenden Anlage vergleichsweise hoch ist. Darüber hinaus ist die Ersatzteilbeschaffung für die Schlammaufbereitung aufgrund der alten Anlagen und der derzeitigen Marktsituation zeitaufwendig. Ein frühzeitiger Ersatz der bestehenden Schlammaufbereitung wird daher im Falle eines 2-Linienbetriebs in der Übergangsphase als sinnvoll erachtet.
- Strategie 5: Bei Strategie 5 wird eine dauerhafte externe Entsorgung für den kompletten Klärschlamm angestrebt. Aus Gründen der Vergleichbarkeit und weil das rechtliche Erfordernis zur Monoverbrennung nachzeitigem Kenntnisstand ab 01.01.2025 eintritt, wurde das Jahr 2025 als Zeitpunkt des Umstiegs auf die komplette externe Klärschlammbehandlung gewählt. Aufgrund der zunehmenden Störanfälligkeit der bestehenden KVA muss diese analog zu Strategie 1 zunächst minimal saniert werden. Anschließend soll der gesamte Klärschlamm über einen Dienstleister entsorgt werden.

Die Strategien wurden anhand der Kriterien "Entsorgungssicherheit", "Kosten" und "Technische Umsetzbarkeit" miteinander verglichen und mit Hilfe eines Punktesystems bewertet. Die MSE wurde hierzu von einem externen Ingenieurbüro (IB Born und Ermel) unterstützt. Aus der Summe aller Ergebnisse wurde ein Entscheidungsvorschlag für die weitere Vorgehensweise abgeleitet.

Der Strategievergleich erbrachte das Ergebnis, dass Strategie 1 aus technischen, monetären und risikobasierten Gründen von der MSE weiterverfolgt werden sollte.

- Das Kriterium Entsorgungssicherheit wird von Strategie 1 am besten erfüllt, da durch den möglichst frühen KVA-Neubau mit 100 % Eigenverwertung des Klärschlammes eine rasche Abkopplung von externen Einflüssen erreicht wird. Hierbei spielt insbesondere die Unabhängigkeit vom externen Verwertermarkt eine entscheidende Rolle.
- Das Kriterium Kosten wird ebenfalls am besten erfüllt. Strategie 1 weist sowohl die beste Kostenbilanz im Betrachtungszeitraum auf als auch den günstigsten Kostenverlauf. Der Verlauf der Kosten ist wiederum ein wichtiges Kriterium für das Ziel der Gebührenstabilität.
- Das Kriterium Technische Umsetzbarkeit wird von Strategie 1 auch am besten erfüllt. Ein wichtiger Grund dafür sind die technisch vergleichsweise unkomplizierten Eingriffe in die Bestandsanlage aufgrund der nur minimalen Sanierung. Darüber hinaus kann die Planung für den KVA-Neubau bei Strategie 1 aus "einem Guß" erfolgen. Dies ist aus technischer Sicht wegen der engen Verzahnung der Verfahrenstechnik günstig. Der frühe Zeitpunkt des Neubaus hat dabei keine negativen Auswirkungen auf die Technische Umsetzbarkeit. Ein positiver Aspekt des frühen KVA-Neubaus könnte auch die positive Angebots- / Nachfragesituation für Anlagenbauer sein. Je früher eine neue KVA gebaut wird, desto weniger Kapazitäten sind in anderen gleichartigen Bauvorhaben gebunden.
- Ein weiterer positiver Effekt ergibt sich bei Strategie 1 aus der Minimierung des Einflusses der Energiewende auf die Stromkosten. Grund dafür ist die frühe "Stromautarkie" einer neuen energieeffizienten KVA, wodurch eine rasche Unabhängigkeit von den externen Stromkosten realisiert wird. Dies hat zusätzlich positive Umwelteffekte durch CO₂-Einsparungen zur Folge. Die bestehende KVA kann ihren Strombedarf nur zu rund 1/3 selbst decken.

Strategie 1 sieht einen möglichst frühen KVA-Neubau vor. Eine erste grobe Kostenschätzung hat ergeben, dass eine neue KVA heute rund 100 Mio. € brutto kosten würde (inklusive 20 % Aufschlag für Unvorhergesehenes).

In Anbetracht der Ergebnisse aus dem Strategievergleich wird daher die Weiterverfolgung von Strategie 1 empfohlen (siehe Abbildung 30):

- Eine minimale Sanierung der bestehenden Klärschlammmonoverbrennungsanlage zum Weiterbetrieb bis 2025.
- Externe Verwertung von rd. 1/3 des anfallenden Klärschlammes im HKWN.
- Möglichst früher Neubau einer neuen Klärschlammmonoverbrennungsanlage mit einer geplanten Inbetriebnahme im Jahr 2025 zur Verbrennung des gesamten Klärschlammes der MSE.
- Folgende technische Randbedingungen wurden festgelegt:
- Die neue KVA soll auf einen Durchsatz von 35.500 t TR/a hin ausgelegt werden.
- Die Revisionsbesicherung der neuen KVA ist über ein geeignetes Konzept sicherzustellen.
- Als Verbrennungstechnologie soll die neue KVA eine Wirbelschichtfeuerung erhalten.
- Die Rauchgasreinigung der neuen KVA soll ein hohes Niveau besitzen.
- Die neue KVA soll erweiterbar sein.
- Die neue KVA soll bezüglich der möglichen späteren Integration zukünftiger Technologien flexibel sein.

