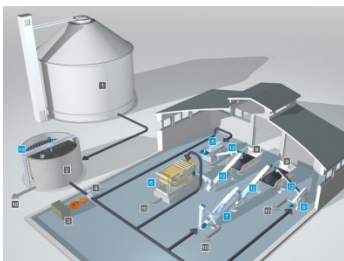


Neubewertung von Abwasserreinigungsanlagen mit anaerober Schlammbehandlung vor dem Hintergrund der energetischen Rahmenbedingungen und der abwassertechnischen Situation in Rheinland-Pfalz - NAwaS

Modul 2: Weitergehende Untersuchungen



im Auftrag des
Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten
und des
Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung

Schlussbericht
21. November 2011

Bearbeitung des Projektes durch:

Prof. Dr.-Ing. Theo G. Schmitt

tschmitt@rhrk.uni-kl.de

Dipl.-Ing. Oliver Gretzschel

oligre@rhrk.uni-kl.de

Tel: 0631-205-3831

tectraa-Zentrum für innovative Abwassertechnologien an der TU Kaiserslautern

Paul-Ehrlich-Straße

Gebäude 13-251

67663 Kaiserslautern

Prof. Dr.-Ing. Joachim Hansen

joachim.hansen@uni.lu

Tel: +352/46 66 44-5283

Universität Luxemburg - Campus Kirchberg

Siedlungswasserwirtschaft und Wasserbau

6, rue R. Coudenhove-Kalergi

L-1359 Luxembourg

Dr.-Ing. Klaus Siekmann

k.siekmann@siekmann-ingenieure.de

Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Jakob

j.jakob@siekmann-ingenieure.de

Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner GmbH

Tel: 02652-9898-0

Segbachstraße 9

56743 Thür

Inhalt

1	Ausgangssituation und Methodik der Vorgehensweise	1
2	Analyse der Rahmenbedingungen für eine Umstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung	3
2.1	Mechanische Stufe	3
2.1.1	Rechen	3
2.1.2	Sandfang	3
2.1.3	Vorklärung	3
	Auswirkungen der Vorklärung auf unterschiedliche Parameter der Abwasserreinigung	4
	Folgen einer Änderung des C/N-Verhältnisses	5
2.2	Biologische Reinigungsstufe	7
2.2.1	Volumen - V_{BB}	7
2.2.2	Schlammalter - t_{TS}	7
2.2.3	Schlamm Trockensubstanz im Belebungsbecken - TS_{BB}	10
2.2.4	Belüftung	10
2.3	Nachklärung	11
2.4	Schlammbehandlung	12
2.4.1	Primärschlamm - PS	12
2.4.2	Überschussschlamm - ÜSS	12
2.4.3	Voreindickung	12
2.4.4	Rückbelastung aus der Schlammbehandlung	12
	Kohlenstoff-Rückbelastung	12
	Phosphor-Rückbelastung	13
	Stickstoff-Rückbelastung	13
2.4.5	Schlammmentwässerung	14
2.5	Zusammenfassung	14
3	Beschreibung unterschiedlicher Bauformen von aeroben Stabilisierungsanlagen in Rheinland-Pfalz als Grundlage zur Ableitung von Umnutzungsszenarien	17
3.1	Gängige Bauformen für aerobe Stabilisierungsanlagen	17
3.1.1	Durchlaufanlagen	17
3.1.2	Batch-Anlagen und sonstige Anlagen	21
3.2	Situation in Rheinland-Pfalz	22
4	Nutzungsszenarien für frei werdendes Beckenvolumen unter Berücksichtigung des fortlaufenden Betriebs während der Umbauphase	25
4.1	Rechteckbecken	26
4.2	Rundbecken	26
4.3	Kombibecken	28
5	Entwicklung der Behandlungstechniken zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit	30
5.1	Faulbehältergestaltung und -betrieb	30

Einfluss zweistufige Betriebsweise der Faulung.....	36
5.2 Gasspeicherung und -verstromung.....	37
5.2.1 Speicherung.....	37
5.2.2 Verstromung	37
Blockheizkraftwerke	37
Mikrogasturbinen	39
5.3 Prozesswasserbehandlung	41
5.4 Ausblick: Windgaserzeugung & Speicherproblematik.....	44
5.4.1 Hintergrund	44
5.4.2 Technologie	44
5.4.3 Vorteile und Chancen	45
6 Entwicklung von Kostenfunktionen zur Prüfung einer Umstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfaulung	48
6.1 Methodische Vorgehensweise	48
6.2 Erstellung der Kostenfunktionen	49
6.2.1 Vorklärbecken.....	49
6.2.2 Faulturm.....	51
6.2.3 Sonstige Bauwerke und Anlagen.....	54
6.2.4 Zusammenstellung der Gesamtkosten.....	55
6.2.5 Kapitalkosten	55
6.3 Betriebskosteneinsparungen.....	56
6.3.1 Energiekosten.....	56
6.3.2 Entwässerungs-/Entsorgungskosten	57
6.3.3 Personalkosten	57
6.3.4 Wartung und Instandhaltung.....	57
6.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.....	58
Wirtschaftlichkeitsgrenze unter aktuellen Rahmenbedingungen.....	58
7 Erarbeitung einer Checkliste zur Umstellung.....	62
7.1 Block 1: Basisabfrage.....	63
7.1.1 Angeschlossene EW - Belastung der Kläranlage.....	63
7.1.2 Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit.....	64
7.2 Block 2: Verfahrenstechnik.....	65
7.2.1 Mechanische Stufe	65
Rechen.....	65
Sandfang.....	65
Vorklärung.....	66
7.2.2 Biologie - Belebungsbecken	67
Beckenvolumen Belebung – Vergleich.....	67
Weiternutzung Beckenvolumen Belebung.....	68
7.2.3 Nachklärung.....	69

7.3 Block 3: Investitionskosten.....	70
8 Anwendung der Checkliste an einer Musteranlage.....	72
8.1 Kurzbeschreibung der Anlage.....	72
8.2 Anwendung der Checkliste	73
8.2.1 Block 1 – Basisabfrage.....	73
Angeschlossene EW	73
Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit.....	73
8.2.2 Block 2 – Verfahrenstechnik: Mechanische Stufe.....	74
Rechen	74
Sandfang	74
Vorklärung	75
8.2.3 Block 2 - Verfahrenstechnik: Biologie.....	75
Beckenvolumen Belebung - Vergleich	75
Weiternutzung Beckenvolumen.....	75
8.2.4 Block 2 – Verfahrenstechnik: Nachklärung	76
8.2.5 Block 3 - Investitionskosten.....	76
8.3 Zusammenfassung:.....	77
9 Abschätzung des energetischen Optimierungspotenzials durch Umnutzung von aeroben Stabilisierungsanlagen in Rheinland-Pfalz.....	78
9.1 Rahmenbedingungen der Szenarien	78
9.1.1 Hohe Preissteigerungsrate	78
9.1.2 Geringe Preissteigerungsrate.....	79
9.2 Ergebnisse	79
9.2.1 Hohe Preissteigerungsrate	79
9.2.2 Geringe Preissteigerungsrate.....	79
10 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	81
11 Literaturverzeichnis	83
12 Anhang.....	85
Anhang 1	87
Anhang 2	89
Anhang 3	99

Bildverzeichnis

Bild 1:	Erforderliches BB-Volumen bei aerober Stabilisierung im Vergleich zu Faulung.....	7
Bild 2:	Erforderliches Schlammalter im Belebungsbecken nach (ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung 2000) bei $VD/V_{BB}=0,5$	8
Bild 3:	Auswirkungen des Schlammalters auf den Faulgasertrag und Sauerstoffeintrag bei 1h Vorklärdauer und 15°C Abwassertemperatur (vgl. ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung 2000 Tabelle 7)	9
Bild 4:	Auswirkungen des Schlammalters auf die energetische Bilanz bei Einsatz einer Faulung und eine Vorklärdauer von 1h, nach (ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung 2000), (Müller, Ernst A. et al. 1999)	9
Bild 5:	Sauerstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Temperatur und des Schlammalters für $C_{CSB,ZB}/C_{BSB,ZB} \leq 2,2$	10
Bild 6:	Exemplarische Stickstoffbilanz für eine kommunale Kläranlage in [g N/(E·d)] nach (Jardin et al. 2005). Mit VK: Vorklärung, NK: Nachklärung, FB: Faulbehälter, EW: Entwässerung.....	13
Bild 7:	Vergleich der prozentualen Anteile der Prozesswasserströme / Frachten am Kläranlagenzulauf, nach (Cornel 1998)	13
Bild 8:	Bauformen von Belebungsbecken	23
Bild 9:	Aufteilung der Rundbecken in einfache Rundbecken und Kombibecken (ohne SBR)	23
Bild 10:	Aufteilung der Beckenformen nach EW	24
Bild 11:	Gegenüberstellung des benötigten Belebungsvolumens bei aerober Stabilisierung und Faulung	25
Bild 12:	Aufteilung von Rechteckbecken zur Weiternutzung als VKB	26
Bild 13:	Möglichkeiten der Volumenabtrennung bei Rundbecken	26
Bild 14:	Beispielskizze für eine 2-straßige Belebungsanlage	27
Bild 15:	Heberleitung (links) und Trennwand (rechts)	28
Bild 16:	Abtrennungsmöglichkeiten bei Kombibecken	28
Bild 17:	Downscaling Faulbehälter: Hier sind alternative und kostengünstige Konzepte erforderlich, ein einfaches Downscaling ist nicht zielführend	30
Bild 18:	Abbaugrad der org. Substanz in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit (Roediger et al. 1990)	31
Bild 19:	Gasproduktion in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit (Roediger et al. 1990)	31
Bild 20:	Gehalt an org. Säuren im Schlammwasser in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit (Roediger et al. 1990)	32
Bild 21:	Konventionelle Form eines Faulbehälters.....	33
Bild 22:	Zylindrischer, beheizter Faulbehälter (Biebersdorf, Schröder 2008)	33
Bild 23:	Faulbehälter mit integriertem Gasraum in Stahlbauweise mit BHKW in Containeraufstellung (Bilddokumentation: Fa. Lipp GmbH, Tannhausen)	34
Bild 24:	Kompakte Bauwerkseinheiten und einfache Bauweise von Faulbehälter und Maschinenhaus	35
Bild 25:	im Bau befindliche Kompaktfaulbehälteranlage auf der Kläranlage Linz-Unkel	36
Bild 26:	Abbaugrad bei 1-stufiger und 2-stufiger Verfahrensführung, nach (Roediger et al. 1990)	36
Bild 27:	Aufbau einer kompakten BHKW-Anlage	38
Bild 28:	Systemfließschema eines BHKW's	38
Bild 29:	Mikrogasturbine der Firma Capstone (USA) mit Rekuperator und einer elektrischen Leistung von 65 kW	40
Bild 30:	Systemfließschema einer Mikrogasturbine	41
Bild 31:	Nutzung von Kohlendioxid aus Faulungsprozess und Faulgasverstromung zur Erzeugung von speicherfähigem Gas	46
Bild 32:	Ausführung Vorklärbecken	50
Bild 33:	Kostenfunktion für den Bau eines Vorklärbeckens in Rundbauweise	51
Bild 34:	2-stufiger Kompaktfaulbehälter, Grundriss und Schnitt	52

Bild 35:	Kostenfunktion für den Bau eines 2-stufigen Kompaktfaulbehälters	54
Bild 36:	Kostenfunktion für die sonstigen Bauwerke und Anlagen	54
Bild 37:	Kostenfunktion für die Ermittlung der Gesamtkosten der Verfahrensumstellung.....	55
Bild 38:	Kostenfunktion für die Ermittlung der spez. Kapitalkosten der Verfahrensumstellung.....	56
Bild 39:	Kostenfunktion der möglichen spez. Betriebskosteneinsparung	58
Bild 40:	Energiepreisentwicklung ab dem Jahr 2000 mit Prognose bis 2020 (Energieagentur NRW 2011), ergänzt um eine Prognose bis 2020	59
Bild 41:	Empfindlichkeitsprüfung – Projektkostenbarwertvergleich bei steigenden Betriebskosten und einem Zinssatz von $i = 4\%$	60
Bild 42:	Checkliste Block 1 - Ermittlung der Belastung der Kläranlage	63
Bild 43:	Checkliste Block 1 – Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit	64
Bild 44:	Checkliste Block 2 – Prüfung Rechen	65
Bild 45:	Checkliste Block 2 - Prüfung Sandfang	65
Bild 46:	Checkliste Block 2 - Prüfung Vorklärung	66
Bild 47:	Checkliste Block 2 – Beckenvolumen Belegung - Vergleich	67
Bild 48:	Checkliste Block 2 – Weiternutzung Beckenvolumen	68
Bild 49:	Checkliste Block 2 - Nachklärung	69
Bild 50:	Checkliste Block 3 - Investitionskosten.....	70
Bild 51:	Skizze der Musteranlage	72
Bild 52:	Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit.....	74
Bild 53:	Spezifische Gesamtkosten bei einer Umstellung auf Faulungsbetrieb	76

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich der Auswirkungen unterschiedlicher Vorklärzeiten auf unterschiedliche Parameter des Behandlungsprozesses sowie den Energieertrag	5
Tabelle 2:	Richtwerte für den Schlammindex nach (ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung 2000)	11
Tabelle 3:	Entwässerte Schlamm-mengen bei aerober und anaerober Stabilisierung	14
Tabelle 4:	Unterschiede zwischen aerober Stabilisierung und Faulung	15
Tabelle 5:	Durchlaufanlagen - Rührkesselreaktoren	18
Tabelle 6:	Durchlaufanlagen – Längsdurchströmte Becken	19
Tabelle 7:	Durchlaufanlagen - Umlaufgraben	19
Tabelle 8:	Durchlaufanlagen - Schlaufenreaktoren	20
Tabelle 9:	Batch-Anlagen – SBR-Anlagen	21
Tabelle 10:	Sonderform – Biocos-Verfahren	22
Tabelle 11:	Übersicht zu Verfahren und möglichen Prozessen im Rahmen der Prozess- bzw. Schlammwasserbehandlung	43
Tabelle 12:	Kapitalwiedergewinnungsfaktoren	55
Tabelle 13:	Beckengeometrien	72
Tabelle 14:	Verfahrenstechnische Randbedingungen zur Abschätzung des Optimierungspotenzials	78
Tabelle 15:	Ergebnisse – Hohe Preissteigerungsrate	79
Tabelle 16:	Ergebnisse – Geringe Preissteigerungsrate	79

1 Ausgangssituation und Methodik der Vorgehensweise

Neben der Energiepreisentwicklung ist die CO₂-Reduzierung und die damit verbundene erforderliche Energiewende aus Klimaschutzgründen ein zentrales Zukunftsthema. Die aktuellen politischen Entscheidungen, die einen Atomausstieg bis spätestens 2022 vorsehen, forcieren die Energiewende und wirken sich auf die zukünftige Energielandschaft in Deutschland nachhaltig aus. Es ist daher ein grundlegendes Umdenken bei den heutigen Bestrebungen zum flächendeckenden Einsatz regenerativer Energien erforderlich. Auch die Siedlungswasserwirtschaft kann dazu z. B. durch energieeffiziente Kläranlagen und der Umstellung auf einen Faulungsbetrieb auf kommunaler Ebene einen bescheidenen Beitrag leisten und das von der Landesregierung ausgerufene Ziel der bilanziellen energetischen Unabhängigkeit im Strombereich bis 2030 unterstützen.

Die große Anzahl von 80 kommunalen Kläranlagen mit insgesamt 1,6 Mio. EW in der Größenklasse 4, die in Rheinland-Pfalz ihren Klärschlamm simultan aerob stabilisieren, verdeutlicht das Potenzial für eine mögliche Umstellung auf einen Faulungsbetrieb.

Für die Realisierung dieses Umstellungspotenzials sind – wie in NAwaS 1 aufgezeigt – die Rahmenbedingungen günstig. So stehen inzwischen beispielsweise entsprechende Techniken für einen Umstellung auch für kleinere Kläranlagen zur Verfügung.

Die Herausforderung bei einer Umstellung bestehen insbesondere in einer Prüfung von Weiternutzungsmöglichkeiten des bestehenden frei werdenden Beckenvolumens, in dem Umgang mit einer erhöhten Rückbelastung sowie insgesamt in der Realisierung kostengünstiger Lösungen für einen Faulungsbetrieb. Die Umstellung auf Faulung ist an Hand einer Checkliste zu prüfen und die Wirtschaftlichkeit über Kostenfunktionen nachzuweisen.

Die vorliegende Bearbeitung des Moduls NAwaS 2 umfasst im Einzelnen die folgenden Punkte:

- Analyse der Rahmenbedingungen für eine Umstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfaulung
- Beschreibung unterschiedlicher Bauformen von aeroben Stabilisierungsanlagen in Rheinland-Pfalz als Grundlage zur Ableitung von Umnutzungsszenarien
- Nutzungsszenarien für frei werdendes Beckenvolumen unter Berücksichtigung des fortlaufenden Betriebs während der Umbauphase
- Entwicklung von Behandlungstechniken zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit
- Entwicklung von Kostenfunktionen zur Prüfung einer Umstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfaulung
- Erarbeitung einer Checkliste zur Umstellung
- Anwendung der Checkliste an einer Musteranlage

Nachfolgend werden in jedem Kapitel – soweit möglich – immer wieder entlang des „Fließweges“ des Abwassers durch die Kläranlage die jeweiligen relevanten Aspekte beleuchtet und untersucht. Dies soll dem Leser die Orientierung erleichtern und gleichzeitig eine logische Struktur der einzelnen Kapitel „entlang des Fließweges“ sicherstellen.

Zu Beginn werden in Kapitel 2 die Rahmenbedingungen für eine Umstellung von aeroben Stabilisierungsanlagen näher betrachtet. Diese Analyse bildet die Grundlage für die nachfolgenden Ausführungen und Untersuchungen.

Daran schließt sich in Kapitel 3 die Beschreibung von Bauformen der Belebungsbecken sowie eine Analyse des Beckenbestandes in Rheinland-Pfalz an. Basierend auf diesem Ergebnis werden in Kapitel 4 Nutzungsszenarien für freiwerdendes Beckenvolumen abgeleitet, sowie Vor- und Nachteile einer solchen (Weiter-)Nutzung aufgezeigt.

Ein entscheidender Faktor bei der Umstellung stellt die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens dar. Behandlungstechniken, die zu einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit bei der Umstellung beitragen, sind Gegenstand des Kapitels 5.

Im folgenden Kapitel 6 werden Kostenfunktionen entwickelt, mit deren Hilfe es möglich ist, in Abhängigkeit der Größenklasse resp. EW-Zahl sowie unterschiedlicher Sensitivitätsfaktoren eine Aussage hinsichtlich der Gesamtwirtschaftlichkeit einer „Umstellung auf Faulung“ zu treffen.

Die nachfolgenden Ausführungen konzentrieren sich auf Kläranlagen innerhalb der Größenklasse 4 mit einem Anschlusswert von 10.000 bis 50.000 EW.

2 Analyse der Rahmenbedingungen für eine Umstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung

Zu Beginn werden die Rahmenbedingungen, die für eine Umstellung von Bedeutung sind näher untersucht. Dabei wird entlang des Fließwegs auf die einzelnen Prozessschritte eingegangen.

2.1 Mechanische Stufe

2.1.1 Rechen

Zur Vermeidung von Schwimmdecken auf der Oberfläche des Gärinhaltes im Faulbehälter ist es erforderlich, dass Kläranlagen mit einem Feinrechen (Durchgangsweite ca. 3 mm) ausgestattet sind. Dies ist bei den meisten Anlagen bereits der Fall. Sollte eine solche Einrichtung fehlen, so ist diese im Falle einer Umstellung auf Faulungsbetrieb nachzurüsten.

2.1.2 Sandfang

Der Sandfang ist von einer Umstellung auf den Faulungsbetrieb in der Regel nicht betroffen. Für diese Verfahrensstufe sind im Allgemeinen keine Änderungen erforderlich. Hierbei wird vorausgesetzt, dass bei funktionierendem Sandfangbetrieb keine Verlagerung des Sandes über den Klärschlamm in den Faulbehälter erfolgt. Die Funktionsfähigkeit des Öl-/Fettfangs ist ebenfalls sicherzustellen.

2.1.3 Vorklärung

Eine Vorklärung ist bei aeroben Stabilisierungsanlagen in der Regel nicht vorhanden. Sie bildet jedoch bei anaeroben Stabilisierungsanlagen einen wesentlichen Bestandteil der Verfahrenstechnik. Damit stellt sie im Rahmen der Umstellung von aerober auf anaerobe Stabilisierung eine **wichtige, meist neu zu errichtende Verfahrensstufe** dar. Daher wird diese Verfahrensstufe an dieser Stelle näher betrachtet. An dieser Stelle sei auch auf die Ausführungen bzgl. Energiesituation und Schlammengen in Modul 1, Kapitel 4 „Vergleichende Betrachtung von aeroben Stabilisierungsanlagen und Faulungsanlagen“ verwiesen.

Die Größe der bzw. die Aufenthaltsdauer in der Vorklärung ist entscheidend für die Menge an Primärschlamm, der als wichtiger Energieträger in die Faulung eingeht. Die Primärschlammmenge resultiert aus der Abnahme des CSB durch Passage der Vorklärung. Die Abnahme der CSB- und BSB₅-Fracht in der Vorklärung beträgt in Abhängigkeit von der Verweilzeit zwischen 10 und 30 % bezogen auf die Zulauf-fracht zur Kläranlage (vgl. Tabelle 1).

Maßgeblich für Planung und Betrieb von Vorklärbecken sind die nachfolgenden Dokumente.

Maßgebend für Vorklärbecken sind die folgenden Dokumente:

- Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131, "Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen", (ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung 2000)
- Arbeitsbericht ATV-DVWK, "Vorklärbecken in modernen Kläranlagen", (ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2003b)
- Merkblatt ATV-DVWK-M 368, "Biologische Stabilisierung von Klärschlamm", (ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall 2003a)

Aufgaben und Ziele

Die Vorklärung bietet im Wesentlichen folgende **Vorteile**:

- Bereitstellung von Primärschlamm zur Erzeugung von Faulgas und damit die Verbesserung der Energiebilanz einer Kläranlage

- Entlastung der Biologie durch Reduzierung der organischen Fracht (z. B. geringeres Belebungsvolumen, Reduzierung der Belüftungsenergie)

Bei Einsatz einer Vorklärung ist jedoch auch sicherzustellen, dass die Stickstoffelimination in der nachfolgenden biologischen Behandlungsstufe nicht negativ beeinflusst wird. Hierzu ist ein ausreichend hohes C/N-Verhältnis erforderlich, d. h. ein ausreichend hoher Anteil biologisch leicht abbaubarer organischer Substanzen (Kohlenstoffquelle) ist im Ablauf der Vorklärung vorzuhalten, um die Denitrifikation in der Belebung sicherzustellen.

Auswirkungen der Vorklärung auf unterschiedliche Parameter der Abwasserreinigung

Die Auswirkungen der Vorklärung sind für alle nachfolgenden Prozessschritte relevant. Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über Änderungen bzgl. relevanter Parameter bei unterschiedlichen Verweilzeiten in der Vorklärung im Vergleich zu einer aeroben Stabilisierungsanlage ohne Vorklärung bei 15°C Abwassertemperatur.

Für die weiteren Betrachtungen wird basierend auf dieser Tabelle eine Verweilzeit in der Vorklärung von 1 Stunde als Bezugsgröße angesetzt.

Tabelle 1: Vergleich der Auswirkungen unterschiedlicher Vorklärzeiten auf unterschiedliche Parameter des Behandlungsprozesses sowie den Energieertrag

1 A	B	C	D	E	F	G	H
2							
3	Aufenthaltszeit Vorklärung	[h]	ohne VK	0,5	1	2	Anmerkungen
4							Quelle
5	Zulauf Belebung	BSB5-Fracht	[g/(E*d)]	60	50	45	40
6		CSB-Fracht	[g/(E*d)]	120	100	90	80
7		TS-Fracht	[g/(E*d)]	70	40	35	25
8		TKN-Fracht	[g/(E*d)]	11	10	10	10
9		P-Fracht	[g/(E*d)]	1,8	1,6	1,6	1,6
10		C/N-Verhältnis	[-]	5,5	5	4,5	4
11		O2-Verbrauch für Abbau C-Verbindung	[g/(E*d)]	76	54	49	43
12							
13	Vorklärung - Primärschlamm	TR-Gehalt	[% TR]	2 bis 8	2 bis 8	2 bis 8	
14		TR-Fracht	[g/(E*d)]	30	35	40	
15		oTR/TR	[-]	0,67	0,67	0,67	
16		Volumen	[l/(E*d)]	1	1,2	1,4	
17		Eliminationsraten AFS	[%]	43	50	57	
18		Eliminationsraten BSB5	[%]	16,7	25	33,3	
19		Abnahme BSB5-Fracht	[g/(E*d)]	10	15	20	
20							
21							Beispielrechnung für Spalte F:
22		Faulgasanfall	[l/(E*d)]	10,5	12,3	14,0	"=F14*F15*F28/100*F29"
23		Faulgasanfall	[m³/(E*a)]	3,8	4,5	5,1	"=F22*365/1000"
24		Energieertrag aus PS	[kWh/(E*a)]	24,9	29,1	33,2	"=F30*F23"
25		elektr. Energie mittels BHKW	[kWh/(E*a)]	9,5	11,0	12,6	"=F24*F31"
26							
27		<i>weitere Annahmen</i>					
28		Abbaugrad Faulung	[%]	55	55	55	(Kapp, H. 1998)
29		Gasmenge PS je q oTR	[l]	0,95	0,95	0,95	(Kapp, H. 1998)
30		Heizwert Hu,n	[kWh/m³]	6,5	6,5	6,5	6-7 kWh/m³ Heizwert im Normzustand 0°C, 1013,25 mbar, trocken
31		ηel BHKW	[-]	0,38	0,38	0,38	
32							
33	Überschussschlamm	Schlammalter (bei 15°C)		25	15	15	15
34		TR-Gehalt	[% TR]	0,7	0,7	0,7	0,7
35		TR-Fracht	[g/(E*d)]	56,2	39,3	34,8	30,2
36		oTR/TR	[-]	<0,55	0,7	0,7	0,7
37		Volumen	[l/(E*d)]	8	5,6	5	4,3
38							
39		Faulgasanfall	[l/(E*d)]	<9,1	8,1	7,2	6,2
40		Faulgasanfall	[m³/(E*a)]	<3,3	3,0	2,6	2,3
41		Energieertrag aus ÜS	[kWh/(E*a)]	<21,6	19,2	17,0	14,7
42		elektr. Energie mittels BHKW	[kWh/(E*a)]	<8,2	7,3	6,5	5,6
43							
44		<i>weitere Annahmen</i>					
45		Abbaugrad Faulung	[%]	35	35	35	35
46		Gasmenge ÜS je q oTR	[l]	0,84	0,84	0,84	0,84
47		Heizwert Hu,n	[kWh/m³]	6,5	6,5	6,5	6,5
48		ηel BHKW	[-]	0,38	0,38	0,38	0,38
49							
50	Summe Energie	Faulgasanfall gesamt	[l/(E*d)]	<9,1	18,6	19,4	20,2
51		Faulgasanfall gesamt	[m³/(E*a)]	<3,3	6,8	7,1	7,4
52		Energieertrag aus ÜS	[kWh/(E*a)]	<21,6	44,1	46,1	48,0
53		elektr. Energie mittels BHKW	[kWh/(E*a)]	<8,2	16,8	17,5	18,2

Aus Tabelle 1 wird deutlich, dass durch einen Faulungsbetrieb mit entsprechender Vorklärung der Faulgasanteil erheblich gesteigert werden kann. So ist ein Faulgasmehrertrag von mehr als 100% im Vergleich zur Variante ohne Vorklärung möglich. Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass eine wirtschaftliche Faulung in den allermeisten Fällen die Integration einer Vorklärung erforderlich macht. Eine Erhöhung der Aufenthaltszeit über 0,5 h hinaus hat dabei jedoch nur einen begrenzten Einfluss auf den Gasmehrertrag.

Folgen einer Änderung des C/N-Verhältnisses

Die Vorklärung führt zu einer Verschiebung der Nährstoffverhältnisse im Rohabwasser. Dabei findet wie aus Tabelle 1 hervorgeht eine Reduktion aller Nährstoffe in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit im Vorklärbecken statt. Die Kohlenstoff-Reduktion ist dabei jedoch am größten (vgl. BSB₅- und CSB-Abnahme bis zu 30%). Die Reduktion der Nährstoffe Stickstoff und Phosphor liegt hingegen nur in einer Größenordnung von 10 %. Diese Änderung der Nährstoffverhältnisse kann Auswirkungen auf die nachfolgende

biologische Stufe der Abwasserreinigung haben. Dabei geht es im Wesentlichen um eine mögliche „Kohlenstoff-Mangel-Situation“ aufgrund weitgehender Vorklärung des Abwassers. Ein solcher Mangel kann auch andere Gründe haben, z. B. lange Aufenthaltszeiten im Kanalnetz, auf die aber an dieser Stelle nicht näher eingegangen wird.

Folgen eines Kohlenstoffmangels in der biologischen Stufe können sein:

- starke Entwicklung von fadenförmigen Bakterien mit Blähschlamm- und Schaumentwicklung
- unzureichende Denitrifikation und somit erhöhte Nitrat-Ablaufwerte

Folglich sind solche Mangelsituationen zu vermeiden bzw. entsprechende Gegenmaßnahmen zu ergreifen.

Im kommunalen Abwasser liegt das (molare) C:N:P-Verhältnis im Bereich von 100:20:5.

Im Rahmen der Denitrifikation werden leicht abbaubare Kohlenstoffverbindungen benötigt. Im kommunal vorgeklärten Abwasser beträgt das BSB_5 :N-Verhältnis im Allgemeinen 100:25 (=4) bei einer Verweilzeit in der Vorklärung von ca. 1,5 – 2 Stunden. Bei der Unterschreitung eines Wertes von 2,5 (=100:40) läuft die Denitrifikation nur noch eingeschränkt ab und es kommt zu erhöhten Nitratablaufwerten.

Als Gegenmaßnahmen kann eine Teilumgehung der Vorklärung bzw. eine Zudosierung von externen Kohlenstoffquellen vorgesehen werden. Die Zudosierung externer Kohlenstoffquellen führt jedoch zu einem zusätzlichen Kostenfaktor, die Umgehung der Vorklärung zu einer Minderung des für den Faulgas-ertrag relevanten Primärschlamm. Eine weitere Möglichkeit ist die Vergrößerung des Denitrifikationsvolumens unter Beibehaltung von ausreichendem Volumen für die Nitrifikation (Mindestschlammalter von 9 Tagen).

Aus diesem Grund ist es notwendig die Größe der Vorklärung in Abhängigkeit vom C (BSB_5):N-Verhältnis mit Augenmaß zu wählen, wobei das Augenmerk auf den leichtabbaubaren Kohlenstoffen (BSB_5) liegen muss.

Ein Mitbehandlung von Prozesswasser im Belebungsreaktor (vgl. Kapitel 2.4.4) führt zu einer weiteren Erhöhung des N-Anteils und somit zu einer ungünstigen Verschiebung des Nährstoffverhältnisses. Dieser Faktor ist entsprechend zu berücksichtigen (ggfls. separate Prozesswasserbehandlung, bzw. Prozesswassermanagement).

**Vorklärung = Optimierungsprozess
zwischen Gasmehrertrag durch Primärschlamm und stabiler Denitrifikation**

Zusammenfassung Mechanische Stufe

Der Schwerpunkt der Anpassung bzw. Ergänzung liegt im Bereich der Vorklärung. Diese Verfahrensstufe ist i. d. R. auf den betroffenen Anlagen nicht vorhanden und wäre daher im Falle einer Umstellung zu ergänzen. Sie spielt eine zentrale Rolle im Blick auf eine optimierte Faulgasausbeute. Mögliche Kohlenstoffmangelsituationen sind durch eine adäquate Planung auszuschließen um nachteilige Effekte in der nachgelagerten Prozesskette zu vermeiden.

2.2 Biologische Reinigungsstufe

Infolge einer Umstellung von aerober auf anearobe Schlammstabilisierung ergeben sich Konsequenzen und Änderungen für die Biologische Reinigungsstufe. Die relevanten Kenngrößen und Bereiche werden nachfolgend näher betrachtet.

2.2.1 Volumen - V_{BB}

Das einwohnerspezifische Belebungsbeckenvolumen, das bei der aeroben Schlammstabilisierung zwischen 300 und 400 l/EW liegt nimmt aufgrund eines deutlich verminderten erforderlichen Schlammalters deutlich ab. Es bewegt sich erfahrungsgemäß in einem Bereich zwischen 100 und 200 l/EW. Damit wird deutlich, dass bei einer Umstellung bis zu 50 (75) % des bisherigen Belebungsbeckenvolumens nicht mehr erforderlich sind.

Bild 1 verdeutlicht die Unterschiede des erforderlichen Belebungsbeckenvolumens von aerober Stabilisierung und Faulung. Das einwohnerspezifische Beckenvolumen liegt im betrachteten Fall bei 395 l/EW bzw. 170 l/EW. Es wurde eine Vorklärdauer von 1 h angenommen.

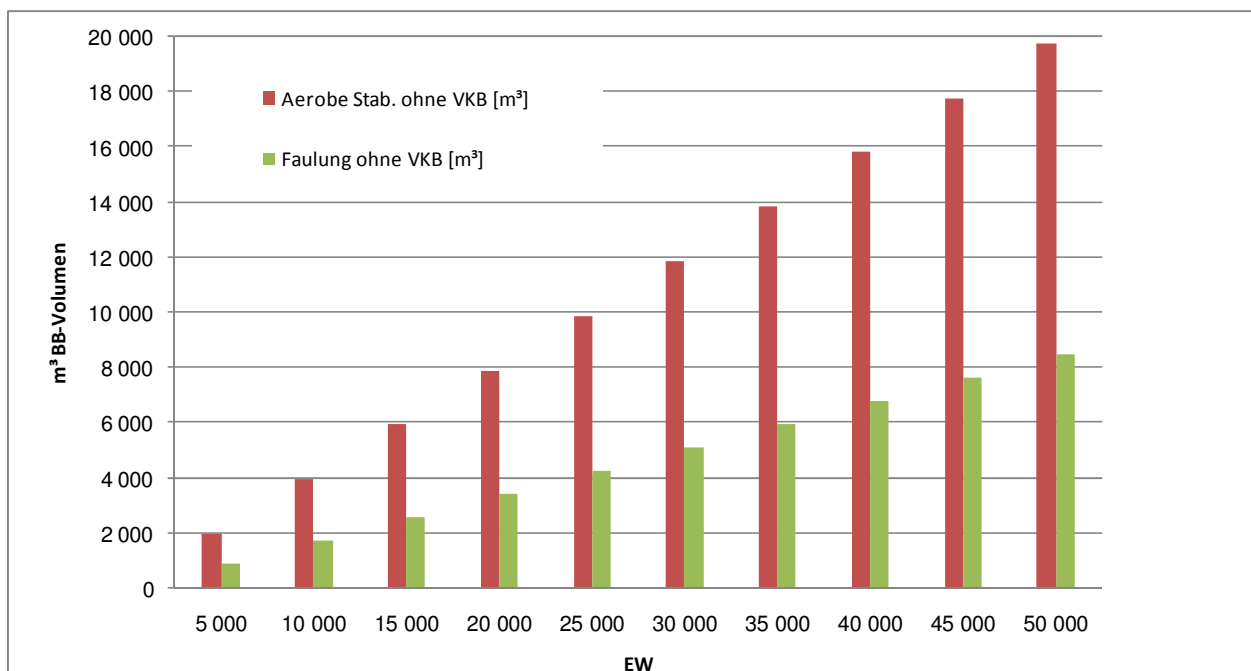


Bild 1: Erforderliches BB-Volumen bei aerober Stabilisierung im Vergleich zu Faulung

Für die aerobe Stabilisierung ergibt sich BB-Volumen zu: $y = 0,3948x - 2$

Für die Faulung ergibt sich das BB-Volumen zu: $y = 0,1697x + 4,1333$

mit $x = \text{EW} [-]$, $y = \text{BB-Volumen} [\text{m}^3]$

2.2.2 Schlammalter - t_{TS}

Das erforderliche Schlammalter ist abhängig vom Reinigungsziel und der Temperatur.

Das Bemessungsschlammalter bei aeroben Stabilisierungsanlagen mit Stickstoffelimination liegt bei mindestens 25 Tagen (ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung 2000). Aufgrund der bei einer Umstellung wegfallenden Funktion der Schlammstabilisierung im Belebungsbecken, reduziert sich das Schlammalter deutlich auf z. B. 10-15 Tage bei 15°C Abwassertemperatur. Das Schlammalter im Belebungsbecken ist für unterschiedliche SF-Werte (SF = Sicherheitsfaktor für Nitrifikation nach ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung 2000) in Bild 2 dargestellt. Den nachfolgenden Berechnungen liegt ein Schlammalter von 15 d zu Grunde.

In der Praxis werden Belebungsanlagen - sowohl mit als auch ohne Faulung - häufig mit einem zu hohen Gesamtschlammalter gefahren (Hansen et al. 2007).

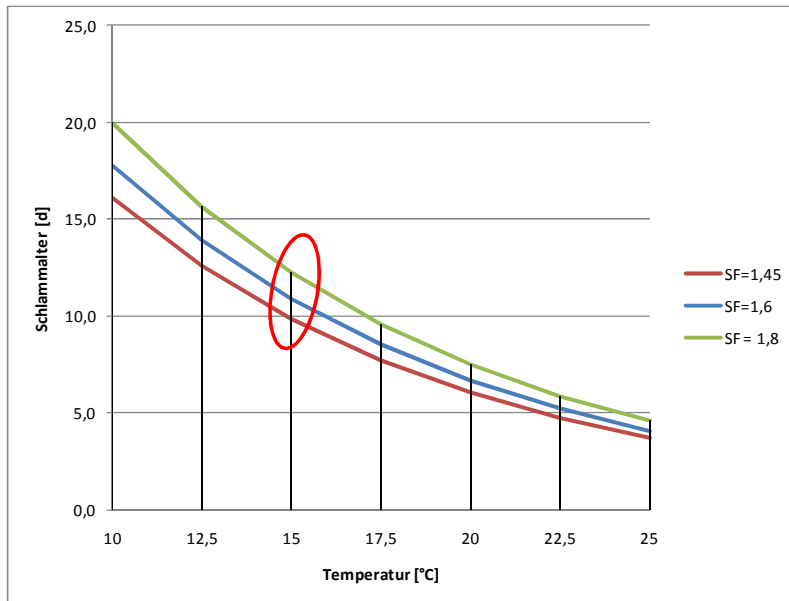


Bild 2: Erforderliches Schlammalter im Belebungsbecken nach (ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung 2000) bei $VD/V_{BB}=0,5$

Das Schlammalter sollte aus energetischen Gründen in einem optimalen Bereich gefahren werden: Die Absenkung des Schlammalters führt zu einem Anstieg des oTR-Gehaltes und damit zu einem potenziell energiereicheren Schlamm. Somit ist eine Belebungsanlage mit anaerober Schlammstabilisierung mit einem optimalen Schlammalter (je nach Temperaturverhältnissen zwischen 10 und 15 d) zu betreiben, um Energieverluste durch verminderten Gasertrag in der Faulung und zu hohen Sauerstoffeintrag in der Belebung zu vermeiden. Die Auswirkungen auf den Faulgasanfall sowie den erforderlichen Sauerstoffeintrag bei einer 1-stündigen Vorklärdauer (BSB_5 -Fracht im Zulauf zum BB = 45 g/(Ed)) und einer Abwassertemperatur von 15°C sind in der nachfolgenden Grafik exemplarisch dargestellt.

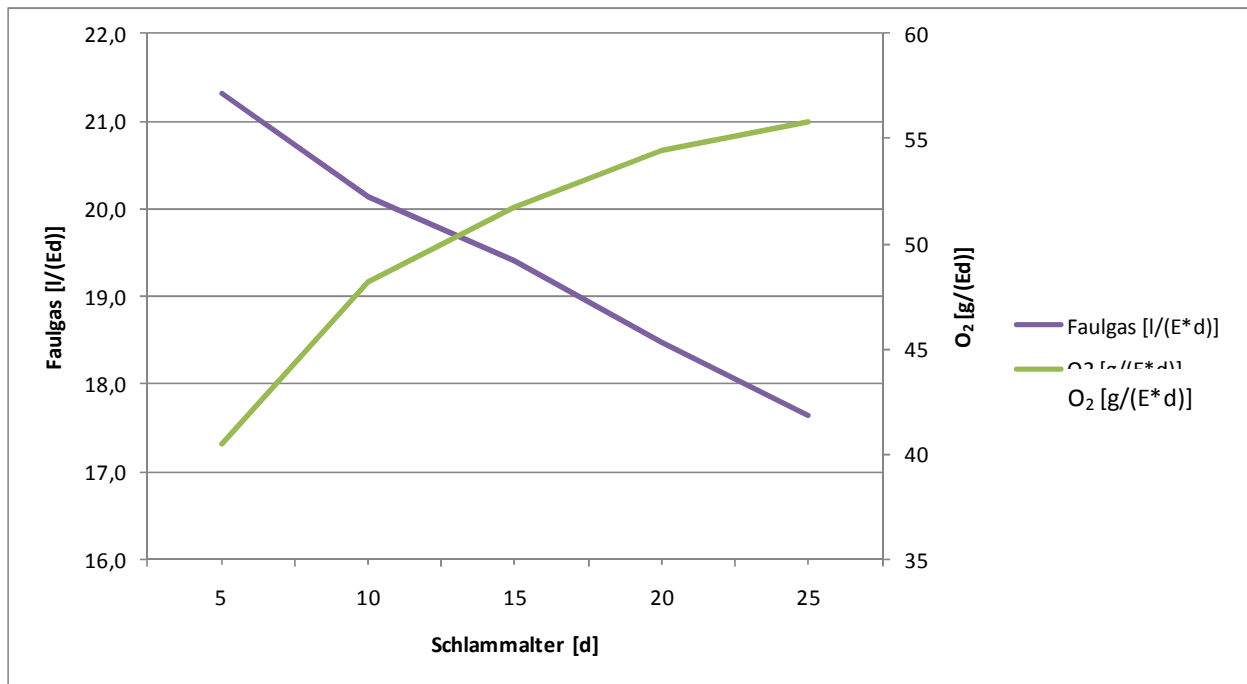


Bild 3: Auswirkungen des Schlammalters auf den Faulgasertrag und Sauerstoffeintrag bei 1h Vorklärdauer und 15°C Abwassertemperatur (vgl. ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung 2000 Tabelle 7)

Aus energetischer und somit auch wirtschaftlicher Sicht ist ein zu hohes Schlammalter bei anaeroben Stabilisierungsanlagen ungünstig. Aus nachfolgender Grafik geht hervor, dass die durch Faulgas erzeugte elektrische Energie den Energiebedarf für die Belüftung im Belebungsbecken mehr als decken kann. Grundlage für diese Berechnung bildet der in (Müller, Ernst A. et al. 1999) aufgeführte Energieaufwand von 0,71 kWh/kg O_2 bei flächendeckender Belüftung.

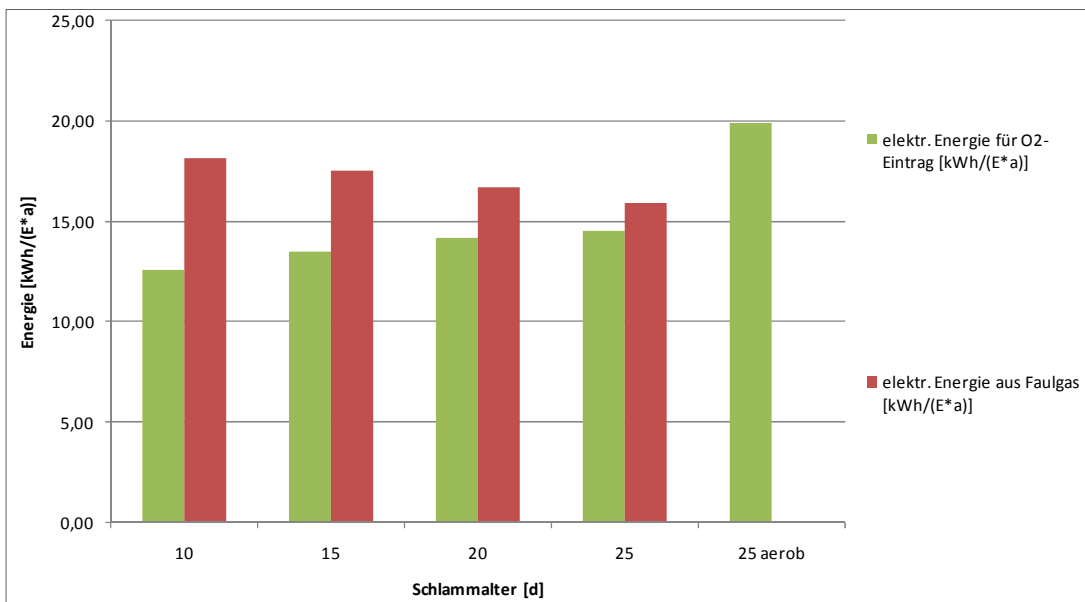


Bild 4: Auswirkungen des Schlammalters auf die energetische Bilanz bei Einsatz einer Faulung und eine Vorklärdauer von 1h, nach (ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung 2000), (Müller, Ernst A. et al. 1999)

2.2.3 Schlamm Trockensubstanz im Belebungsbecken - TS_{BB}

Die Schlamm Trockensubstanz (TS_{BB}) hat maßgebenden Einfluss auf die Geschwindigkeit des Reinigungsverlaufs, sofern ausreichend aktive organische Trockensubstanz vorhanden ist.

Aus betrieblichen Gründen sollte ein TS von 2 g/l nicht unterschritten werden, da sonst auch die Gefahr einer Verschlechterung des Absetzverhaltens des Schlammes in der Nachklärung besteht (Baumann, Roth 2008). Zu wenig Biomasse verhindert eine Schlammspiegelausbildung.

Auch nach der Umstellung auf Faulung ist der TS_{BB} in einem optimalen Bereich zu halten, um u. a. auch den Belüftungsenergiebedarf auf das notwendige Maß zu beschränken.

2.2.4 Belüftung

Die Absenkung des Schlammalters im Belebungsbecken führt zu einer Einsparung an Belüftungsenergie.

Dies geht auf die damit verbundene Reduktion der Biomasse im Reaktor und Teilmineralisierung der Biomasse zurück.

Einen Überblick über unterschiedliche spezifische Sauerstoffverbräuche in Abhängigkeit vom Schlammalter und der Temperatur gibt die nachfolgende Grafik.