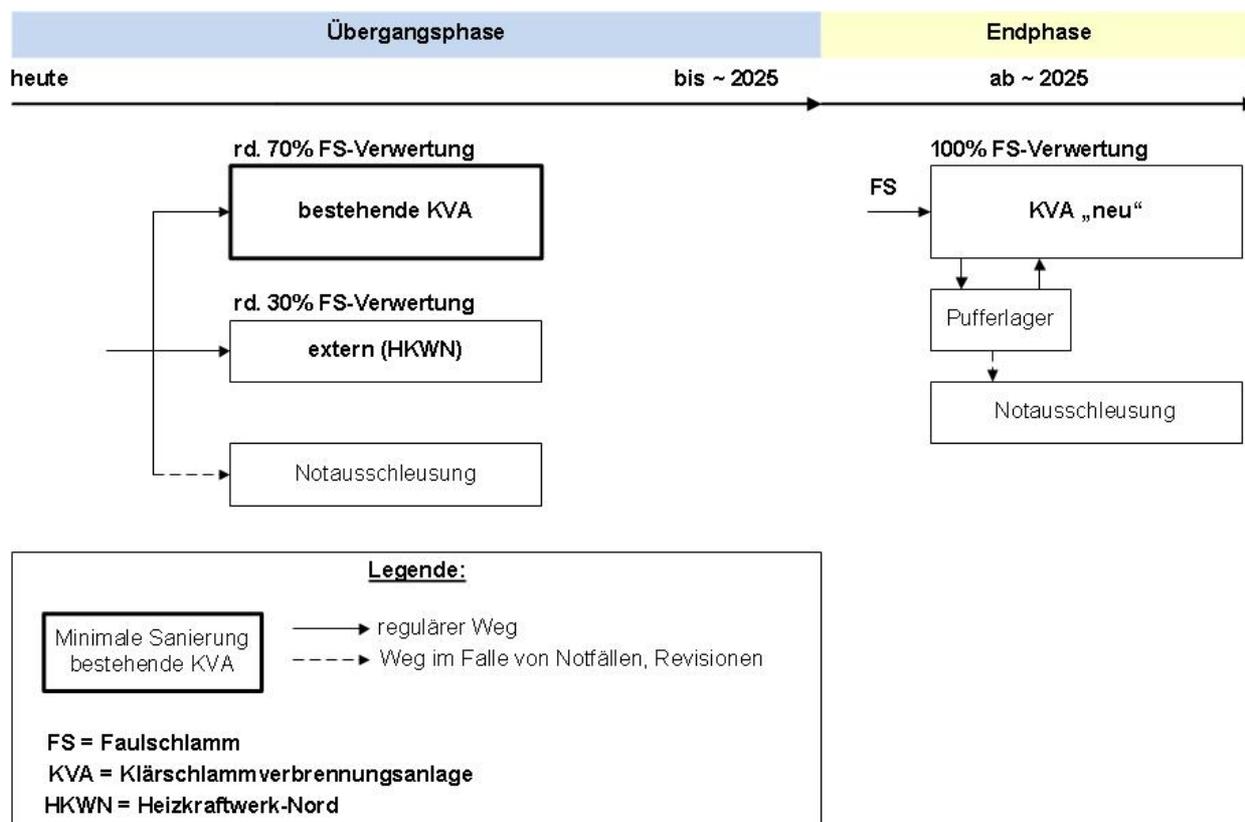


Abbildung 30: Darstellung von Strategie 1 als Vorschlag für die weitere Vorgehensweise

Die konkrete Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen von Strategie 1 wird im Rahmen der Bedarfsplanungsstufe 2 aufgezeigt. Im Falle sich ändernder Rahmenbedingungen sind Anpassungen am derzeitigen Planungsstand vorzunehmen.