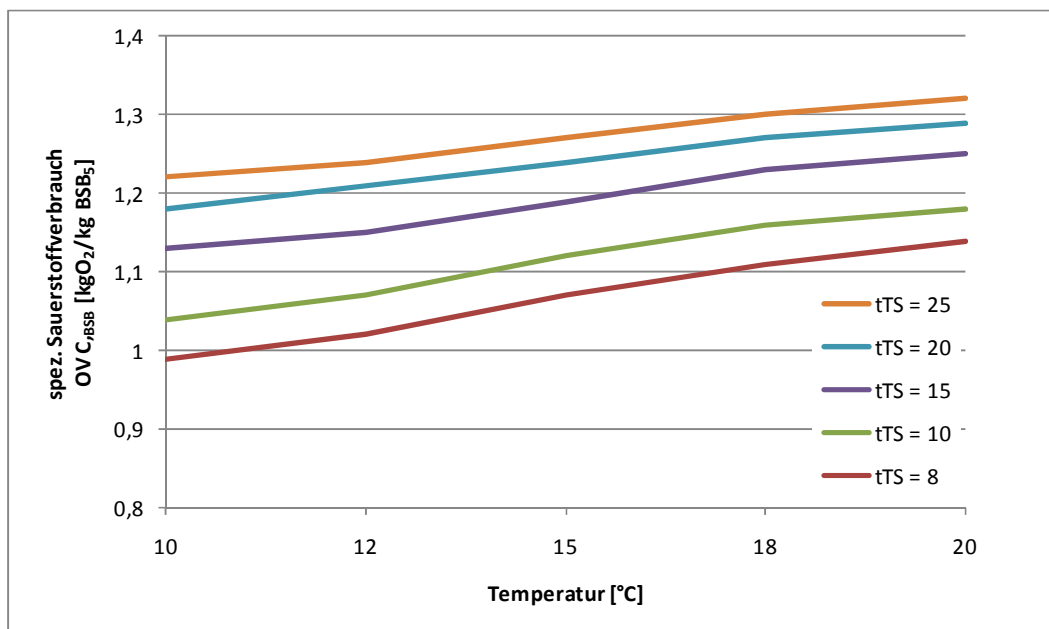


Bild 5: Sauerstoffverbrauch in Abhängigkeit von der Temperatur und des Schlammalters für $C_{CSB,ZB}/C_{BSB,ZB} \leq 2,2$

Zusammenfassung Biologische Stufe

Vorklärung und deutlich reduziertes Schlammalter führen zu einem verminderten Bedarf an Beckenvolumen. Das durch Umstellung auf Faulung noch erforderliche Beckenvolumen ist um ca. 50 % kleiner.

Das Schlammalter liegt statt bei 25 Tagen nur noch im Bereich zwischen 10 und 15 Tagen. Das optimierte Schlammalter spielt auch aus energetischer Sicht eine wichtige Rolle. Es beeinflusst sowohl den Energiegehalt des Schlammes (Gasertrag Faulung) als auch die erforderliche Belüftungsenergie.

Aus betrieblichen Gründen sollte ein TS von 2g/l nicht unterschritten werden.

2.3 Nachklärung

Die Umstellung auf Faulung führt zu einer deutlichen Reduzierung der Schlammengen (siehe Modul1).

Daraus ergeben sich die folgenden Einflussfaktoren für die Nachklärung:

- durch den Primärschlammabzug in der Vorklärung reduziert sich die stoffliche Belastung der Nachklärung,
- die hydraulische Entlastung durch den Primärschlamm-Abzug kann vernachlässigt werden
- der ISV ändert sich (vgl. Tabelle 2)
- bei Schwimmschlammproblemen werden diese i. d. R. geringer, weil die Wachstumsvorteile (geringe Nährstoffkonzentration) von z. B. Fadenförmigen Bakterien in der Belebungsstufe „beseitigt“ werden

Erfahrungen aus dem Projekt Zerberus (Schmitt, Hansen 2003) zeigen, dass Schwimm- und Blähschlammprobleme eng an die Schlammbelastung und somit auch an die Art der Betriebsweise gebunden sind: „Die Schlammbelastung ist einer der entscheidenden Faktoren für die Selektion oder Verdrängung einzelner Bakterienarten aus der Mischbiozönose. Nachdem Anfang der neunziger Jahre auf Kläranlagen mit mehr als 5.000 angeschlossenen Einwohnerwerten eine gezielte Nährstoffelimination gesetzlich gefordert wurde, war es erforderlich, die Schlammbelastung der Anlagen zu senken, um das für die Nitrifikanten erforderliche Schlammalter einzuhalten. Die Senkung der Schlammbelastung ging einher mit einer Abnahme der gramnegativen Bakterien aus Hochlastanlagen hin zu einem vermehrten Wachstum der grampositiven Bakterien aus Niedriglastanlagen. [...] Die meisten der aerob stabilisierenden Anlagen werden in einem niedrigen Schlammbelastungsbereich $BTS \leq 0,05 \text{ kg BSB}_5/(\text{kg TS} \cdot \text{d})$ betrieben. Jedoch ist auffallend, dass einige der auf aerobe Stabilisierung ausgelegten Anlagen in einem deutlich höheren Schlammbelastungsbereich gefahren werden. Einige Anlagenbetreiber versuchen, so die Selektionsbedingungen für die Niedriglastorganismen zu verschlechtern. Auf der anderen Seite ist erkennbar, dass viele der auf Schlammfäulung (und damit auf einen BTS von $0,15 \text{ kg BSB}_5/(\text{kg TS} \cdot \text{d})$) ausgelegten Anlagen in einem deutlich niedrigeren Schlammbelastungsbereich betrieben werden. Nur 4 der anaerob stabilisierenden Anlagen werden mit einer für diese Betriebsweise günstigen Schlammbelastung betrieben, bei 8 der Anlagen ist die Schlammbelastung z.T. extrem niedrig. Dieser Betriebsweise liegt in vielen Fällen, der (Irr-) Glaube zu Grunde, dass das Vorhalten einer großen Schlammmasse (und damit das Betreiben der Ablage mit einem hohen Trockensubstanzgehalt) die Stabilität der Anlage erhöht. Tatsächlich wird durch diese Betriebsweise jedoch das Wachstum der fadenförmigen Niedriglastbakterien gefördert, weiterhin reduziert sich durch die weitgehende Stabilisierung des Schlammes im Belebungsbecken die Gasausbeute im Faulbehälter und der erforderliche Sauerstoffeintrag in die Biologie wächst.“ (Schmitt, Hansen 2003)

Tabelle 2: Richtwerte für den Schlammindex nach (ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung 2000)

Reinigungsziel	ISV (l/kg), gewerblicher Einfluss	
	günstig	ungünstig
Ohne Nitrifikation	100 – 150	120 – 180
Nitrifikation (und Denitrifikation)	100 – 150	120 – 180
Schlammstabilisierung	75 - 120	100 – 150

Zusammenfassung Nachklärung

Schwimm- und Blähschlammprobleme verursachen i. b. bei gemeinsamer aerober Stabilisierung in der Nachklärung Probleme. Die Praxis zeigt, dass bei geringerem Schlammalter und Einsatz einer Faulung diese Symptome seltener auftreten.

Nachteile für die Nachklärung ergeben sich aus einer Umstellung auf Faulung nicht. Ein Umbau ist nicht erforderlich. Die Becken sind etwas überdimensioniert, was aber keine negativen Auswirkungen hat.

2.4 Schlammbehandlung**2.4.1 Primärschlamm - PS**

Durch Einsatz einer Vorklärung entsteht ein neuer Schlammaustragspfad innerhalb der Prozesskette. Der nun regelmäßig anfallende, sehr energiereiche Primärschlamm ist ein elementarer Inputstoff für die neu zu errichtende Schlammfaulung (vgl. u.a. Kapitel 5.1). In ihm sind zwischen 50 und 70% der Energie gebunden, die in Form von Klärgas nutzbar gemacht werden soll. Es ist, in Abhängigkeit der Vorklärdauer, mit einer Primärschlammfracht von 30 bis 40 gTR/(E*d) zu rechnen. Das oTR/TR-Verhältnis (Glühverlust) des PS liegt bei ca. 0,6 bis 0,7.

Eine Eindickung erfolgt in der Regel im Vorklärbecken selbst. Von dort gelangt der Primärschlamm über einen Rohschlammvorlagebehälter in den Faulbehälter.

2.4.2 Überschussschlamm - ÜSS

Die Überschussschlammproduktion nimmt im Vergleich zur aeroben Stabilisierung deutlich ab. Die Überschussschlammfracht beträgt nach der Umstellung noch ca. 30 bis 40 gTR/(E*d) im Vergleich zu ursprünglich ca. 55 gTR/(E*d) (vgl. Tabelle 1, Zeile 35). Aufgrund des verkürzten Schlammalters nimmt der organische Anteil im ÜSS jedoch zu (von ca. 0,55 auf 0,7). Nach einer maschinellen Eindickung gelangt der ÜSS über einen Rohschlammvorlagebehälter in den Faulbehälter.

2.4.3 Voreindickung

Die Voreindickung des Primärschlammes erfolgt in der Regel bereits in der Vorklärung. Der Überschussschlamm wird i. d. R. maschinell eingedickt.

Beide Schlammströme werden in einem Rohschlammbehälter gemischt und von dort der Faulung zugegeben.

Während bei der gemeinsamen aeroben Stabilisierung der Überschussschlamm in Stapelbehältern zwischengespeichert wird, ist bei Umstellung auf Faulung i. d. R. eine maschinelle Schlammvoreindickung nachzurüsten.

2.4.4 Rückbelastung aus der Schlammbehandlung

Durch die Umstellung auf einen Faulungsbetrieb ändert sich die Stickstofffracht des Prozesswassers erheblich. Der Klärprozess wird durch die Prozesswasserfrachten mit 15-25% bezogen auf die Frachten im Kläranlagenzulauf zusätzlich belastet (Grömping 2007). Nachfolgend wird ein Überblick über die Art sowie den Umfang der Rückbelastung durch das Prozesswasser gegeben.

Kohlenstoff-Rückbelastung

Der Rückbelastung durch Kohlenstoff kommt nur eine geringe Bedeutung zu. Der CSB des Prozesswassers aus der Schlammfaulung ist großteils inert. In (Grömping et al. 2000) wird auf eine Bilanzierung der relevanten CSB-Ströme auf einer Kläranlage des Wupperverbandes verwiesen, die bei anaerober Stabilisierung eine Mehrbelastung von 4 bis 5 mg/l CSB im Ablauf als Ergebnis aufweist. Dies entspricht ca. 10 % der Ablaufkonzentration.

Phosphor-Rückbelastung

Von nur geringer Bedeutung ist auch die P-Rückbelastung. Bei der chemisch-physikalischen Phosphor-elimination ist sie i. d. R. vernachlässigbar gering.

Im Falle einer Bio-P-Elimination erfolgt im Rahmen der Faulung im Faulbehälter eine P-Rücklösung. Jedoch erfolgt parallel eine erneute Fixierung durch chemisch-physikalische Prozesse wie Adsorption und Fällung.

Die P-Rückbelastung beträgt selten mehr als 5 % bezogen auf die Rohabwasserfracht.

Stickstoff-Rückbelastung

(Haber Kern et al. 2008):

Die entscheidende Stofffraktion bei der Rückbelastung aus der Eindickung und Entwässerung von Faulschlamm ist die Stickstofffracht. Sie liegt bei ca. 16 - 21 % des $\text{NH}_4\text{-N}_{\text{zu}}$. Im Mittel kann eine Rückbelastung von 18 % der Zulaufkraft (ca. $8 \text{ g NH}_4\text{-N} / (\text{EW} \cdot \text{d})$, d. h. $1,48 \text{ g NH}_4\text{-N} / (\text{EW} \cdot \text{d}) = 0,53 \text{ kg NH}_4\text{-N} / (\text{EW} \cdot \text{a})$) angenommen werden. Vergleiche dazu Bild 6 und Bild 7.

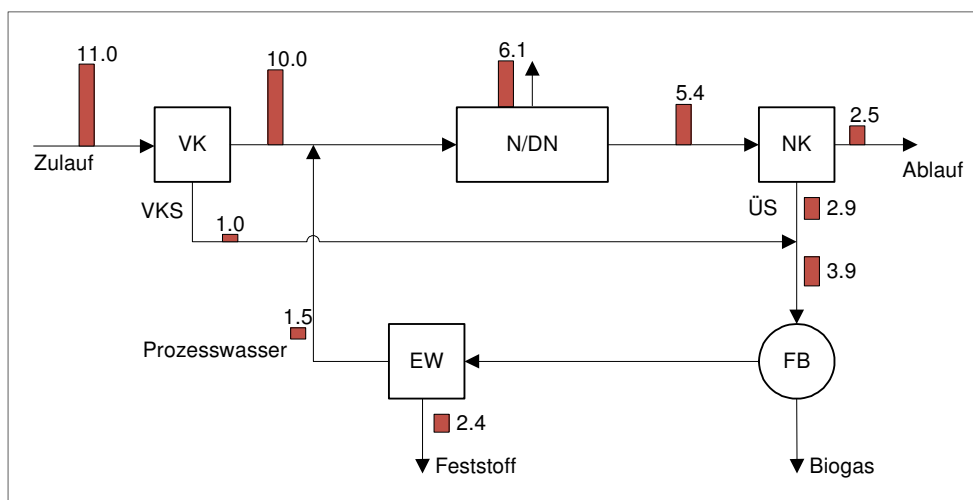


Bild 6: Exemplarische Stickstoffbilanz für eine kommunale Kläranlage in [g N/(E·d)] nach (Jardin et al. 2005). Mit VK: Vorklärung, NK: Nachklärung, FB: Faulbehälter, EW: Entwässerung

Parameter	Zulauf	Anteil Prozesswasserfracht am Zulauf
Volumen	100 %	1 %
CSB	100 %	10 %
$\text{NH}_4\text{-N}$	100 %	20 %
P	100 %	5 %

Bild 7: Vergleich der prozentualen Anteile der Prozesswasserströme / Frachten am Kläranlagenzulauf, nach (Cornel 1998)

Basierend auf den oben beschriebenen Frachtverhältnissen ist bei einer Umstellung diese zusätzliche Fracht zu berücksichtigen. In Abhängigkeit der Verhältnisse muss dann entschieden werden, ob eine Zwischenspeicherung oder möglicherweise sogar eine Behandlung der Prozesswässer erforderlich ist. Nähere Ausführungen zu dieser Thematik können u. a. den folgenden Quellen entnommen werden:

(Fimml 2010), (Jardin et al. 2005), (Schreff 2010). Mögliche Behandlungstechniken sind im Kapitel 5.3 aufgeführt.

2.4.5 Schlammmentwässerung

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass sich die ausgefaulten Schlämme im Vergleich zu den aerob stabilisierten Schlämmen im Allgemeinen besser maschinell entwässern lassen (vgl. Denkert 2007), können die zu verwertenden bzw. zu entsorgenden spezifischen Schlammengen wie folgt angegeben werden:

Tabelle 3: Entwässerte Schlammengen bei aerober und anaerober Stabilisierung

Stabilisierungsart	Reststofffracht	Entwässerung auf *)	Schlammmenge
	[g/EW/d]	[%]	[l/EW/d]
aerob	58,7	18 – 26 (i. M. 22)	0,267 l/EW/d
anaerob	49,8	24 – 30 (i. M. 27)	0,184 l/EW/d

*) *Betriebsergebnisse von Hochleistungs-Zentrifugen*

Demzufolge ergibt sich für die Faulung ein Schlammenvorteil von

$$1 - (0,184/0,267) = \text{rd. } 30 \%$$

der sich natürlich entsprechend auf die anfallenden Entsorgungskosten auswirkt.

Zusammenfassung Schlammbehandlung

Der in der Vorklärung anfallende Primärschlamm wird i. d. R. im Vorklärbeckentrichter voreingedickt. Der Überschussschlamm wird maschinell voreingedickt. Beide Schlammströme werden in einem Rohschlammbehälter gemischt und homogenisiert dem Faulbehälter zugegeben.

Insgesamt wird die Reststofffracht bei Einsatz einer Faulung reduziert. Des Weiteren wird die Entwässerbarkeit deutlich verbessert, so dass die zu verwertende bzw. zu entsorgende Klärschlammmenge um ca. 30 % abnimmt.

Der Thematik Prozess- bzw. Schlammwasser ist besonderer Aufmerksamkeit zu schenken. Bei Umstellung ist die zusätzliche Stickstofffracht zu berücksichtigen.

2.5 Zusammenfassung

Die nachfolgende Tabelle fasst die wesentlichen Unterschiede zwischen aerober Stabilisierung und Faulung bezogen auf die relevanten Verfahrensstufen zusammen. Dabei werden auch die Konsequenz aufgezeigt, die sich im Rahmen einer Umstellung auf einen Faulungsbetrieb ergeben. Diese Punkte werden im Rahmen dieses Berichts detaillierter betrachtet.

Tabelle 4: Unterschiede zwischen aerober Stabilisierung und Faulung

Verfahrensstufe bzw. Fließweg	aerobe Stabilisierung	Faulung	Konsequenz bei Umstellung
Mechanische Stufe			
Rechenanlage	Rechen	Feinrechen	Möglicherweise Nachrüstung
Sandfang	-	-	-
Vorklärung Aufenthaltszeit t_A	-	0,5-2,0 h	Vorklärung integrieren
Biologische Stufe			
V_{BB}	300-400	100-200 l/EW	Beckenvolumen wird frei; Möglichkeit der Umnutzung klären
t_{TS}	~25	10-15 d	reduziertes Schlammalter
TS_{BB}	~3-4	~3-4 kg/m ³	-
$B_{TS,BSB}$	≤ 0,05	≤ 0,15 kg BSB ₅ /kg TS/d	-
Belüftung für $C_{CSB,ZB}/C_{BSB,ZB} \leq 2,2$	1,22-1,32	1,04-1,25 kg O ₂ /kg BSB ₅	Sauerstoffverbrauch (Stromverbrauch) nimmt ab
Schlammbehandlung			
Primärschlammanfall PS	-	~35 - 40 g/(EW*d)	vgl. Vorklärung
oTS PS	-	~67 %	-
Überschussschlammanfall ÜSS	~55	~35 - 40 g/(EW*d)	Abnahme des ÜSS
oTS ÜSS	50-55	~70 %	Energiegehalt des ÜSS steigt
Voreindickung	ja (maschinell)	ja (in Vorklärung)	-
Faulbehälter	-	20-40 l/EW	Faulbehälter nachrüsten
Entwässerung	ja	ja	verbesserte Entwässerbarkeit
spez. Schlammmenge nach Entwässerung	0,267	0,184 l/EW/d	um ca. 30 % reduziertes Schlammvolumen
Gasertrag	-	400 - 500 l/kg oTR _{zu}	Gasspeicher erforderlich

Verfahrensstufe bzw. Fließweg	aerobe Stabilisierung	Faulung	Konsequenz bei Umstellung
Schlammbehandlung Fortsetzung			
Schlammwasserbelastung	keine nennenswerte Belastung, nur geringe Belastung durch Trübwässer aus Schlamm speichern	1 % an Zulaufvolumen	erhöhte Belastung des Schlammwassers, Auswirkung auf Reinigungsprozess beachten; ggf. Vorbehandlung erforderlich
		10 % an CSB-Zulaufkraft	
		20 % an NH4-Zulaufkraft	
		5 % an P-Zulaufkraft	
Sonstiges			
Personalkosten	niedriger	höher	erhöhter Personalaufwand
Betriebskosten	höher	niedriger	Verringerung der Betriebskosten
Energieeinsatz	hoch	niedriger	Verbesserung der Energiebilanz
Primärenergiebedarf	hoch	um ca. 55% reduziert	Verbesserung der betrieblichen Ökobilanz
Eigenstromversorgung	nein	ja	Erhöhung der energetischen Unabhängigkeit
Ablaufqualität	hoch	hoch	niedrigere Sicherheit gegen Stoßbelastungen

3 Beschreibung unterschiedlicher Bauformen von aeroben Stabilisierungsanlagen in Rheinland-Pfalz als Grundlage zur Ableitung von Umnutzungsszenarien

Im Rahmen dieses Kapitels werden die in Rheinland-Pfalz üblichen Bau- und Betriebsformen von Anlagen (z. B. volldurchmisches Rundbecken, Umlaufgraben, Kombibecken mit innenliegender Nachklärung) mit aerober Schlammstabilisierung beschrieben. Dabei wird der Schwerpunkt auf die Anlagen mit einem Anschlusswert zwischen 10.000 und 50.000 EW gelegt. Der Fokus der Weiternutzung im Rahmen einer Umstellung liegt auf den Belebungsbecken, da dort durch die Umstellung – aufgrund des deutlich reduzierten Schlammalters – entsprechende Beckenvolumina frei werden.

Die Beckenform sowie der Betriebsablauf spielen unter mehreren Gesichtspunkten eine wichtige Rolle:

Außerbetriebnahme von Becken: In der Umbauphase im Rahmen der Umstellung kann es phasenweise erforderlich sein Becken(teile) außer Betrieb zu nehmen. Dies gilt insbesondere, wenn diese einer anderen Nutzung zugeführt werden sollen. Trotz baulicher Anpassungen ist eine Aufrechterhaltung der Abwasserreinigung sicherzustellen.

Umnutzung von Becken: Frei werdendes Beckenvolumen kann möglicherweise einer anderen Nutzung zugeführt werden. Ob und wie dies möglich ist hängt stark von der Beckenform ab. So stellt sich eine Umnutzung von Rundbecken schwieriger dar als dies bei Rechteckbecken der Fall ist. Dies gilt z. B. für die Integration einer Vorklärung.

Die nachfolgenden Ausführungen bilden die Grundlage für die in Kapitel 4 vorgenommenen Nutzungsszenarien für freiwerdende Beckenvolumina.

3.1 Gängige Bauformen für aerobe Stabilisierungsanlagen

Nachfolgend werden die Belebungsbecken entsprechend ihrer hydraulischen und reaktionskinetischen Eigenschaften in

- Durchlaufanlagen,
- Batchreaktoren und
- Kombinationen/Sonderformen


unterteilt. Es werden der Vollständigkeit halber an dieser Stelle die theoretisch möglichen Beckenformen aufgeführt. Diese werden jeweils mit einem Anlagenbeispiel aus dem Untersuchungsraum – insofern vorhanden – versehen.

Die nachfolgend verwendeten Abkürzungen und Symbole stehen dabei für:

N - Nitrifikation

DN - Denitrifikation

NK - Nachklärung

 - Rührwerk

 - Belüftung

3.1.1 Durchlaufanlagen

Durchlaufanlagen sind dadurch gekennzeichnet, dass die unterschiedlichen Behandlungsschritte (Belüftung, Nachklärung) in räumlich voneinander getrennten Einheiten stattfinden, die nacheinander vom Abwasser durchlaufen werden. Innerhalb der Durchlaufanlagen gibt es für die Belüftungseinheit Anlagen, die als volldurchmisches Becken ausgebildet sind. Bei diesen Anlagen bleibt das Abwasser über einen bestimmten Zeitraum in der entsprechenden Einheit und wird wie in einem Kessel gerührt. Weiterhin werden unterschieden: längsdurchströmte Becken, Umlaufgräben und Schlaufenreaktoren.

Tabelle 5: Durchlaufanlagen - Rührkesselreaktoren

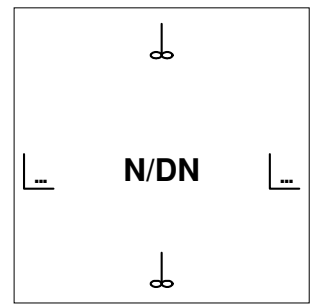
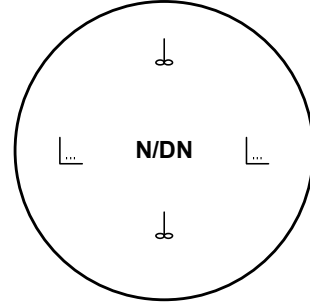
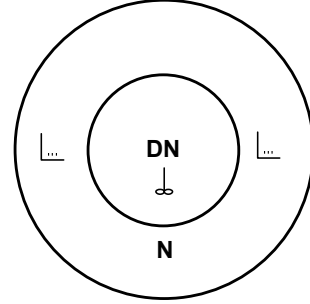
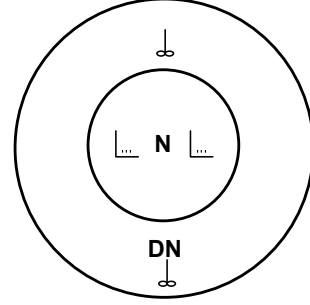
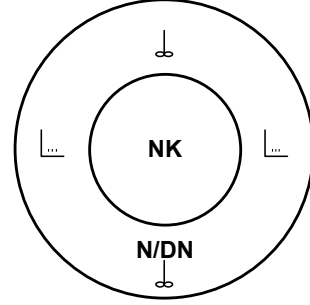
Rührkesselreaktoren	Beispielanlagen in Rheinland-Pfalz
	KA Bitburg St. Stahl, Ausbaugröße 7.100 EW
	GKA Kestert, Ausbaugröße 11.000 EW KA Höhr-Grenzhausen, Ausbaugröße 18.000 EW GKA Linz-Unkel, Ausbaugröße 28.000 EW
	KA Oberes Kyrbachtal, Ausbaugröße 28.000 EW
	KA Fischbach-Weierbach, Ausbaugröße 16.000 EW
	GKA Bruderbach, Ausbaugröße 11.000 EW

Tabelle 6: Durchlaufanlagen – Längsdurchströmte Becken

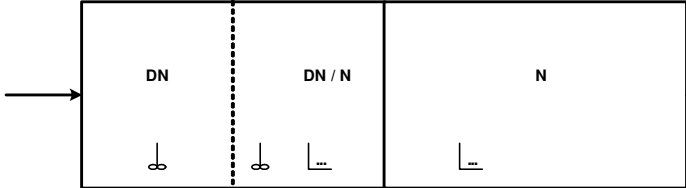
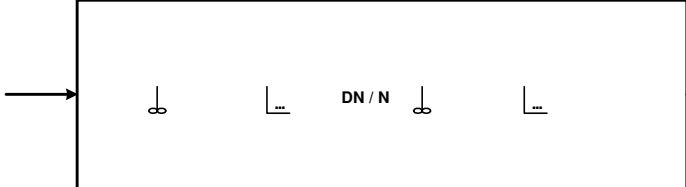
Längsdurchströmte Becken / Pfropfenströmung	Beispielanlagen in Rheinland-Pfalz
	<p>Die Kläranlage Hochstadt mit 10.000 EW wird längsdurchströmt betrieben, weicht aber von der skizzierten Form ab.</p>
	-

Tabelle 7: Durchlaufanlagen - Umlaufgraben

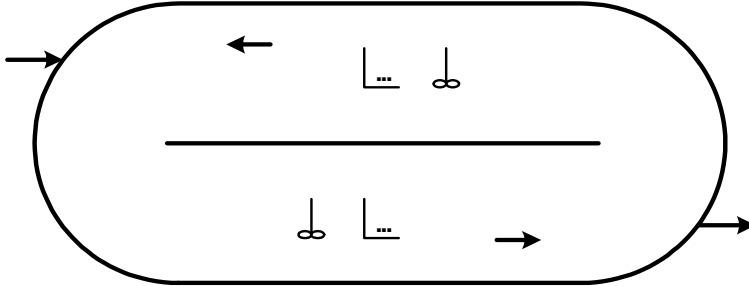
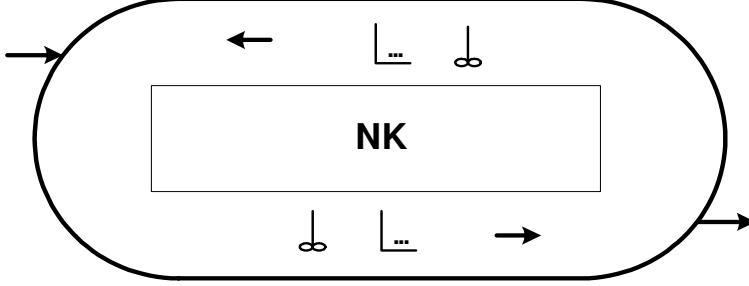
Umlaufgraben	Beispielanlagen in Rheinland-Pfalz
	KA Stromberg, Ausbaugröße 15.660 EW
	KA Elschbach, Ausbaugröße 12.000 EW

Tabelle 8: Durchlaufanlagen - Schlaufenreaktoren

Schlaufenreaktoren	Beispielanlagen in Rheinland-Pfalz
	-
	KA Bacharach, Ausbaugröße 18.000 EW KA Bellheim, Ausbaugröße 46.500 EW

3.1.2 Batch-Anlagen und sonstige Anlagen

Bei den Batch-Anlagen werden im Gegensatz zur Durchlaufanlage die Verfahrensschritte biologischer Abbau und Sedimentation in einer gemeinsamen Einheit realisiert. In Abhängigkeit verschiedener Parameter werden diese Prozesse entsprechend gesteuert und laufen in einem Becken ab (Füllen, Belüften-Rühren, Absetzen, Abziehen, Füllen, ...).

Tabelle 9: Batch-Anlagen – SBR-Anlagen

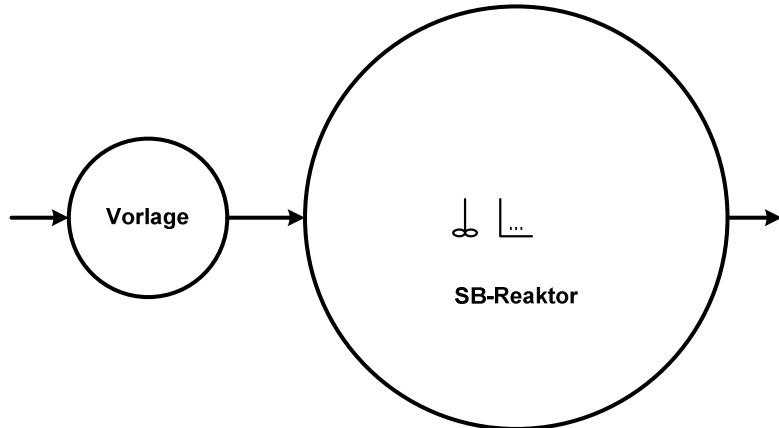
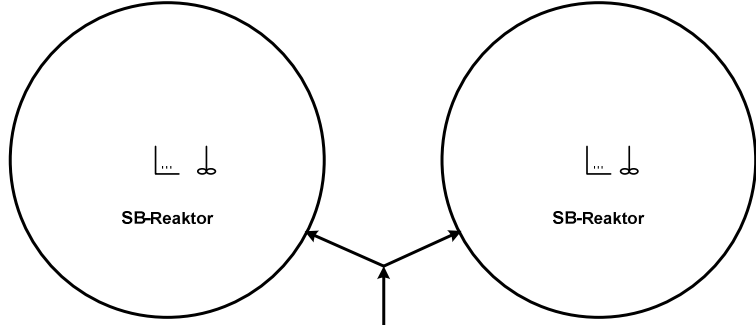

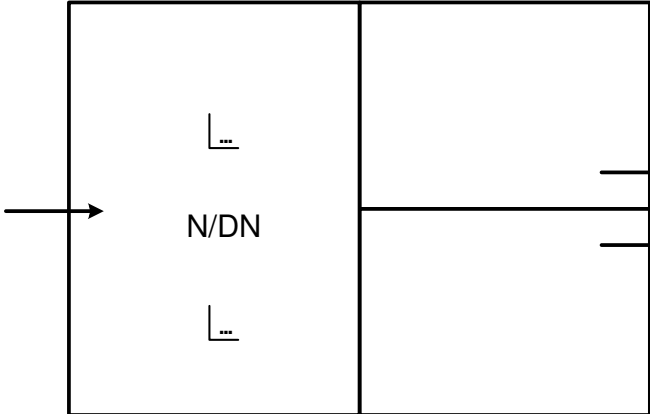
SBR-Anlagen	Beispielanlagen in Rheinland-Pfalz
	-
	-
	KA Heßheim, Ausbaugröße 31.000 EW

Tabelle 10: Sonderform – Biocos-Verfahren

Biocos	Beispielanlagen in Rheinland-Pfalz
	KA Lambrecht, Ausbaugröße 11.000 EW

3.2 Situation in Rheinland-Pfalz

Die aeroben Stabilisierungsanlagen mit einer für eine Umstellung relevanten Größenordnung von 10.000 bis 50.000 EW in Rheinland-Pfalz sind in Bezug auf die Bauformen des Belebungsbeckens näher betrachtet worden. Grundlage für diese Untersuchung bildet die Datenbankanwendung KAWBA-Wasserwirtschaft des LUWG Rheinland-Pfalz und die mit dieser verknüpften Geoinformationen (Luftbilder). Basierend auf der in der Datenbank hinterlegten Kläranlagenbeschreibung sowie der visuellen Luftbildauswertung wurde nachfolgende Auswertung erstellt.

Zu der genannten Größenordnung zählen in Rheinland-Pfalz insgesamt 82 Anlagen. 61 dieser Anlagen verfügen über Rundbecken. 11 Anlagen sind mit Rechteckbecken ausgestattet. Fünf Anlagen verfügen über Schlaufenreaktoren (SLR) und sieben Anlagen über Umlaufgräben (ULG). Jeweils eine Anlage wird mit dem Biocos-Verfahren bzw. mit dem SBR-Verfahren betrieben. Diese Zahlen sind zusammenfassend in Bild 8 dargestellt.

Abweichungen in der Gesamtsumme ergeben sich dadurch, dass einige Kläranlagen aus Kombinationen unterschiedlicher Beckenformen bestehen. Dadurch ergeben sich Doppelzählungen, die in der Summe der unterschiedlichen Anlagentypen zu einer größeren Gesamtsumme führen als die Aufsummierung der Einzelanlagen: Die Summe der Anlagen in Bild 8 beträgt 86, wohingegen die Anzahl der Anlagen nur 82 beträgt. Somit gibt es insgesamt 4 Doppelnennungen.

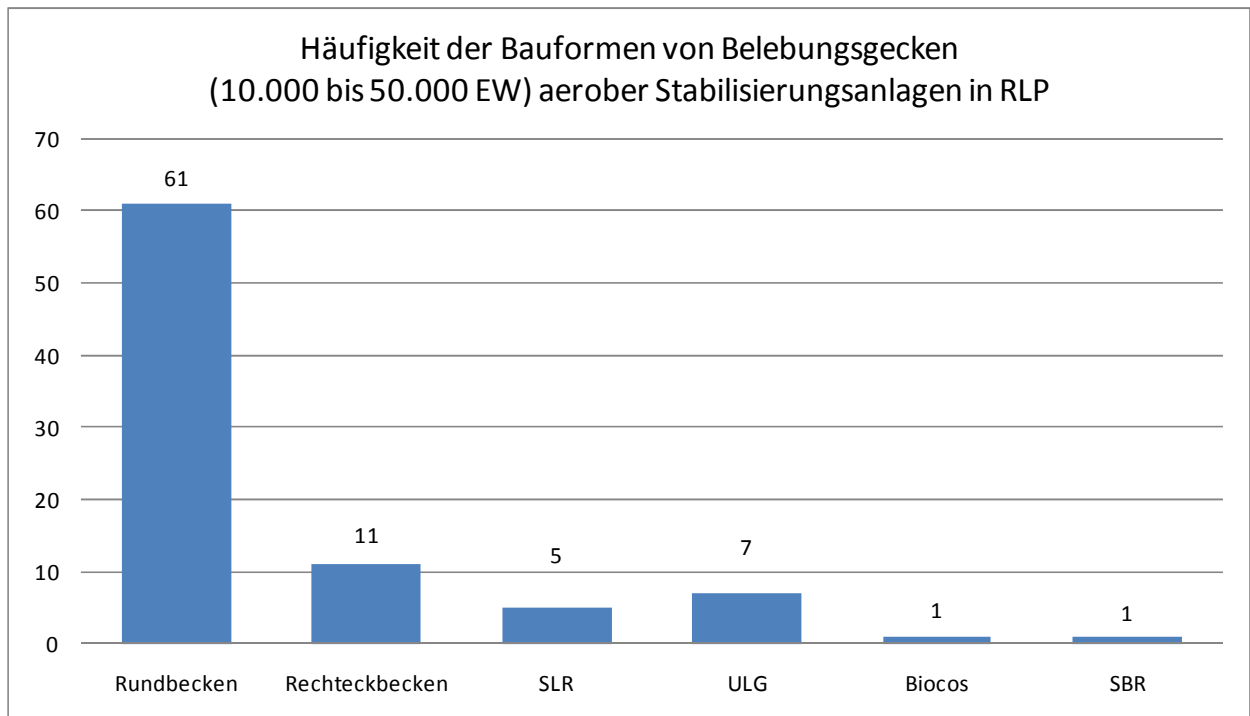


Bild 8: Bauformen von Belebungsbecken

Innerhalb der Gruppe der Rundbecken sind auf 34+4* Kläranlagen Kombibecken installiert wobei die überwiegende Mehrheit dieser Kombibecken – nämlich auf 35 Kläranlagen – mit einer innenliegenden Nachklärung ausgestattet ist (vgl. Bild 9). Auf 23+4* Anlagen sind einfache Rundbecken installiert.

*: Auf diesen 4 Anlagen sind sowohl Kombibecken als auch einfache Rundbecken in Betrieb.

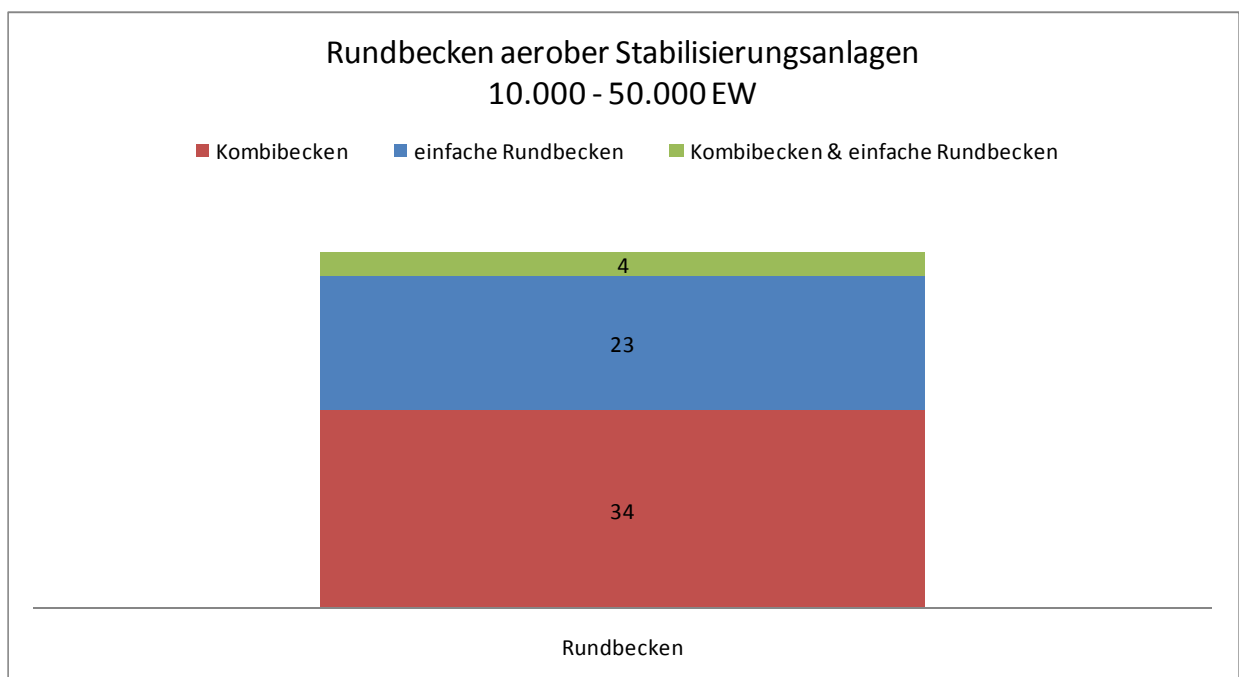


Bild 9: Aufteilung der Rundbecken in einfache Rundbecken und Kombibecken (ohne SBR)

Desweiteren wurde untersucht wie sich das Verhältnis der Rundbecken zur Summe von Rechteckbecken (REB), Umlaufgräben (ULG) und Schlaufenreaktoren (SLR) in Abhängigkeit der angeschlossenen EW darstellt. Es wird deutlich, dass für die kleineren EW-Bereiche (10.000 bis 20.000 EW) die Rundbecken

~3mal so häufig vorhanden sind. Mit zunehmender EW-Zahl relativiert sich dieses Verhältnis auf einen Wert von 2 bzw. 1,5 (vgl. dazu auch Bild 10).

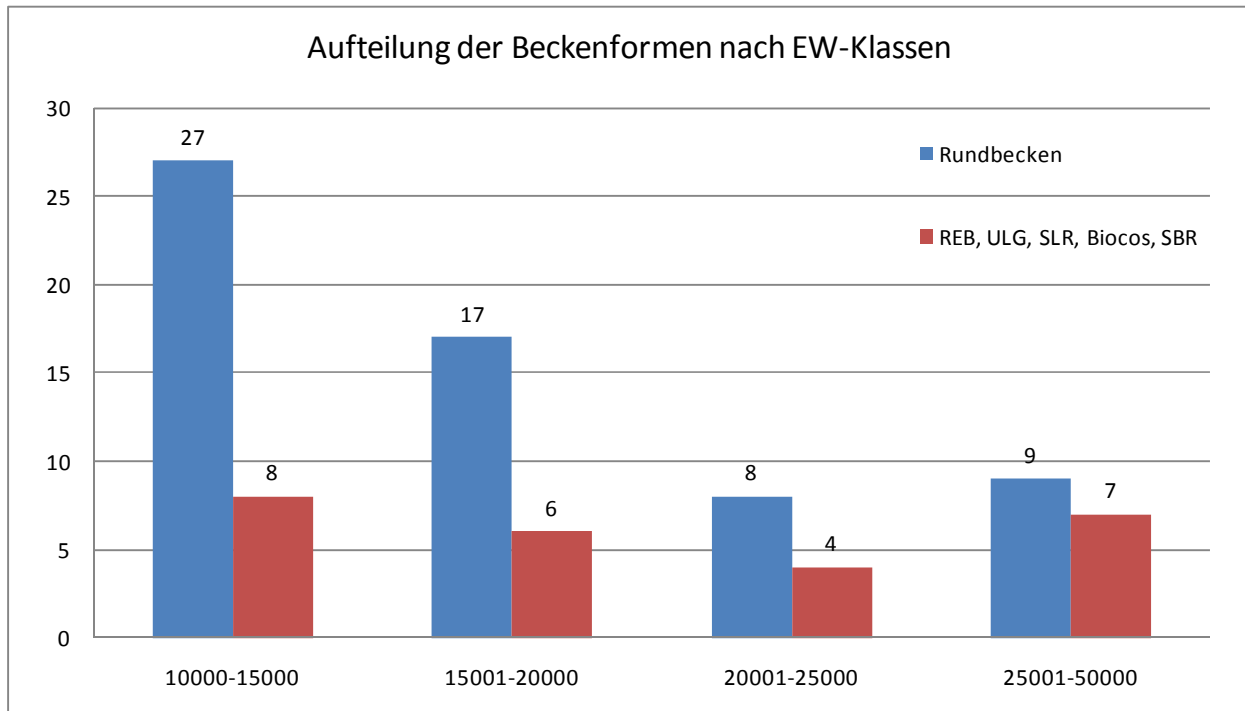


Bild 10: Aufteilung der Beckenformen nach EW

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die deutliche Mehrheit der für eine Umstellung in Frage kommenden Anlagen mit Rundbecken ausgestattet ist. Von diesen Rundbecken sind mehr als die Hälfte mit Kombibecken ausgestattet. Bei den übrigen Rundbecken handelt es sich um einfache Rundbecken bzw. um 4 Kläranlagen auf denen beide Beckenformen vertreten sind.

Dieses Ergebnis ist für die nachfolgenden Bearbeitungsschritte insbesondere im Hinblick auf eine mögliche Umnutzung von Beckenvolumen von Bedeutung.

Eine Tabelle mit der Auflistung der relevanten Anlagen sowie der hier aufgeführten Angaben befindet sich im Anhang (Kapitel 12) zu diesem Bericht.

Ein Großteil der betrachteten Anlagen in Rheinland-Pfalz wird mehrstraßig betrieben. Bei kleinen Anlagen zwischen 5.000 und 10.000 EW liegt der Anteil bei 25 %, bei den Anlagen zwischen 10.000 und 20.000 EW hingegen bei deutlich über 50 %.

Zusammenfassung Bauformen von Belebungsbecken

Ca. 75 % der betroffenen Kläranlagen werden mit Rundbecken betrieben. Erforderliche Anpassungen und Optimierungsmöglichkeiten sind im jeweiligen Fall individuell zu betrachten und in die Konzeption einer Umstellung auf Faulungsbetrieb zu integrieren.

4 Nutzungsszenarien für frei werdendes Beckenvolumen unter Berücksichtigung des fortlaufenden Betriebs während der Umbauphase

Bei Umstellung der Verfahrensführung von gemeinsamer aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung reduziert sich das benötigte Behandlungsvolumen in dem/den Belebungsbecken erheblich. Dies resultiert daraus, dass

- durch das Vorschalten eines Vorklärbeckens die Zulaufmengen zum Belebungsbecken (in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit im VKB) reduziert werden.
- das Schlammalter in der biologischen Anlagenstufe von > 25 d auf ca. 12 – 15 d (je nach Temperatur) verringert werden kann.

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Gegenüberstellung des benötigten Belebungsvolumens bei aerober Stabilisierung und Schlammfäulung.