Literaturverzeichnis

- [1] TBF und Partner AG (2014); Anlagencheck Klärschlammverbrennungsanlage Gut Großlappen
- [2] TBF und Partner AG (2014); Anlagencheck Klärschlammverbrennungsanlage Gut Großlappen - Nachtrag zum Endbericht
- [3] Seyfried (1991): Kapazitätsplanung für die Klärschlammverbrennungsanlagen der Landeshauptstadt München
- [4] Seyfried (1996): Prognose über die Entwicklung des Klärschlammfalls der Landeshauptstadt München - Aktualisierung und Fortschreibung
- [5] Bundesregierung (2014): Deutschlands Zukunft gestalten - Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, S. 84
- [6] BMUB (2015): Referentenentwurf Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverwertung vom 27.08.2015
- [7] Korrespondenz Abwasser (KA 2015 (62)) Nr. 3: Auswirkungen der sich verändernden Rahmenbedingungen auf die Entsorgungssicherheit für Klärschlamm
- [8] VKU (2014): Auswertungsbericht zur VKU-Mitgliederumfrage "Klärschlamm und Phosphorrückgewinnung"
- [9] Münchner Stadtentwässerung, Gesamtentwässerungsplan 2001; Teil Klärschlamm Entsorgung
- [10] Münchner Stadtentwässerung, Klärwerksbau, Projekthandbuch KVA, 1990
- [11] Beschluss der Vollversammlung des Stadtrates München, 19.02.1992
- [12] Dr. Born - Dr. Ermel GmbH (2009) Grundsatzstudie zum Stand der Technik bei der Klärschlammbehandlung
- [13] Münchner Stadtentwässerung (2013), Klärwerksbau, Klärschlammnotfallkonzept für das KLV I und II, MSE-2
- [14] Münchner Stadtentwässerung (2014); Abteilung Betrieb; Technischer Jahresbericht
- [15] Regierung von Oberbayern (1993), Genehmigungsbescheid KVA vom 28.12.1993
- [16] Anpassungsvereinbarung des Betriebsführungsvertrags HKWN - SWM (2015)
- [17] Münchner Stadtentwässerung (2015); Klärwerksbau; Erläuterungsbericht Vorplanung Notausschl.
- [18] Münchner Stadtentwässerung (2013), Zentrale Aufgaben, Gewässerschutzbericht MSE 2013; MSE-Z-C
- [19] Münchner Stadtentwässerung (2008-2014); Faulschlamm Bilanz, MSE-32L
- [20] A. Durth (2015); 9. Klärschlamm Tage DWA, 15.-17.06.2015, Abwasser und Klärschlamm in Deutschland - Statistische Betrachtungen
- [21] Referat für Stadtplanung und Bauordnung LHM (2015), Demografiebericht München Teil 1 & 2, Analyse und Bevölkerungsprognose 2011 bis 2030
- [22] Planungsverband Äußerer Wirtschaftsraum München, Region München 2014
- [23] Tourismus - München in Zahlen,
<http://www.muenchen.de/sehenswuerdigkeiten/tourismus/tourismus-in-zahlen.html>
- [24] DWA (2012), Merkblatt DWA-M 387, Thermische Behandlung von Klärschlämmen - Mitverbrennung in Kraftwerken
- [25] Homepage: Statistisches Bundesamt, URL:

<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/Tabellen/KlaerschlammVerwertArt2014.html> (abgerufen am 16.12.2015)

- [26] LfU Bayern: Klärschlammentsorgung in Bayern - Planungshilfe für Kommunen, 2011
- [27] Homepage EUWID, Online Ausgabe 38/2014: URL: <http://www.euwid-wasser.de/news/politik/einzelansicht/Artikel/duengemittelverordnung-bde-sieht-probleme-bei-synthetischen-polymeren.html> (abgerufen am 16.12.2015)
- [28] Dr. Born - Dr. Ermel GmbH (2015): Studie zukünftiges Klärschlammbehandlungskonzept der Münchner Stadtentwässerung
- [29] DWA-DVGW (2012), Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen
- [30] Adam, C; Krüger, O. (2013): Wertstoffpotential in deutschen Klärschlammaschen

Anhangverzeichnis

- Anhang 1 Management Summary: "Studie Zukünftiges Klärschlammbehandlungskonzept der Münchner Stadtentwässerung", Born und Ermel, 2015
- Anhang 2 Darstellung des möglichen Standortes einer neuen KVA im Falle der Strategien 1 bis 4 bzw. der Vollstromausschleusung bei Strategie 5 (Freifläche neben der Bestandsanlage auf dem KLW I)
(Quelle: IB Born und Ermel)
- Anhang 3 Darstellung eines Pufferspeichers in Siloausführung
(Quelle: IB Born und Ermel)
- Anhang 4 Vergleich der verschiedenen Lagertechnologien in Abhängigkeit vom Trocknungsgrad des eingesetzten Klärschlammes (Quelle IB Born und Ermel)
- Anhang 5 Darstellung des Prinzips der quasitrockenen Rauchgasreinigung
(Quelle: IB Born und Ermel)
- Anhang 6 Darstellung des Prinzips der nassen Rauchgasreinigung
(Quelle: IB Born und Ermel)
- Anhang 7 Darstellung des Kurvenverlaufs der Jahreskostenbetrachtung der Strategien für Neubau-Szenario II und Rauchgasreinigungsvariante B (nass) inklusive Kostenübersicht
- Anhang 8 Darstellung des Ergebnisses der dynamischen Kostenvergleichsrechnung nach LAWA für die Strategien 1 und 2 für Neubauszenario II (2-Linien) und Rauchgasreinigungsvariante B (nass) (Quelle: IB Born und Ermel)
- Anhang 9 Darstellung der Werte der 17. BImSchV sowie der Planungsvorgaben und der erreichten Abluftwerte der bestehenden KVA
- Anhang 10 Ergebnisse der aktuellen Klärschlamm Entsorgungskosten