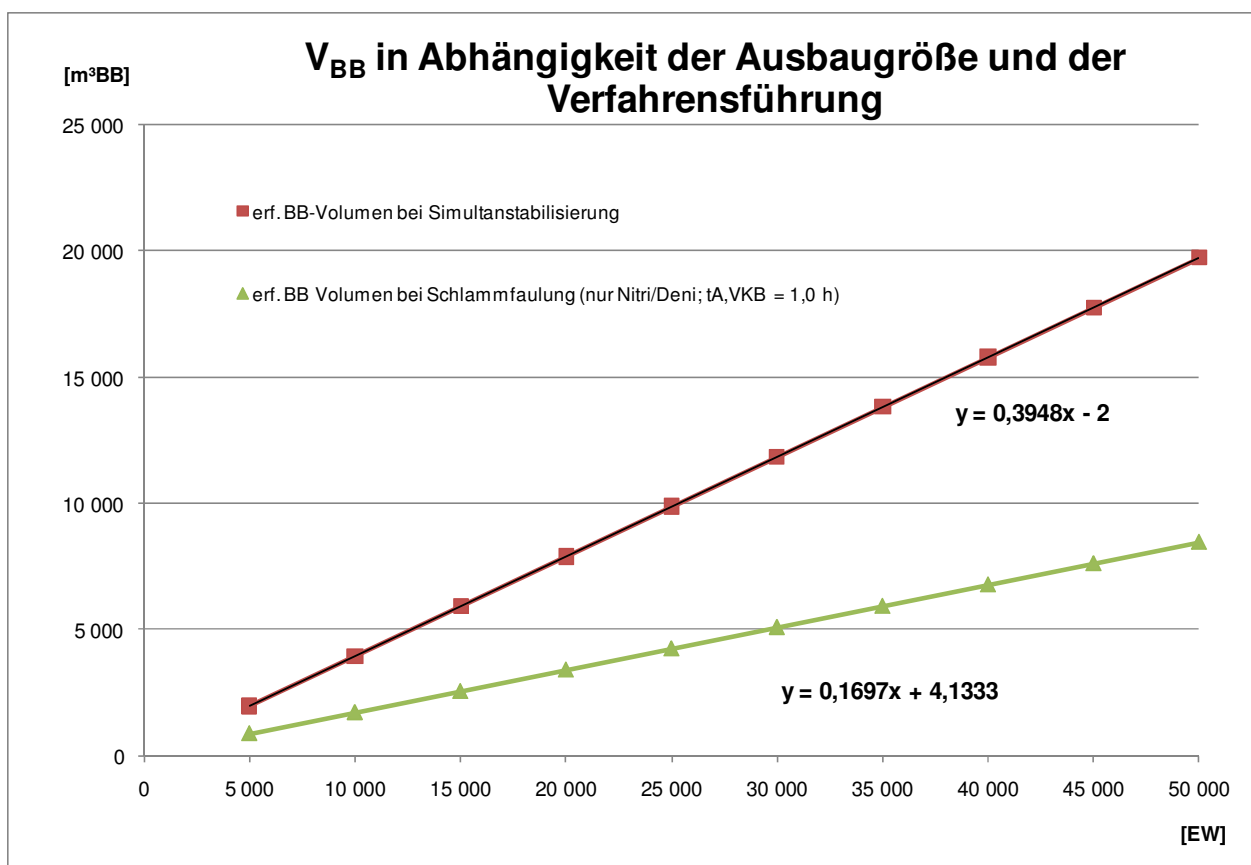


Bild 11: Gegenüberstellung des benötigten Belebungsvolumens bei aerober Stabilisierung und Fäulung

Demnach ergibt sich bereits bei einer kleinen Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 10.000 EW eine Volumeneinsparung von rd. 2.250 m³. Bei einer Ausbaugröße von 30.000 EW erhöht sich die Einsparung bereits auf mehr als 6.750 m³, woraus zwangsläufig die Frage resultiert, ob dieses frei werdende Beckenvolumen anderweitig genutzt werden kann. Diese Frage kann nicht pauschal beantwortet werden. Hierfür bedarf es jeweils einer Einzelfallprüfung, wobei folgende wesentliche Aspekte zu beachten sind:

- Lässt die vorhandene Bausubstanz und/oder die installierte Ausrüstung eine Weiternutzung überhaupt zu?
- Lässt sich das frei werdende Beckenvolumen sinnvoll in das verfahrenstechnische Anlagenkonzept einbinden?
- Hat die weitere Nutzung überhaupt finanzielle Vorteile gegenüber einem evtl. Neubau?
- Sind die erforderlichen Arbeiten für eine Umnutzung im laufenden Anlagenbetrieb möglich?

Die bisherigen Erfahrungen in diesem Bereich belegen, dass Umnutzungsmöglichkeiten zwar grundsätzlich gegeben sind, diese jedoch zumindest bei einstraßigen Belebungsanlagen i. d. R. daran scheitern, dass die notwendigen Arbeiten zur Abtrennung des nicht mehr benötigten Behandlungsvolumens im laufenden Anlagenbetrieb nicht, oder nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand realisierbar sind.

Eine Vielzahl der Anlagen in Rheinland-Pfalz im betrachteten Größenbereich verfügt jedoch über einen 2-straßigen Betrieb.

4.1 Rechteckbecken

Prinzipiell bieten dabei Belebungsbecken mit rechteckigem Grundriss Vorteile gegenüber Rundbecken.



Bild 12: Aufteilung von Rechteckbecken zur Weiternutzung als VKB

Die vorstehende Skizze (vgl. Bild 12) zeigt, dass durch den Einbau einer Trennwand (z. B. Doppel-T-Träger mit Fertigteil-elementausfachung) relativ einfach Volumen abgeteilt und durch das Einbringen von Profilbeton als Absetzraum (Vorklärbecken) genutzt werden kann.

Wie in Kapitel 3.2 dargelegt, verfügen jedoch lediglich 11 der insgesamt 82 in Frage kommenden Kläranlagen (10.000 - 50.000 EW) in Rheinland-Pfalz über Rechteckbecken, während die Rundbecken mit 61 Anlagen weitaus verbreiteter sind. Weitere Bauformen sind Schlaufenreaktoren (5) und Umlaufgräben (7).

4.2 Rundbecken

Bei einem Rundbecken stellt die Volumenabtrennung im laufenden Anlagenbetrieb aufgrund der hierfür deutlich ungünstigeren Bauwerksgeometrie eine fast unlösbare Aufgabe dar (vgl. Bild 13). Dies gilt auch aufgrund der Tatsache, dass die Belüftungs- und Umwälzeinrichtungen an die neuen Gegebenheiten anzupassen sind. Weiterhin ist die frei werdende Bauwerkskubatur (Halbkreis) nur sehr bedingt für eine Nutzung als Vorklärbecken geeignet.

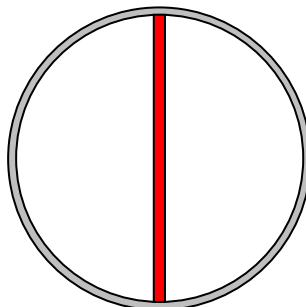


Bild 13: Möglichkeiten der Volumenabtrennung bei Rundbecken

Bei den Szenarien zur Nutzung des frei werdenden Beckenvolumens als Vorklärung ist zudem zu berücksichtigen, dass die durch die neue Anlagenstufe resultierenden hydraulischen Verluste in aller Regel nicht durch die Höhenanordnung der vorhandenen benachbarten Anlagenstufen (Sandfang und Belebungsbecken) aufgefangen werden können, so dass zusätzlich ein Zwischenhebewerk errichtet werden muss.

Einfacher gestaltet sich die Situation bei 2-straßigen Belebungsanlagen, bei denen eine Straße außer Betrieb genommen werden kann, während die zweite Straße auf die zukünftig geänderte Verfahrensführung umgebaut wird. Ein Beispiel hierfür bietet die KA Linz-Unkel, die zudem über ein vorgeschaltetes Anaerobbecken verfügt, welches sich für eine Umnutzung zu einem Vorklärbecken eignet (vgl. Bild 14).

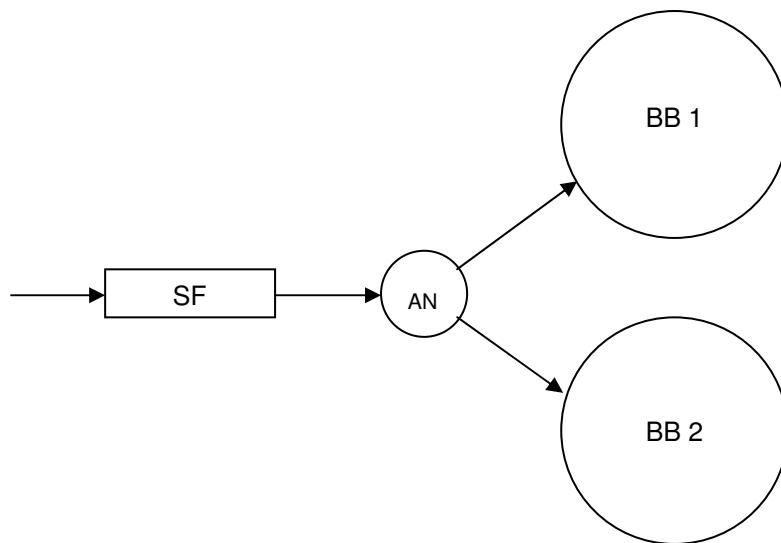


Bild 14: Beispielskizze für eine 2-straßige Belebungsanlage

Für die Verfahrensumstellung wurde das Belebungsbecken 2 temporär außer Betrieb genommen. Zur energetischen Optimierung wurde dieses Becken über eine Trennwand in Holzbauweise in 2 Beckenabschnitte unterteilt und mit großformatigen Plattenbelüftern ausgerüstet. Die flächige Bestückung mit Belüftern sowie die resultierende "pfropfenförmige" Durchströmung des Beckens erlauben zudem einen Verzicht auf zusätzliche Rührwerke zur Umwälzung und Durchmischung des Abwasser-Belebschlammgemisches.

Das bestehende, als Rundbecken mit flacher Sohle ausgebildete Anaerobbecken wurde in ein Vorklärbecken umgerüstet. Hierfür wurde die Beckensohle zentrisch profiliert und mit einem Schlammabzugstrichter versehen. Weiterhin wurden eine Überlaufrinne sowie ein Zentralrohrräumer eingebaut.

Zur Durchführung der Arbeiten im laufenden Anlagenbetrieb wurde zwischen Sandfang und Belebungsbecken 1 ein "Kurzschluss" mit einem sog. "Hamburger Heber" hergestellt. Hierdurch kann das Abwasser ohne energieaufwändigen Pumpenbetrieb betriebssicher übergeleitet werden. Nach Umrüstung wird Becken 1 stillgelegt bzw. als Reserve-/Havariebecken genutzt.

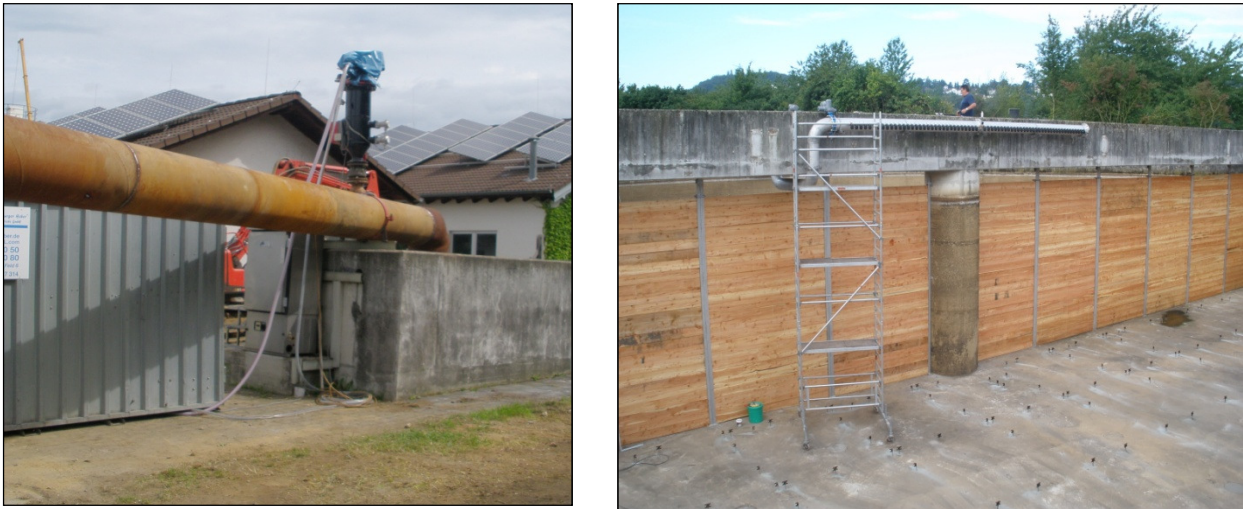


Bild 15: Heberleitung (links) und Trennwand (rechts)

Das Beispiel zeigt, dass aufgrund der günstigen Rahmenbedingungen auf der Kläranlage Linz-Unkel eine Umnutzung vorhandener Bausubstanz (Anaerobbecken in Vorklärbecken) zwar möglich ist, die Weiternutzung des nicht mehr benötigten Belebungsbeckens jedoch in Frage gestellt wird.

Prinzipiell besteht die Möglichkeit, ein solches Becken als sogenanntes Havariebecken zu nutzen. Auch eine Nutzung als Regenüberlaufbecken ist derzeit im Gespräch, wobei hierfür jedoch noch erhebliche bauliche Maßnahmen erforderlich wären (Stichworte: Auftriebssicherung, Temperaturlastfälle, Beckenreinigungseinrichtung, Überlaufschwelle, Zulaufleitung, Ablaufleitung usw.).

4.3 Kombibecken

Eine weitere, weit verbreitete Ausführung der biologischen Anlagenstufe ist das sogenannte Kombibecken mit außenliegendem Belebungsbeckenring und innenliegender, runder Nachklärung.

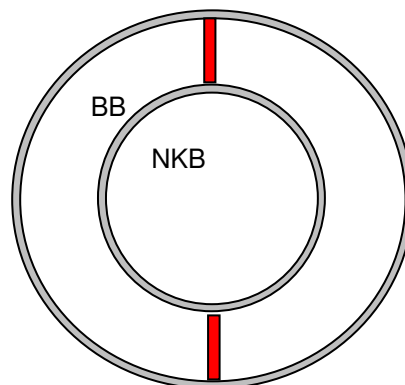


Bild 16: Abtrennungsmöglichkeiten bei Kombibecken

Bei dieser Beckenform lässt sich, analog zu den Rechteckbecken, zwar relativ einfach eine Abtrennung zur Verkleinerung des Belebungsvolumens vornehmen (vgl. Bild 16). Die Umnutzung des frei werdenden Beckenvolumens gestaltet sich hingegen deutlich schwieriger.

Anmerkung:

Durch ein Ausrüsterunternehmen aus dem Westerwald wird derzeit eine Räumereinrichtung für Teilringsegmente entwickelt. Inwiefern sich hieraus eine Nutzung als Vorklärbecken realisieren lässt, bleibt abzuwarten.

Zusammenfassung Nutzungsszenarien

Zusammenfassend ist zu sagen, dass für die Verfahrensumstellung sinnvollerweise eine Reduzierung des zu bewirtschaftenden Belebungsvolumens auf das notwendige Maß durchgeführt werden sollte. Idealerweise kann das frei werdende Beckenvolumen zur Errichtung einer Vorklärung genutzt werden. Dies ist jedoch erfahrungsgemäß eher selten der Fall, so dass in der Regel ein neues Vorklärbecken mit einem vorgeschalteten Zwischenhebewerk gebaut werden muss.

Einstraßig ausgeführte Kläranlagen mit Rundbecken bieten eher schlechte Voraussetzungen. Selbst eine mögliche Volumenreduzierung scheitert an der Notwendigkeit der auch in der Umbauphase einzuhaltenden Ablaufwerte, so dass bei diesen Anlagen lediglich eine Anpassung des Schlammalters über die Absenkung des Feststoffgehalts im Belebungsbecken erfolgen kann.

Da die Rahmenbedingungen auf jeder Kläranlage jedoch individuell verschieden sind, stellen die notwendigen Arbeiten zur Verfahrensumstellung sowie zur Weiternutzung nicht mehr benötigten Behandlungsvolumens (z. B. auch zur Zwischenspeicherung hochbelasteter Filtratwässer oder zur Annahme von Co-Substraten) planerische Herausforderungen an die Planer in jedem Einzelfall dar.

5 Entwicklung der Behandlungstechniken zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit

Bei der Umrüstung von gemeinsamer aerober Stabilisierung auf Faulung ist neben der sinnvollen Nutzung des frei werdenden Belebungsbeckenvolumens (siehe Kapitel 4) insbesondere die Fragestellung zu beantworten, wie Anlagen mit Faulung inkl. der erforderlichen Infrastruktur wie Faulbehälter, Gasspeicher, Gasverwertung, gegebenenfalls auch Prozesswasserbehandlung usw. im Bereich einer Ausbaugröße von 10.000 bis 50.000 EW kostengünstig, aber dennoch betriebssicher realisiert werden können.

5.1 Faulbehältergestaltung und -betrieb

Faulbehälter für kleinere Kläranlagen verlangen angepasste Technologien. Es ist beispielsweise nicht zielführend, einen strömungstechnisch günstig konzipierten Faulbehälter (Ei-Form) für eine Ausbaugröße von 100.000 EW auf eine Ausbaugröße von z. B. 30.000 EW "herunter zu brechen". Bei kleineren Anlagen sind andere Leistungsmerkmale gefordert.

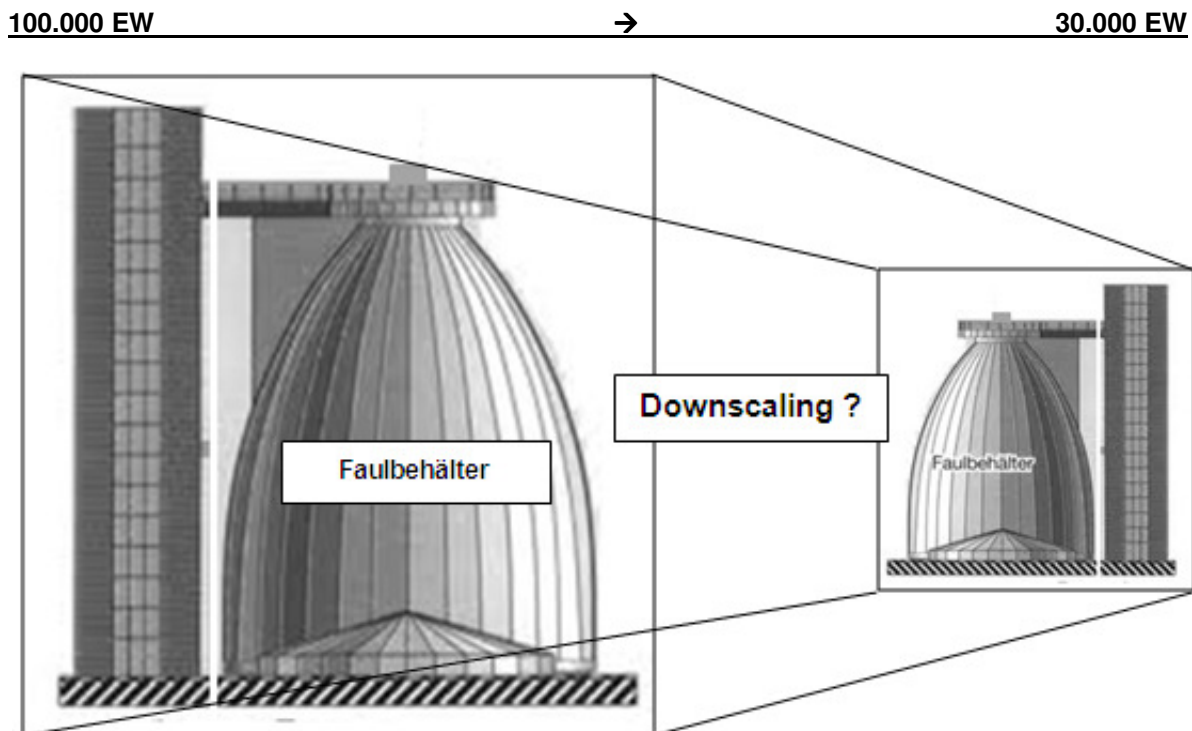


Bild 17: Downscaling Faulbehälter: Hier sind alternative und kostengünstige Konzepte erforderlich, ein einfaches Downscaling ist nicht zielführend

Die heute bestehenden Schlammfaulungsanlagen wurden in der Vergangenheit häufig sehr großzügig dimensioniert. Bei einem durchschnittlichen Volumen von knapp 50 l/EW und mit der Annahme eines spez. Schlammanfalls von 1,5 – 2 l/EW/d errechnet sich bei Vollausslastung bereits eine Faulzeit von im Mittel 20 bis 35 Tagen. Berücksichtigt man einen Auslastungsgrad von etwa 70 %, so ergeben sich oftmals mittlere Faulzeiten von 35 bis 45 Tagen.

Wie die nachfolgenden Abbildungen (Bild 18, Bild 19 und Bild 20) verdeutlichen, sind jedoch ab einer Aufenthaltszeit von 10 bis 15 Tagen im Faulbehälter keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich oTR-Abbau, Gehalt an org. Säuren und Gasproduktion mehr feststellbar.

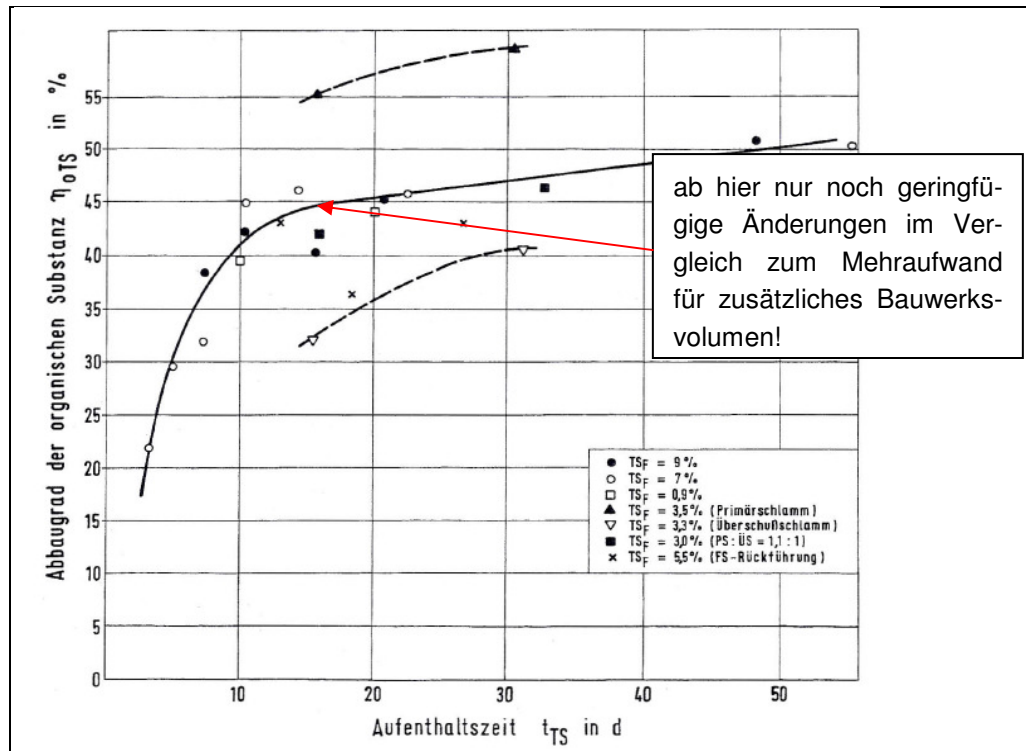


Bild 18: Abbaugrad der org. Substanz in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit (Roediger et al. 1990)

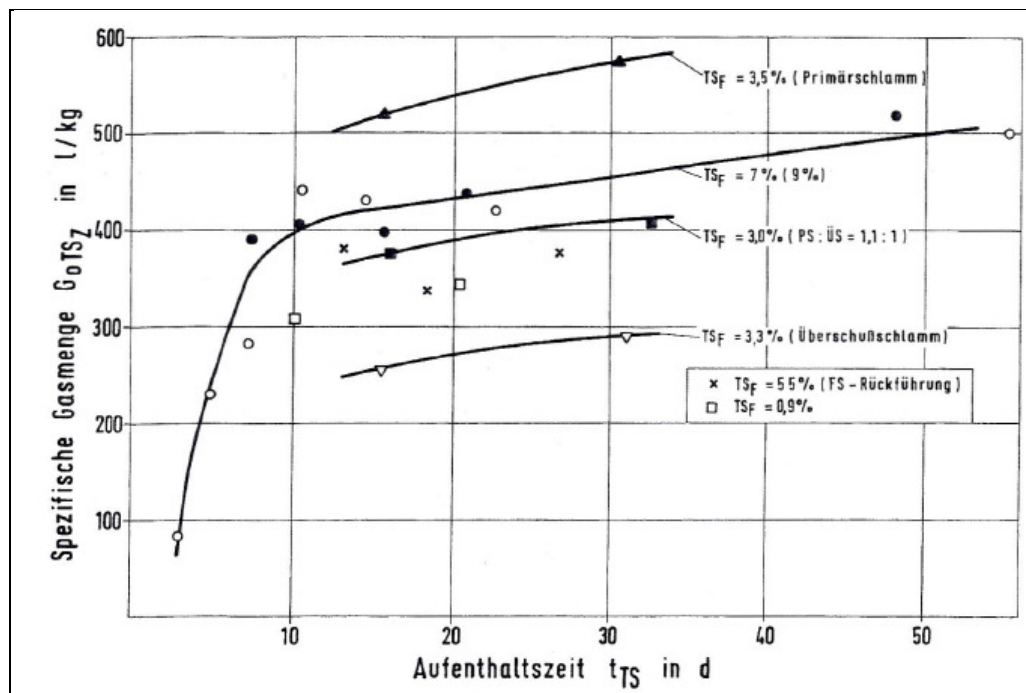


Bild 19: Gasproduktion in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit (Roediger et al. 1990)

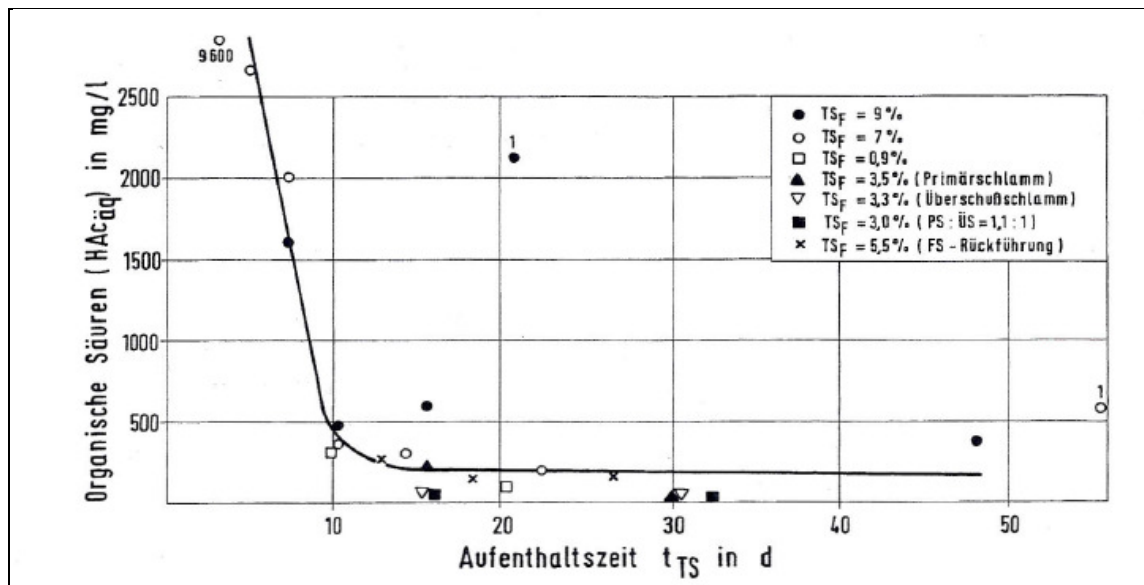


Bild 20: Gehalt an org. Säuren im Schlammwasser in Abhängigkeit der Aufenthaltszeit (Roediger et al. 1990)

Der Gehalt an niederen organischen Fettsäuren (Essigsäure, Propionsäure, Buttersäure, Valeriansäure) ist ein Maß für den Fortschritt des anaeroben Abbaus, weil sie die wichtigsten Zwischenprodukte darstellen (siehe Bild 20). Ein niedriger Säuregehalt deutet darauf hin, dass der Abbau der Säuren durch die Methanbakterien einen stabilen Faulprozess gewährleistet.

Als Schwellenwert kann eine Konzentration der Säuren im Faulwasser von kleiner 500 mg HAc_{aq}/l (gemessen als Essigsäureäquivalent) angesehen werden, der bei einem optimierten Prozess normalerweise bereits bei Aufenthaltszeiten von 10 Tagen unterschritten wird. Bei höheren Feststoffgehalten im Schlamm können auch etwas höhere Säuregehalte vorkommen, ohne dass dies eine schlechtere Ausfäulung bedeutet.

In Folge der in der Vergangenheit sehr großzügigen Dimensionierung der Faulungsanlagen wurde die sichere Ausfäulung und Stabilisierung des Schlammes praktisch immer gewährleistet. Abbaugrad und Gasentwicklung sind ohne zusätzliche Maßnahmen, wie z. B. Desintegration, im Allgemeinen nicht signifikant zu steigern. Das große Bauvolumen, die konventionelle Bauweise (Eiform; Zylinder-Kegel-Form) und die aufwändige Installation (Schwimmschlammtüre, Entnahmeeinrichtungen, Trübwasserrohre usw.) bilden in sich ein schlüssiges Konzept mit zusätzlichen Zielsetzungen, die heute nicht mehr relevant sind:

- Der konisch zulaufende Behälterkopf diente zur Minimierung der Schlammoberfläche im Hinblick auf ein einfacheres Entfernen von Schwimmschlamm. Aufgrund der heutigen Feinrechenanlagen im Kläranlagenzulauf ist die Gefahr der Schwimmdeckenbildung jedoch deutlich reduziert.
- Im Faulbehälter wurde gleichzeitig auch das Verfahrensziel der Schlammeindickung verfolgt, was durch die trichterförmige Ausbildung des Bodens begünstigt wird. Diese Zielsetzung ist jedoch aus verfahrenstechnischen Gründen überholt, da nur der volldurchmischte Reaktor hohe Stoffumsatzraten gewährleistet.

Aufgrund dieser aufwändigen Bauweise wird die Schlammfäulung oftmals als zu teuer erachtet.

Umfangreiche Untersuchungen haben jedoch ergeben, dass selbst bei einer nachgeschalteten thermischen Verwertung die Einbindung einer Fäulung wirtschaftlich sinnvoll ist. Aufgrund bereits dargestellter Vorteile (weniger Stromverbrauch, geringere Schlammmengen usw.) müssten ab einer bestimmten Ausbaugröße prinzipiell alle Kläranlagen mit einer Fäulung zur Erzeugung wertvollen Biogases ausgerüstet werden. Bei kleinen und mittleren Anlagen scheitert diese Verfahrenswahl oftmals an den hohen Investitionskosten für die Errichtung baulich aufwändig gestalteter Faulturmanlagen mit den dazugehörigen Peripherieanlagen für Gasspeicherung und -verwertung.

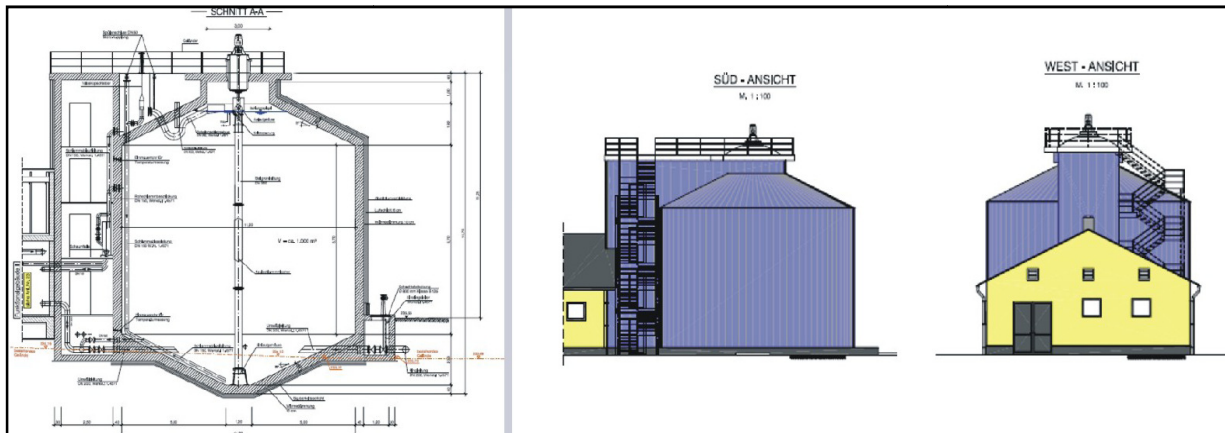


Bild 21: Konventionelle Form eines Faulbehälters

Hier sind **innovative Lösungsansätze** gefordert, die eine deutliche Reduzierung der Investitionskosten bei gleichbleibender Betriebssicherheit gewährleisten.

Auf die Ausführung mit einfachen zylindrischen, oberirdisch aufgestellten Faulbehältern mit ebener Sohle und ebenem Dach wurde bereits 1995 hingewiesen (Meyer, Biebersdorf 1995).

In dem nachfolgenden Bild 22 ist ein solcher Faulbehälter dargestellt. Das Volumen von $V = 900 \text{ m}^3$ entspricht in etwa einer Ausbaugröße von 30.000 EW.

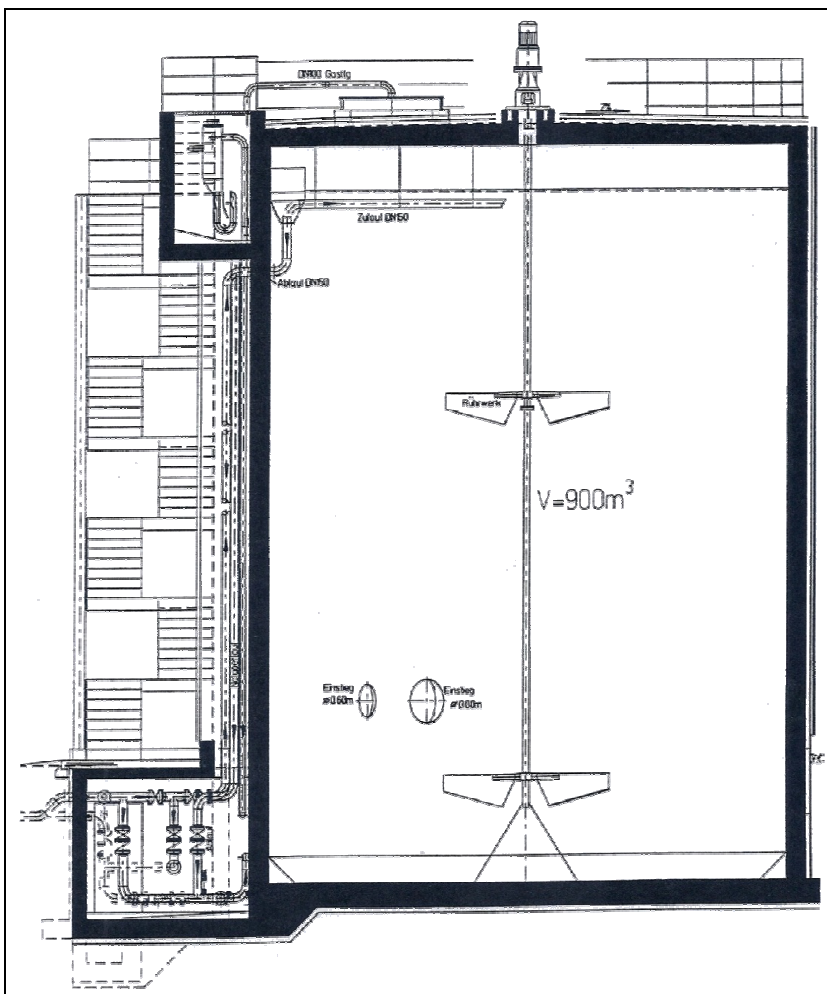
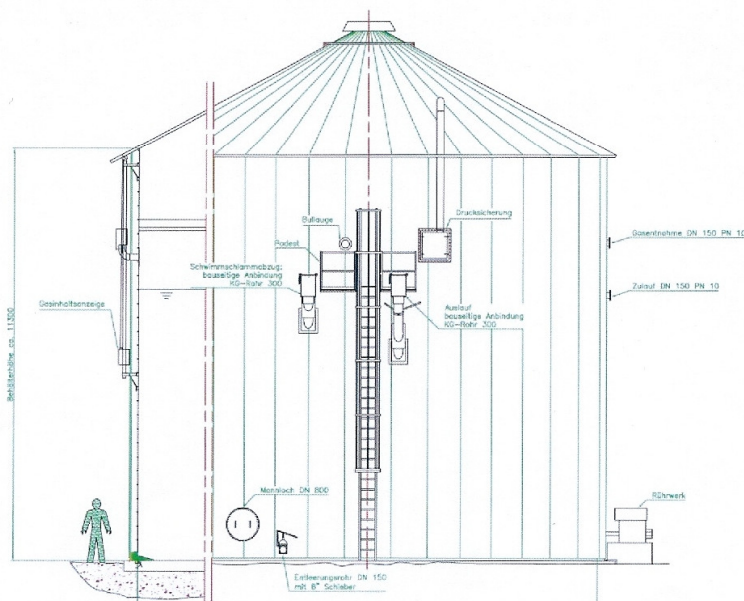


Bild 22: Zylindrischer, beheizter Faulbehälter (Biebersdorf, Schröder 2008)

Auf Basis entsprechender Ausschreibungsergebnisse geht er dabei von erreichbaren Investitionskosten von 850,00 €/m³FB, brutto, inkl. 20 % Baunebenkosten aus.

Bei kleineren Kläranlagenausbaugrößen (ca. 10.000 EW) bieten sich im Vergleich zur klassischen Betonbauweise Stahlbehälter in Leichtbauweise als Alternative an.

Die Investitionskosten dieser Anlagen mit einem Faulbehältervolumen > 300 m³ und einem Gasspeicher > 150 m³ liegen deutlich unter dem Preisniveau der aufgelösten Anlage in herkömmlicher Bauart (siehe nachfolgende Abbildungen).



KomBio-Reaktor

Bild 23: Faulbehälter mit integriertem Gasraum in Stahlbauweise mit BHKW in Containeraufstellung (Bilddokumentation: Fa. Lipp GmbH, Tannhausen)

Weiterhin werden am Markt derzeit Systeme angeboten, die, ähnlich der Ausführung landwirtschaftlicher Biogasanlagen, eine Kombination von Faulbehälter mit integriertem Gasspeicher vorsehen.

Setzt man voraus, dass auch mit diesen einfacheren Anlagensystemen das Verfahrensziel realisiert werden kann, stellt sich dennoch die Frage der langfristigen Betriebssicherheit dieser Systeme. Gerade der Einsatz auf kleineren Kläranlagen erfordert eine hohe Betriebssicherheit, die nicht rein wirtschaftlichen Aspekten untergeordnet werden darf.

Wiederholte Störfälle und Mängelfeststellungen bei **landwirtschaftlichen** Biogasanlagen verdeutlichen nochmals die Gefahr einer fehlerhaften Planung und/oder eines unsachgemäßen Betriebs, i. d. R. aus wirtschaftlichen Zwängen. Dies ist auf Kläranlagen unbedingt zu vermeiden. Es ist ein Sicherheitsstandard zu wählen, der im DWA-Merkblatt M 212 "Technische Ausrüstung von Faulgasanlagen auf Kläranlagen" beschrieben ist.

Im Besonderen Maße ist der Brand- und Explosionsschutz zu berücksichtigen. Qualifizierte Fachkräfte sind hinzuzuziehen, um bereits im Vorfeld der Planung ein abgestimmtes Brand- und Explosionsschutzkonzept zu erstellen. Weitere Informationen hierzu enthält der Arbeitsbericht der DWA-Arbeitsgruppe KA-11-4 "Erstellen von Explosionsschutzdokumenten für abwassertechnische Anlagen".

Desweiteren ist der sichere Zustand der gesamten Faulgasanlage incl. Gasspeicherung vor Inbetriebnahme, nach wesentlicher Änderung sowie wiederkehrend durch befähigte Personen zu prüfen. Ergänzend wird auf das DWA-Merkblatt M 376 "Sicherheitsregeln für Biogasbehälter mit Membrandichtung" verwiesen.

Auf Basis grundsätzlicher Überlegungen sowie in enger Abstimmung mit dem Umweltministerium Rheinland-Pfalz wurde seitens der Ingenieurgesellschaft Dr. Siekmann + Partner mbH eine innovative Anlagentechnik entwickelt. Mittelpunkt dieser Konzeption stellt eine 2-straßige Ausführung der Faulbehälteranlage dar, so dass auch bei vorübergehender Außerbetriebnahme eines Behälters eine zumindest weitgehende Schlammstabilisierung realisierbar ist. Die folgenden Optimierungsansätze wurden hierbei berücksichtigt:

- einfache Bauwerkskubatur
- kompakte Anordnung
- Durchmischung mit kostengünstigen Zentralrührwerken
- Aufteilung des Gesamtvolumens auf mehrere Reaktoren zur Nutzung der verfahrenstechnischen Vorteile der mehrstufigen Abbaukinetik

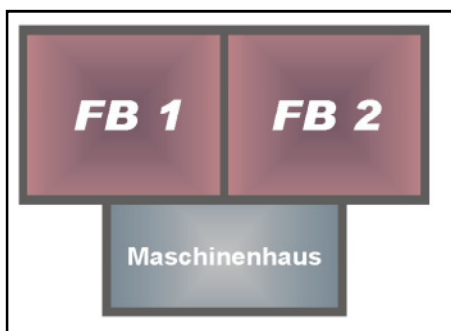


Bild 24: Kompakte Bauwerkseinheiten und einfache Bauweise von Faulbehälter und Maschinenhaus

Die relativ einfache Bauweise der quaderförmigen Faulbehälter ergibt kompakte Bauwerkseinheiten, die durch den direkten Anbau eines Maschinenhauses zur Aufstellung der Peripherieaggregate (Heizschlammumwälzpumpen, Wärmetauscher, BHKW usw.) weiter optimiert werden.

Die nachfolgende Abbildung zeigt die im Bau befindliche Kompaktfaulbehälteranlage auf der Kläranlage Linz-Unkel für eine Anschlussgröße von ca. 30.000 EW.



Bild 25: im Bau befindliche Kompaktfaulbehälteranlage auf der Kläranlage Linz-Unkel

Die Durchmischung der Behälter erfolgt mit kostengünstigen Vertikalrührwerken, deren Funktion über umfangreiche Simulationsberechnungen der Fa. Hydrograv GmbH, Dresden, nachgewiesen werden konnte.

Einfluss zweistufige Betriebsweise der Faulung

Der Gedanke, den Faulprozess durch Aufteilen des Behältervolumens auf mehrere hintereinander geschaltete Behälter zu intensivieren, ist naheliegend, da der positive Effekt der Kaskadenschaltung auf die Reaktionskinetik schon lange bekannt ist (Gesetzmäßigkeiten von Monod bzw. Michaelis Menten). Noch heute werden nachgeschaltete Faulbehälter, die nicht beheizt und durchmischt werden, überwiegend als Nacheindicker und Schlamm-speicher betrieben. Sie liefern max. 10 - 20 % des insgesamt anfallenden Faulgases. Bereits in den 80er Jahren wurden von (Wechs 1985) Untersuchungen zur Intensivierung des Abbaus durch Hintereinanderschalten zweier Anaerobstufen durchgeführt. Bei einer Verweilzeit in der 1. Stufe von nur 2 - 4 Tagen erreichten sie die höchste volumenspezifische Methangasproduktion von ca. 4 Nm³/m³/d. Dies ist möglich, indem man die ersten beiden Phasen des Faulprozesses zur 1. Stufe und die 3. und 4. Phase zur 2. Stufe zusammenfasst. Aufgrund der niedrigeren Generationszeiten der versäuernden Bakterien (2. Phase), im Vergleich zu den acetogenen und methanogenen Bakterien (3. und 4. Phase) wird in der 1. Stufe eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit erreicht, so dass diese Stufe höher belastet werden kann.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den möglichen Abbaugrad (bezogen auf die praktische Faulgrenze) in Abhängigkeit der Gesamtfaulzeit für die 1- und 2-stufige Verfahrensführung.

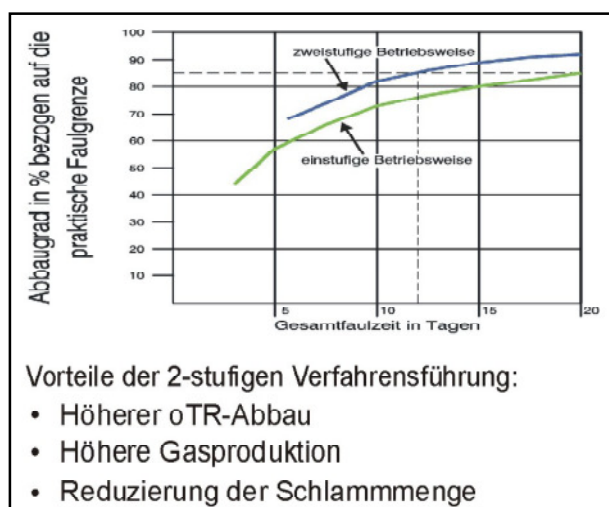


Bild 26: Abbaugrad bei 1-stufiger und 2-stufiger Verfahrensführung, nach (Roediger et al. 1990)

Die Abbildung verdeutlicht, dass bei 2-stufiger Verfahrensführung und einer Aufenthaltszeit von beispielsweise 2 x 6 Tagen die gleichen Abbaugrade erreicht werden, wie bei 1-stufiger Verfahrensführung und einer Aufenthaltszeit von 20 Tagen. Der höhere Abbau, auch bei glei-

cher Faulzeit in beiden Behältern, kann mit etwa 10 % beziffert werden. Dies bedeutet neben einer entsprechenden Reduzierung der Reststofffrachten eine äquivalente Erhöhung der Gasausbeute bei gleichem Behältervolumen.

In Abhängigkeit der späteren Verwertung ist zukünftig ebenfalls zu hinterfragen, ob Faulbehältervolumen durch geringere Faulzeiten eingespart werden kann. Dies gilt insbesondere bei nachgeschalteter thermischer Verwertung. Da bei 2-stufiger Betriebsweise bereits nach 10 Tagen etwa 80% der praktischen Faulgrenze erreicht wird, kann die Restorganik bei der späteren thermischen Verwertung energetisch genutzt werden.

Die **Desintegration**, d. h. die Zerkleinerung der Schlammflocken bzw. der Mikroorganismen, führt i. d. R. zu einer Verbesserung des Abbauverhaltens und damit zu einer Mehrproduktion an Faulgas. Die Aussagen zu den Entwässerungseigenschaften sind zum Teil widersprüchlich.

Die Wirtschaftlichkeit ist, insbesondere bei kleineren Kläranlagen, noch in Frage zu stellen.

Sollten bei bestehenden Faulbehältern Reservekapazitäten verfügbar sein, können diese zur **Co-Fermentation** genutzt werden. Im DWA-Merkblatt M 380 sind Hinweise für Betreiber und Behörden zur Co-Vergärung aufgeführt.

Problematisch für die Co-Vergärung auf Kläranlagen ist nach wie vor die genehmigungsrechtliche Situation.

Für die nachfolgenden Kostenbetrachtungen wird
exemplarisch die Kompaktfaulung gewählt.

5.2 Gasspeicherung und -verstromung

5.2.1 Speicherung

Für die nachfolgenden Kostenbetrachtungen wird als Verfahren
exemplarisch der Doppelmembrangasspeicher gewählt

Diese Systeme haben sich in den letzten Jahren, z. B. auf verschiedenen Kläranlagen des Ruhrverbands, bestens bewährt und wurden auch in NAwaS 1 als günstige Gasspeichermöglichkeit in Bezug auf Wartung, Investition und Betriebssicherheit eingestuft (siehe hierzu Modul 1).

5.2.2 Verstromung

Bisher wurden zur Verstromung des auf Kläranlagen anfallenden Faulgases vornehmlich Gas-Otto-Motoren oder vereinzelt auch Gas-Diesel-Motoren (Zündstrahldiesel) als Verbrennungsmotoren zur Kraft-Wärme-Kopplung eingesetzt. Seit wenigen Jahren werden nunmehr als Alternative hierzu sogenannte Mikrogasturbinen in der Praxis eingesetzt, wobei die bisherigen Betriebsergebnisse mit dieser neuen Anlagentechnik durchaus als erfolgversprechend bezeichnet werden können.

Mikrogasturbinen sind neu entwickelte Produkte zur Kraft-Wärme-Kopplung in der dezentralen Strom- und Wärmeversorgung. Ihre Leistung liegt zwischen etwa 30 und 200 kW_{el}. Die Technologie der Mikrogasturbinen wurde in den USA seit 1990 für die verschiedensten Anwendungsgebiete weiterentwickelt. Es handelt sich dabei um kleine Gasturbinenaggregate, die, vergleichbar mit Abgasturboladern für KFZ-Motoren, aus einstufigen Radialverdichtern und -turbinen bestehen. Als mögliche Brennstoffe kommen sowohl Gase (Erd-, Klär-, Bio- oder Grubengas) als auch Heiz- oder Dieselöle in Frage, Betriebserfahrungen liegen zwischenzeitlich für den Klärgas- und Erdgasbetrieb vor.

Blockheizkraftwerke

Zu den konventionellen Blockheizkraftwerken (BHKW) zählen in erster Linie gewöhnliche Diesel- und Ottomotoren, die mittels einer Kurbelwelle einen Generator antreiben. Ein BHKW besteht im Allgemeinen aus folgenden Elementen:

- Motorblock
- Generator
- Kühlwassersystem, Schmiersystem
- Brennstoffzufuhr
- Wärmekopplung
- Transformator

Die nachfolgende Abb. zeigt den Aufbau einer kompakten BHKW-Anlage.



Bild 27: Aufbau einer kompakten BHKW-Anlage

Die Funktionsweise und der Aufbau eines BHKW lassen sich anhand der nachfolgenden Abbildung erläutern.

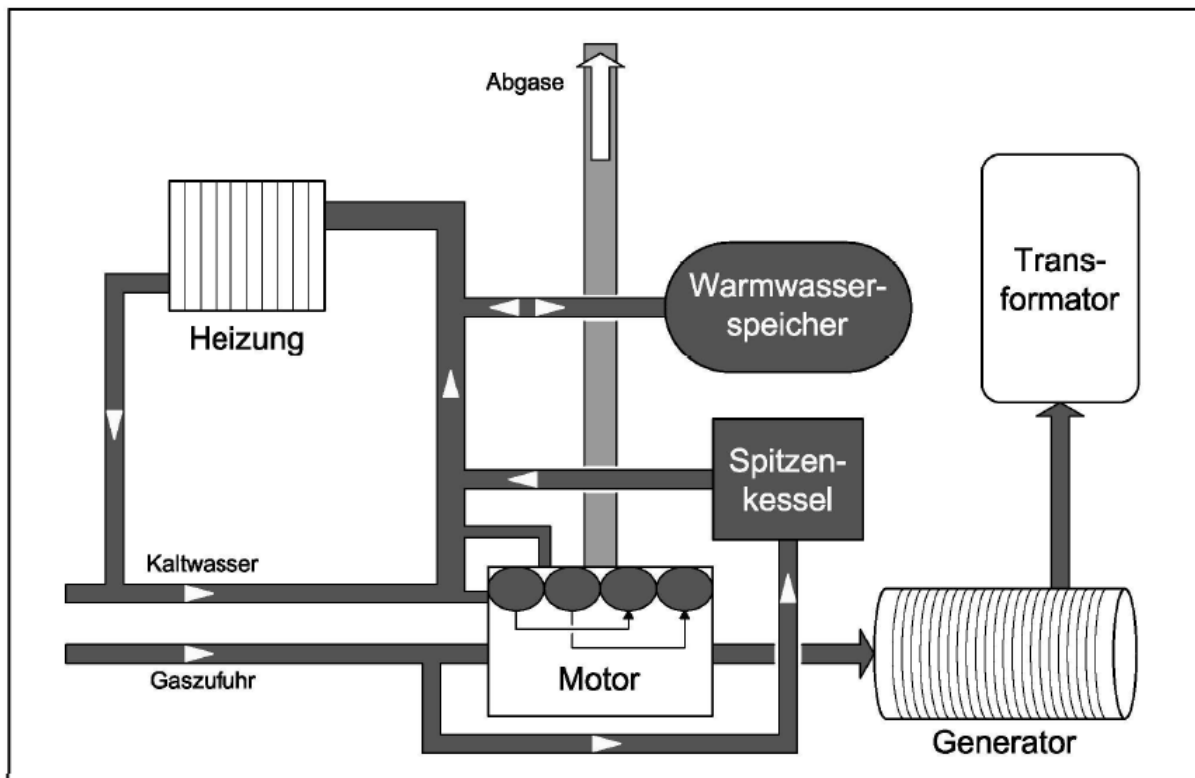


Bild 28: Systemfließschema eines BHKW's

In einem konventionellen BHKW wird mechanische Energie mittels eines Verbrennungsmotors und eines Generators in elektrische Energie umgewandelt. Gas-Otto-Motoren sind speziell für die Verbrennung von Gasen entwickelt worden. Das Gas-Luft-Gemisch wird vor dem Brennraum gebildet und mittels einer Zündkerze im Brennraum gezündet.

Die Verbrennungsgase werden bei fast gleich bleibendem Volumen explosionsartig auf einen hohen Druck und eine hohe Temperatur gebracht. Bei der folgenden Expansion wird mechanische Arbeit durch Bewegung der Kolben verrichtet. In einem nachgeschalteten Wärmetauscher kann die Wärme des Abgases zu Heizzwecken genutzt werden.

Die elektrischen Wirkungsgrade der Gas-Otto-Motoren liegen im normalen Leistungsbereich bei $\eta_{el} = 27 - 36 \%$. Die Gesamtwirkungsgrade liegen durch die hohen Abgastemperaturen zwischen $\eta_{ges} = 78 - 88 \%$.

Für den Betrieb von BHKW's zur Energienutzung sprechen folgende Vorteile:

- gute Regelbarkeit der Leistung
- gute Betriebserfahrungen
- ausgereifte Technik
- unkomplizierte Wartung

Mikrogasturbinen

Mikrogasturbinen sind kleine Hochgeschwindigkeitssysteme zur gekoppelten Strom- und Wärmeerzeugung, die derzeit im Leistungsbereich ab 30 kW_{el} verfügbar sind. Sie bestehen im Wesentlichen aus den Hauptkomponenten:

- Permanentmagnet-Generator
- Brennstoffsystem
- Brennkammer mit Turbine
- Abgaswärmetauscher (Rekuperator)
- Steuerungselektronik
- Transformator



Quelle: VTA Technologie GmbH

Bild 29: Mikrogasturbine der Firma Capstone (USA) mit Rekuperator und einer elektrischen Leistung von 65 kW

Die Funktionsweise und der Aufbau einer Mikrogasturbine lassen sich anhand der Abbildung erläutern. Die angesaugte Umgebungsluft wird zunächst zur Kühlung über den Generator und den nachgeschalteten Rekuperator in die Turbine geführt. Im Rekuperator wird die Verbrennungsluft durch die heißen Abgase im Gegenstrom vorgewärmt. In der Brennkammer wird der jeweilige Brennstoff zugemischt, und es kommt zur Zündung. Der Brennkammerdruck beträgt 3 bis 4 bar.

Die heißen Verbrennungsgase werden in der Turbine entspannt und treiben so den Generator an. Dem Abgasstrom wird die Wärmeenergie durch einen Wärmetauscher zur Warmwasserbereitung entzogen. Danach entweichen die Abgase durch den Kamin. Durch die Anordnung aller beweglichen Teile auf ein und derselben Welle entfällt eine Synchronisation.

Der Generator wird über die Drehzahl der Turbine gesteuert. Durch diese Anordnung zeigt die Turbine bei Teillast keine wesentlichen Wirkungsgradverluste, da die thermodynamischen Parameter in den verschiedenen Lastbereichen konstant gehalten werden.

Am Ausgang des Turbogenerators liegt Wechselstrom mit einer Frequenz von ca. 1.600 Hz an, der in einem elektronischen Umrichter gleichgerichtet und dann wieder auf 50 bzw. 60 Hz und ca. 400 Volt wechselgerichtet wird. Eine Steuer- und Regelungstechnik überwacht den gesamten Ablauf und dient zur Leistungskontrolle und Fehlermeldung. Hier kann der Betreiber auch auf die individuelle Leistungscharakteristik Einfluss nehmen und sie an seine Bedürfnisse anpassen.

Mikrogasturbinen haben in Abhängigkeit der Baugröße einen elektrischen Wirkungsgrad zwischen etwa 26 % (bei $P_{el} = 30 \text{ kW}$) und 29 % (bei $P_{el} = 65 \text{ kW}$).

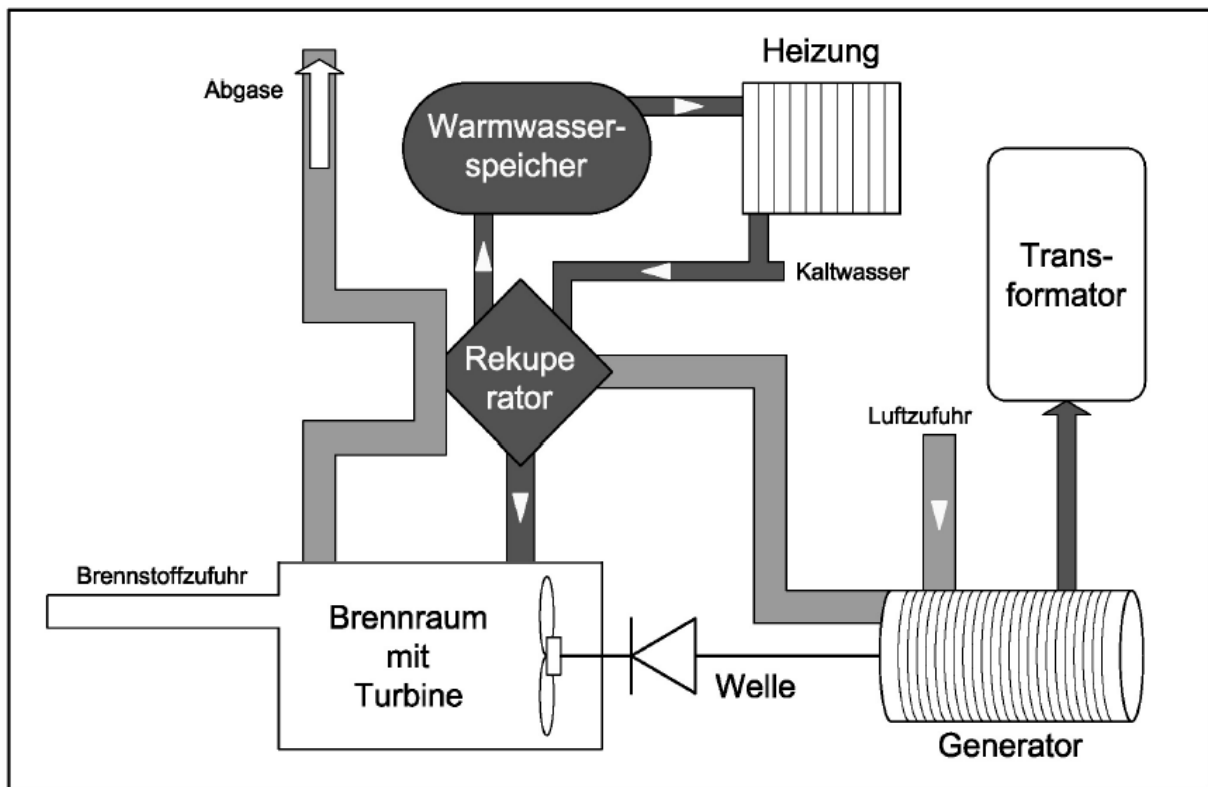


Bild 30: Systemfließschema einer Mikrogasturbine

Für die nachfolgenden Betrachtungen wird der Einsatz von leistungsfähigen BHKWs angenommen.

Für die nachfolgenden Kostenbetrachtungen wird als Verfahren
exemplarisch der Einsatz von leistungsfähigen **Blockheizkraftwerken** angenommen.

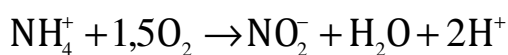
5.3 Prozesswasserbehandlung

Bei Umrüstung kleinerer Anlagen auf Faulung wird i. d. R. auf eine gesonderte Prozesswasserbehandlung verzichtet. Es wird lediglich Speichervolumen vorgesehen, um das Prozesswasser in den Schwachlaststunden (Nachtstunden) der biologischen Behandlungsstufe dosiert zuzugeben.

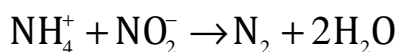
Im Bereich der separaten Prozesswasserbehandlung sind derzeit mehrere unterschiedliche Verfahren im Einsatz. Vor dem Hintergrund der Energieeffizienz sollen hier beispielhaft Verfahren auf Grundlage des Prozesses der Deammonifikation beschrieben werden.

Bei der Deammonifikation wird Ammonium (NH_4^+) zusammen mit Nitrit (NO_2^-) von speziellen Bakterien zu elementarem Stickstoff (N_2) umgesetzt (anaerobe Ammoniumoxidation, auch Anammox genannt). Verfahrenstechnisch realisiert wird dies z.B. in einem zweistufigen Prozess:

- **aerobe Stufe:** Oxidation von ca. 50% des Ammoniaks zu Nitrit



- **anoxische Stufe:** Oxidation des verbleibenden Ammoniaks zu elementarem Stickstoff (und geringen Mengen Nitrat; ca. 10%)



Verglichen mit den herkömmlichen Verfahren zur Stickstoffelimination (Nitrifikation / Denitrifikation) zeichnet sich diese Verfahrensführung dadurch aus, dass bis zu 60% des benötigten Sauerstoffs eingespart werden können. Darüber hinaus benötigen die autotrophen Anammox-Bakterien (Planktomyceten) keine

(externe) C-Quelle, was besonders im Bereich der Prozesswasserbehandlung von entscheidendem Vorteil sein kann.

Großtechnische Umsetzungen des Prozesses sind unter den folgenden zum Teil patentierten Verfahren bekannt (die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit):

- ANAMOX[®] (ANAerobe AMmoniak-Oxidation), Verfahrensführung unter Verwendung spezieller Anammox-Bakterien;
- DeAmmon[®], Universität Hannover, PURAC Wasser GmbH, Ruhrverband, Beispiele Kläranlagen Hattingen und Stockholm, Biofilmverfahren als Moving-Bed Verfahren mit Kaldnes-Aufwuchskörpern;
- DEMON[®], suspendierte Biomasse als SBR-Verfahren, Beispiel KA Strass;
- DIB (Deammonifikation mit Intermittierender Belüftung im Biofilm);
- PANDA⁺, Erweiterung des PANDA-Verfahrens um die Stufe der Deammonifikation anstelle der Denitrifikation, noch in Versuchsphase;
- PNAA-Verfahren (Partielle Nitrifikation, Anaerobe Ammoniumoxidation), Beispiel Klärwerk Werdhölzli, kann sowohl intermittierend als auch kontinuierlich belüftet werden;
- NCHC-Verfahren, LAMBDA Gesellschaft für Gastechnik mbH, Beispiel: Sickerwasser-Behandlung Emscherbruch, Anammox-Prozess im Aktivkohle-Festbett.

In Tabelle 11 wird der Prozess der Deammonifikation nochmals vergleichend mit anderen Prozessen zur separaten Prozesswasserbehandlung dargestellt.

Tabelle 11: Übersicht zu Verfahren und möglichen Prozessen im Rahmen der Prozess- bzw. Schlammwasserbehandlung

Prozess	theor. O ₂ -Bedarf [kgO ₂ /gN] 1)	spez. Energiebedarf [kWh/kg N] Strom (S) / Wärme (W) 2), 3)	Chemikaliendosierung 1), 2)	Reststoffanfall 1)	Reststoffanfall 2)	Verfahren 1), 4)
Nitrifikation	4,3	(S) 3 - 5	Säurekapazität-Stützung	Schlammanfall niedrig 0,12 - 0,14g TS/g N (AOB)	Überschuss-schlammanfall 0,65 - 0,7 kg/kgN	suspendiert, Biofilm
Denitrifikation	-2,86	(S) 3 - 5	gegebenenfalls C-Dosierung (CSB/NO ₃), Bsp. Methanol 2,5 - 3 kg/kgN	Schlammanfall hoch 1,65 g TS/g N		Belebungsverfahren, Rotationskörper, Tropfkörper, Moving-Bed
Nitrifikation	3,4	(S) 3 - 5	Säurekapazität-Stützung	Schlammanfall niedrig 0,12 - 0,14g TS/g N	Überschuss-schlammanfall 0,3 - 0,35 kg/kgN	suspendiert, Biofilm
Denitrifikation	-1,71	(W) 10 - 15*	60% C-Bedarf, Bsp. Methanol 1,6 - 2,0 kg/kgN	Schlammanfall mittel ~1,0 g TS/g N		SHARON, SAT, PANDA
anaerobe Ammonium-oxidation = Anammox	0	k.A.	—	Schlammanfall niedrig 0,16 g TS/g N	k.A.	granular, Biofilm
Deammonifikation = Nitrifikation + Anammox	1,7	(S) 1,5 - 2 (W) 10 - 15*	—	Schlammanfall niedrig 0,23 g TS/g N	Überschuss-schlammanfall 0,1 kg/kgN	suspendiert, granular, Biofilm
Strippung / Saure Wäsche	k.A.	(S) 1,5 - 1,8 (W) 8 - 10	Steuerung des pH-Werts mit Natronlauge (50%) 3,5 - 4,5 kg/kgN, Saure Wäsche mittels Schwefelsäure (78%) 3,72 - 3,9 kg/kgN	k.A.	Ammoniumsulfat (38%) 11 - 13 kg/kgN	Füllkörperkolonnen
Dampfstrippung im Unterdruck	k.A.	(S) 2,8 - 3,5 (W) 40 - 45	Steuerung des pH-Werts mit Natronlauge (50%) 3,5 - 4,5 kg/kgN	k.A.	Ammoniakwasser (25%) 3,9 - 4,1 kg/kgN	Füllkörperkolonnen
MAP-Fällung	k.A.	(S) 1,5 - 1,7	Fällmittel Magnesiumoxid 4,8-5,4 kg/kgN und Phosphorsäure (85%) 6,76 - 8 kg/kgN	k.A.	Überschuss-schlammanfall (MAP-Schlamm) 17,5 - 19 kg/kgN	suspendiert, granular
						AirPrex, Wirbelbett

Quellen:¹⁾ (Beier, Sander 2008); ²⁾ (Grömping, Seyfried 2003); ³⁾ (Grömping 2009)

5.4 Ausblick: Windgaserzeugung & Speicherproblematik

5.4.1 Hintergrund

Die Realisierung der Energiewende ist eng mit der Fragestellung der Speicherkapazitäten für regenerative Energien verknüpft. Die Realisierung der Umstellung auf Faulung trägt in erster Linie zum Bereich Energieeinsparung und Effizienz bei, dem wichtigsten Baustein für die Umstellung der Energieerzeugungsinfrastruktur auf eine regenerative Basis. Das durch den Faulungsprozess entstehende Faulgas stellt eine CO₂-Quelle dar. Dieses Klimagas liegt somit in einer aufkonzentrierten Form vor. Wie dieses CO₂ zugunsten der Energiewende effektiv genutzt werden könnte wird nachfolgend aufgezeigt:

In den letzten Monaten findet diese Speicherthematik auch verstärkt Zugang in die Tagespresse. Das Thema „Windgas“ ist hier das zentrale Stichwort. Dieser Technologie wird auch in der Fachpresse eine große Chance als flexible Speicherenergie zugesprochen, vgl. (Stern et al. 2011). Eine erste größere Pilotanlage dieser Technologie wird derzeit von Audi in Niedersachsen errichtet und soll Ende des Jahres ihren Betrieb aufnehmen. Darüber hinaus gibt es kleinere Anlagen u. a. in der Moorbacher Energielandschaft, die von der Firma juwi/Wörrstadt betrieben wird. Diese Frage der Speicherung ist i. b. auch deswegen so relevant, um die fluktuierende Verfügbarkeit von Wind und Sonne – als zentrale Pfeiler der Energieerzeugungsebene – auszugleichen. Pumpspeicherkraftwerke können derzeit nur 6 TWh abdecken. Ihre Errichtung ist auch meist mit Widerständen in der Bevölkerung verbunden. Das vorhandene Erdgasnetz hingegen bietet eine Speicherkapazität von 514 TWh (s.u.) und ist bereits vorhanden. Der Speicherbedarf für EE wird vom Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) mit 170 TWh/a angegeben. Die Studie des IWES zu dieser Fragestellung (Stern et al. 2011) kommt zu folgendem Ergebnis: „[...] die einzige nationale Option für die Energiespeicherung im erforderlichen Umfang ist die Kopplung der Energienetze für Strom und Gas“.

5.4.2 Technologie

Ein derzeit diskutiertes, **neues Speicherkonzept** zielt darauf ab, (überschüssigen) Wind- und/oder Solarstrom (nachfolgend EE-Strom = Strom aus erneuerbaren Energien) in **synthetisches Erdgas** umzuwandeln. In einem Elektrolyseverfahren wird mit Hilfe des überschüssigen EE-Stroms Wasser in seine Grundbestandteile Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt. In einem zweiten Schritt wird Wasserstoff dann mit CO₂ zu Methan (CH₄) umgewandelt, wodurch synthetisches Erdgas entsteht. Dieses Erdgas kann anschließend ins Erdgasnetz eingespeist und damit gespeichert werden. Der Wirkungsgrad bei der Umwandlung von Strom zu Erdgas beträgt über 60 Prozent. Der Gesamtwirkungsgrad mit der Rückverstromung liegt je nach Art der Rückverstromung zwischen 30 und 60 %, vgl. (Stern et al. 2011), (100% erneuerbar Stiftung 2011)). Somit ist diese Umwandlung mit Verlusten verbunden, jedoch ist es das Ziel nur solchen Strom umzuwandeln, der überschüssig, also zu Spitzenerzeugungszeiten (Starkwind, solare Überschüsse im Sommer) bzw. Schwachlastzeiten von den Verbrauchsstellen nicht abgenommen werden kann.

Chemisch laufen dabei die folgenden Prozesse ab:

- Spaltung von zwei Wassermolekülen (H₂O) in zwei Wasserstoffmoleküle (H₂) und ein Sauerstoffmolekül (O₂) durch Wasserelektrolyse



- Chemische Reaktion von Wasserstoff mit Kohlendioxid (CO₂) führt zur Entstehung von Methan (CH₄) und Wasser (H₂O). Die Reaktion verläuft stark exotherm.



Anlagen zur Methanisierung von überschüssigem EE-Strom (Wind- und/oder Solarstrom) können vor allem dort errichtet werden, wo CO₂ anfällt. Die Extraktion des luftgebundenen CO₂ ist derzeit zu aufwän-

dig. Daher könnten Faulungsanlagen – neben konventionellen Biogasanlagen – für diese Technologie eine wichtige Rolle spielen. Verbrennungskraftwerke von fossilen Energieträgern (Kohle-/Gas) sollten hingegen nicht für diese Technologie genutzt werden, weil sich hieraus eine unerwünschte Abhängigkeit der Erneuerbaren Energien von fossilen Energieträgern ergibt. Desweiteren nimmt der Marktwert dieses synthetischen Gases ab, weil seine CO₂-Neutralität nicht mehr gegeben ist. Darüber hinaus wird bei der Kopplung mit Bio-/Faulgasanlagen auf diese Weise nur „regeneratives CO₂“ verwendet. Der Zugang zum Erdgasnetz ist dabei jedoch Voraussetzung. Langfristig ist auf diese Weise fossiles Erdgas komplett ersetzbar.

Nähere Ausführungen energiewirtschaftlichen und ökologischen Bewertung der Windgasthematik kann (Sternier et al. 2011) entnommen werden.

Daraus würde sich möglicherweise für eine zukünftig optimierte Nutzung des Faulgases ein anderes Bild ergeben als heute, sofern eine Einspeisemöglichkeit ins Gasnetz besteht:

- keine unmittelbare Verstromung mehr, sondern primär Einspeisung ins Erdgasnetz
- Verstromung nur, wenn: Regelenergie erforderlich und/oder Wärmebedarf auf der Kläranlage anfällt

Dies sowie weitere Konsequenzen wären näher zu betrachten.

5.4.3 Vorteile und Chancen

Vorteile und Chancen dieser Technologie sind unter (100% erneuerbar Stiftung 2011) wie folgt zusammengefasst:

- „Mit dem deutschen Gasnetz wird ein **gigantischer Speicher** erschlossen. In ihm können 514 Terrawattstunden (TWh) Energie gespeichert werden. Zum Vergleich: die aktuell in Deutschland vorhandenen Pumpspeicherkraftwerke können lediglich 0,6 TWh speichern. Die Speicherkapazität des Gasnetzes würde ausreichen, um für zwei bis drei Monate die gesamte Stromversorgung Deutschlands zu übernehmen. ‚Über die Strom-Gasnetz-Kopplung erschließen wir die größte Speicherinfrastruktur, die wir in Deutschland haben. Der gesamte Ökostrom von 2010 bräuchte gerade mal ein Viertel der vorhandenen Gasspeicherkapazität‘, sagt Sternier vom Fraunhofer-Institut für Windenergie und Systemtechnik (IWES).
- Windgas **lässt sich für viele Anwendungen einsetzen**. Es kann in Gaskraftwerken und Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen rückverstromt werden. Im Mobilitätssektor kann es Gasfahrzeuge antreiben. Im Wärmesektor kann es zum Kochen oder Heizen eingesetzt werden. Die Windgas-Technologie verbindet somit Märkte für Strom, Wärme und Mobilität miteinander.
- Windgas ermöglicht eine **wetterunabhängige und zudem bedarfsgerechte Energieversorgung**. Bei Überproduktion wird Ökostrom in Gas umgewandelt und im Gasnetz eingelagert. Bei Unterproduktion bzw. bei erhöhter Nachfrage wird das Gas wieder entnommen und in die gewünschte Energieform (Strom, Wärme, Bewegung) umgewandelt. Somit kann die Windgas-Technologie auch das (oben beschriebene) Problem der schwankenden Ökostromproduktion lösen.
- Windgas kann helfen, das **Problem der Netzeengpässe zu lösen**. Bislang kommt es immer wieder zu Situationen, in denen Ökostrom auf Grund von Netzeengpässen nicht ins Stromnetz eingespeist werden kann und daher ungenutzt verpufft. In solchen Situationen könnte die Windgas-Technik künftig eingesetzt werden, um die Energie alternativ über das Gasnetz zu leiten.“

Die zukünftige Einbindung von Kläranlagen in dieses Konzept könnte wie folgt aussehen:

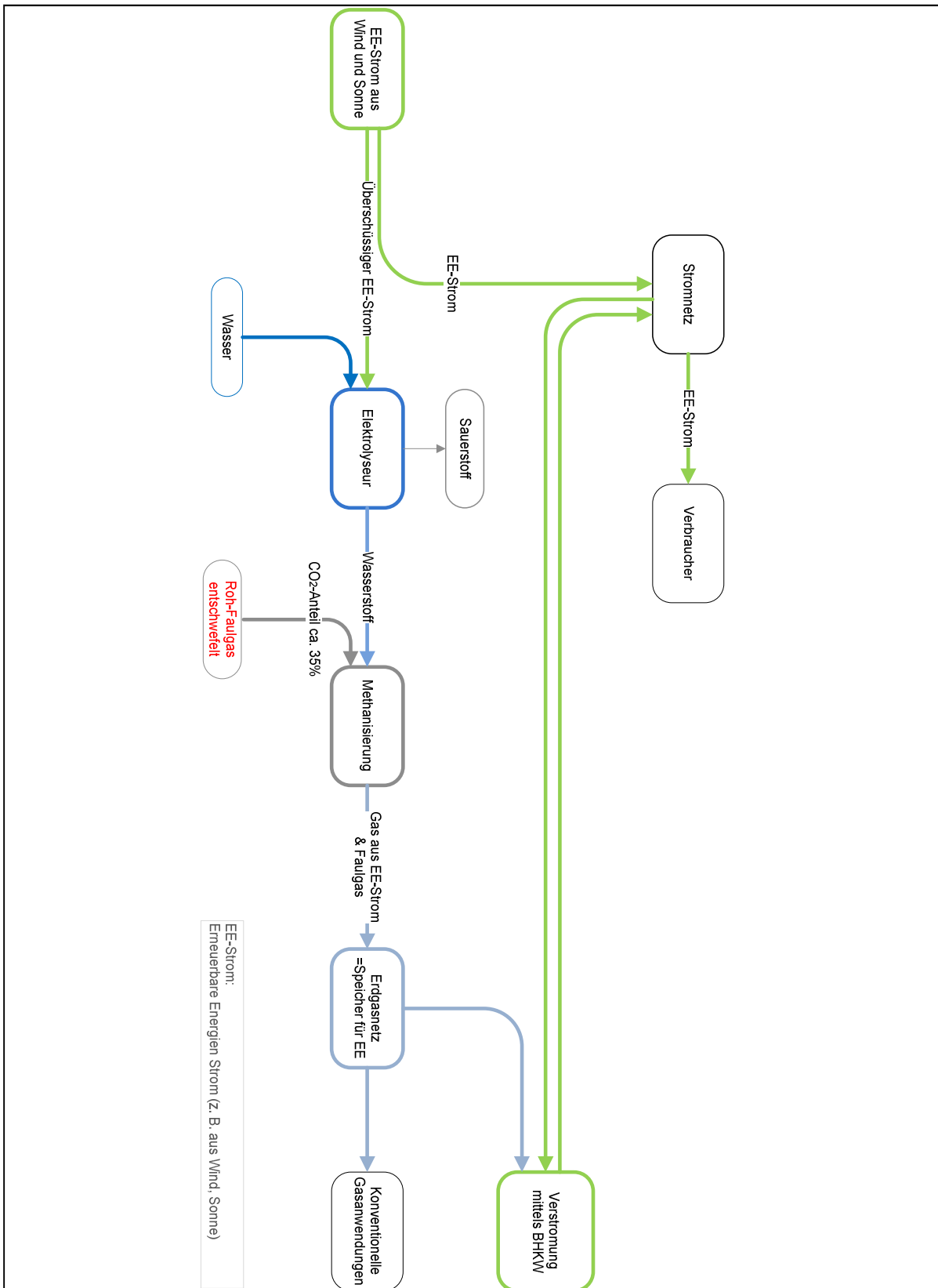


Bild 31: Nutzung von Kohlendioxid aus Faulungsprozess und Faulgasverstromung zur Erzeugung von speicherfähigem Gas

Kläranlagen scheinen für die Kombination mit Windgassystemen i. b. auch aus folgenden Gründen potenzielle CO₂-Quellen:

- Faulgas verfügt über einen CO₂-Anteil von ca. 35 % und ist eine regenerative Energiequelle.
- Der Prozess der Methanisierung hat einen Anteil von nutzbarer Abwärme von ca. 10 % der eingesetzten Energie (Rieke 2011), der auf der Kläranlage zur Faulraumerwärmung effizient eingesetzt werden kann.

Zu klären bzw. zu bearbeiten wären u. a. folgende Aspekte:

- Wertigkeit und Bedeutsamkeit der Prozesse „Eigenstromversorgung“ und „Energiespeicherung“ in Zukunft unter der Randbedingung einer zunehmend dezentral ausgerichteten Energieversorgung. Hier stellt sich die Frage, welchem Prozess Priorität eingeräumt werden sollte/muss.
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtung: Ab wann und unter welchen Rahmenbedingungen ist eine solche Einbindung ins Energienetz sinnvoll?
- Sicherstellung der kontinuierlichen Wärmeversorgung des Faulraums (z. B. Abwasserwärmenutzung).
- Ein entsprechendes Regel- und Managementkonzept für die Nutzung des Faulgases zum primären Zweck der Methanisierung unter Berücksichtigung der optimaler Ressourcenverwendung und Energieeffizienz wäre zu entwickeln.

Zusammenfassung Behandlungstechniken

Am Markt sind für alle Bereiche, die eine Umstellung betreffen, Behandlungstechniken verfügbar, die die Wirtschaftlichkeit einer Umstellung positiv beeinflussen.

Entwicklungen im Bereich des Faulraumes weisen einfache kompakte Formen auf, die kostengünstig und mehrstufig betrieben werden können.

Für den Bereich der Gasspeicherung haben sich in der Praxis die Doppelmembranspeicher als günstige Gasspeicheroption bewährt.

Für die Verstromung stehen sowohl Blockheizkraftwerke als auch Mikrogasturbinen zur Verfügung, Blockheizkraftwerke sind dabei deutlich häufiger im Einsatz als die Gasturbinen.

Die Prozesswasserbehandlung spielt auf kleineren Kläranlagen i. d. R. keine Rolle. Großtechnische Umsetzungen z. B. der Deammonifikation sind aber großtechnisch im Einsatz.

In Bezug auf die Energiewende und die damit verknüpfte Speicherthematik sollten nähere Untersuchungen bzgl. der Nutzung des Faulgases als CO₂-Quelle zur Windgaserzeugung vorgenommen werden.

6 Entwicklung von Kostenfunktionen zur Prüfung einer Umstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfaulung

6.1 Methodische Vorgehensweise

Die Schlammfaulung ist seit Jahrzehnten als Standardverfahren zur Klärschlammstabilisierung auf mittleren und großen Kläranlagen anzusehen. Sie steht dabei bis zu einer nicht klar definierten Anlagengröße im Systemwettbewerb mit den aeroben Stabilisierungsverfahren, wobei hier in der Regel die Simultanstabilisierung zur Anwendung kommt.

Die Anwendungsgrenze für die Faulung lag in der Vergangenheit bei etwa 30.000 EW, wobei diese aufgrund steigender Energie- und Entsorgungskosten zunehmend in Frage zu stellen ist. Bei einem entsprechenden Vergleich sind daher neben den reinen Investitionskosten auch die laufenden Kosten in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einzubeziehen.

Bereits Anfang der 1990er Jahre wiesen (Meyer, Biebersdorf 1995) aufgrund entsprechender Berechnungen darauf hin, dass sich bei sachgerechter Planung eine Faulung bereits ab 15.000 EW bis 20.000 EW wirtschaftlich umsetzen lässt. Steigende Strompreise und die allgemeine Diskussion um die Nutzung regenerativer Energien haben dazu geführt, dass die Anwendungsgrenze für einen wirtschaftlichen Einsatz der Faulung in jüngster Zeit wieder in Bewegung geraten ist und sich weiter nach unten verschoben hat. Im Gegensatz zu den damaligen Berechnungen müssen die neueren Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen jedoch vor gänzlich anderen Rahmenbedingungen angestellt werden. Ging es vor 30 Jahren noch darum, ob der **Neubau** einer Kläranlage nach dem Verfahren der aeroben Stabilisierung oder der Faulung erfolgen soll, ist diese Frage heute anders zu definieren:

Ist es wirtschaftlich, eine nach dem Verfahren der aeroben Stabilisierung gebaute Kläranlage auf Faulung umzurüsten?

Zur Beantwortung dieser Fragestellung sind in der Regel umfangreiche, ingenieurtechnische projekt- bzw. standortbezogene Untersuchungen notwendig. Zur überschlägigen Prüfung lassen sich jedoch Kostenfunktionen ableiten, anhand derer Betriebsleiter von Kläranlagen beurteilen können, ob diese weitergehenden Untersuchungen für ihren speziellen Anwendungsfall grundsätzlich geboten sind.

Zur Ableitung der Kostenfunktionen wurden für einen Ausbaugrößenbereich von 5.000 bis 50.000 EW folgende, für die Umrüstung maßgebende Kostenfaktoren bestimmt:

- Erforderliches Belebungsbeckenvolumen (bei Umstellung auf Schlammfaulung)
- Vorklärbeckenvolumen (bei $t_A = 1,0$ h) und Primärschlammumpwerk
- Zwischenpumpwerk *)
- Faulturm (Faulzeit = 16 - 20 d) und Technikgebäude **)
- Rohschlammbehälter
- Maschinelle Voreindickung
- Gasspeicher
- Blockheizkraftwerk

*) *Es ist davon auszugehen, dass für die Integration eines VKB in den Verfahrensablauf in der Regel ein Zwischenpumpwerk vorzusehen ist.*

**) *Für die Kostenbetrachtungen wurde exemplarisch das Verfahren der 2-stufigen Kompaktfaulung gewählt.*

Auf Basis von Erfahrungswerten aufgrund neuerer Ausschreibungsergebnisse sowie anhand spezifischer Raumpreise wurden über die Bauwerkskubatur für die verschiedenen Verfahrensstufen Investitionskosten in Abhängigkeit der Ausbaugröße der Musterkläranlage ermittelt. Die berechneten Kosten wurden jeweils graphisch in einer Kostenfunktion zusammengefasst, aus der die voraussichtlichen Investitionskosten für Bau und Ausrüstung der jeweiligen Verfahrensstufe entnommen werden können.

Weiterhin wurden alle anfallenden Kosten zu einer Gesamtkostenfunktion zusammengefasst.

6.2 Erstellung der Kostenfunktionen

Für die durchgeführten Kostenberechnungen wurden folgende Rahmenbedingungen unterstellt:

- Es wird prinzipiell davon ausgegangen, dass für die Verfahrensumstellung ein neues Vorklärbecken sowie ein Zwischenpumpwerk gebaut werden.
- Die mögliche Nutzung vorhandener Bausubstanz wurde nicht berücksichtigt, da diese einzelfallabhängig zu prüfen ist.
- Für die kleineren (bis 10.000 EW) wurde von einer einstrassigen und bei den größeren Kläranlagen von einer 2-strassigen Ausführung der biologischen Anlagenstufe ausgegangen.
- Ab einer Ausbaugröße von 15.000 EW wurde die Außerbetriebnahme eines Belebungsbeckens mit den hieraus resultierenden Betriebs- bzw. Stromkosteneinsparungen unterstellt.
- Das frei werdende Beckenvolumen kann als Havariebecken oder zur Zwischenspeicherung des Prozesswassers, z. B. aus der Schlammmentwässerung, genutzt werden. Es wird nicht davon ausgegangen, dass eine separate Prozesswasserbehandlung durchgeführt werden muss.
- Es werden normale Baugrundverhältnisse vorausgesetzt. Für den Bau der tief gegründeten Bauwerke (Vorklärbecken, Zwischenpumpwerk und Rohschlammbehälter) wird davon ausgegangen, dass diese auf tragfähigem Boden gegründet werden können. Für die flach gegründeten Bauwerke (Faulbehälter, Technikgebäude usw.) wird ein 1 m starker Bodenaustausch berücksichtigt.
- Die Erdaushubarbeiten für die tief gegründeten Bauwerke erfolgen mit geböschter Baugrube (45 ° Böschungswinkel). Es werden normale Grundwasserverhältnisse angenommen.
- Die genannten Kosten verstehen sich jeweils incl. 10 % Baunebenkosten sowie 19 % Mehrwertsteuer.

Die detaillierte Aufstellung zu den Kostenfunktionen kann dem Anhang (Kapitel 11) zu diesem Bericht entnommen werden.

6.2.1 Vorklärbecken

Die Dimensionierung des Vorklärbeckens erfolgt für eine Aufenthaltszeit von 1,0 h bei Trockenwetterzufluss. Für die Ermittlung der Zuflussmengen wird von einem spez. Schmutzwasseranfall von 120 l/EW/d und einem Fremdwasserzuschlag von 100 % ausgegangen.

Für die Kostenermittlungen wird die Ausführung des Vorklärbeckens als Rundbecken mit trichterförmiger Beckensohle (siehe hierzu auch nachfolgende Beispielzeichnung für ein Becken mit einem Innendurchmesser von 12,0 m) vorausgesetzt.

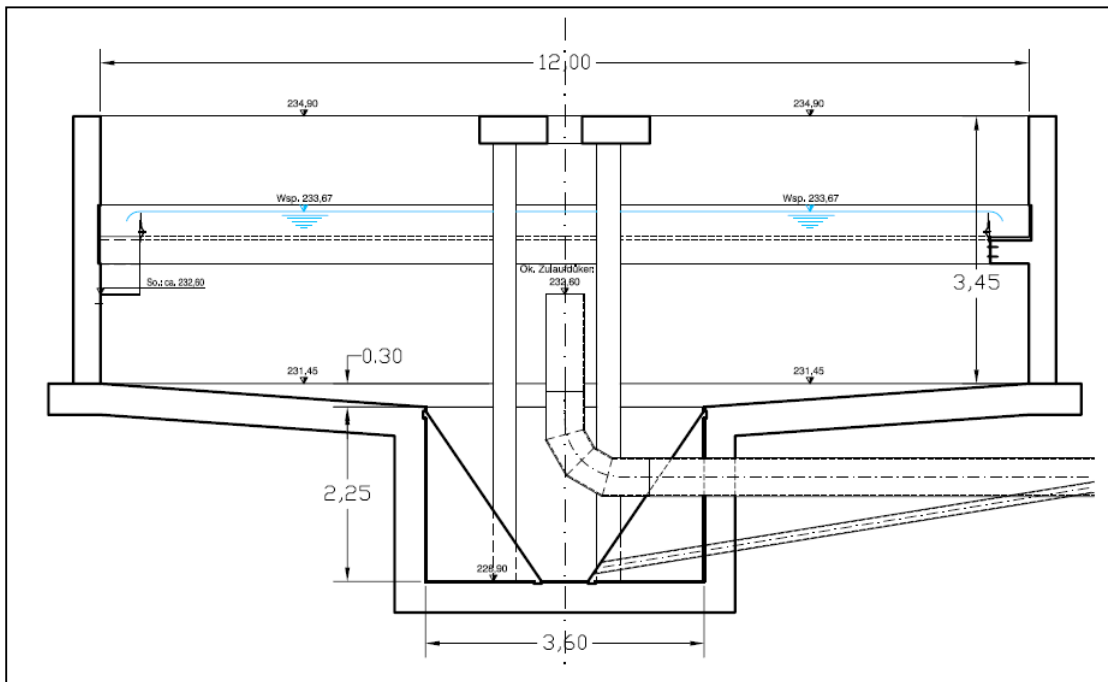


Bild 32: Ausführung Vorklärbecken

Der Ablauf des mechanisch vorgereinigten Abwassers erfolgt über eine Ablaufrinne, bestehend aus Stahlbetonkragplatte mit vorgedübeltem Überlaufblech (Dicke Kragplatte: 0,3 m; Breite Kragplatte: 0,5 m).

Für Baustelleneinrichtung und Sonstiges wurden jeweils 10 % der Kosten für die Erdarbeiten und für die Stahlbetonarbeiten zugrunde gelegt.

Die spez. Stahlmassen für die Stahlbetonarbeiten wurden mit 180 kg/m^3 angesetzt.

Die spez. Kosten der Räumerbrücke wurden auf Basis von Erfahrungswerten mit 4.000,00 € pro Meter Beckendurchmesser für kleinere Vorklärbecken angesetzt. Für je 10.000 EW Erhöhung der Ausbaugröße wurde eine Reduzierung des spez. Preises um 50,00 € pro Meter Beckendurchmesser angenommen.

Für das umlaufende Überfallwehr wurden spez. Kosten von 375,00 €/lfd. m angesetzt.

Die anteiligen Kosten für die EMSR-Technik wurden mit 10 % der Kosten für die Räumerbrücke angenommen.

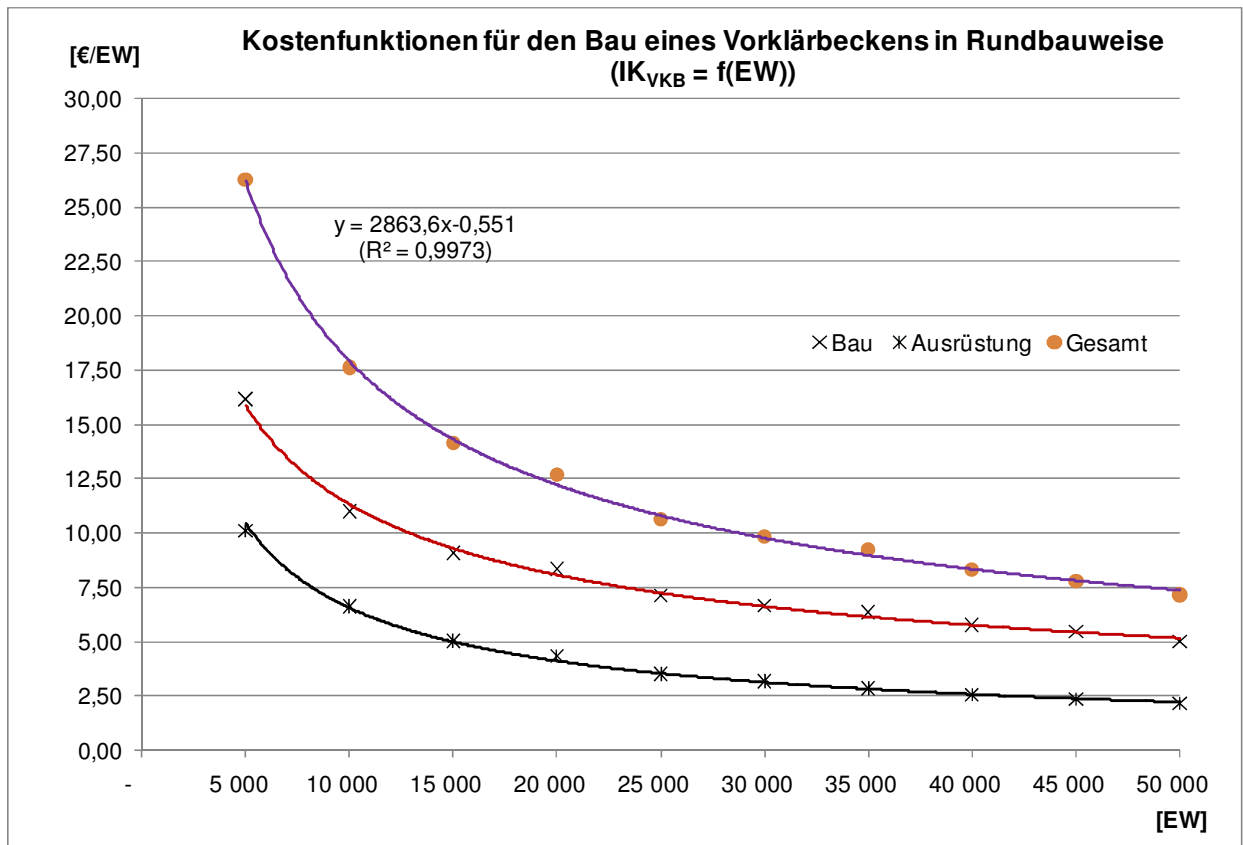


Bild 33: Kostenfunktion für den Bau eines Vorklärbeckens in Rundbauweise

6.2.2 Faulturm

Für den Bau des Faulturms wurde von einer Ausführung als 2-stufiger Kompaktfaultbehälter (siehe nachfolgende Beispielzeichnung) ausgegangen.

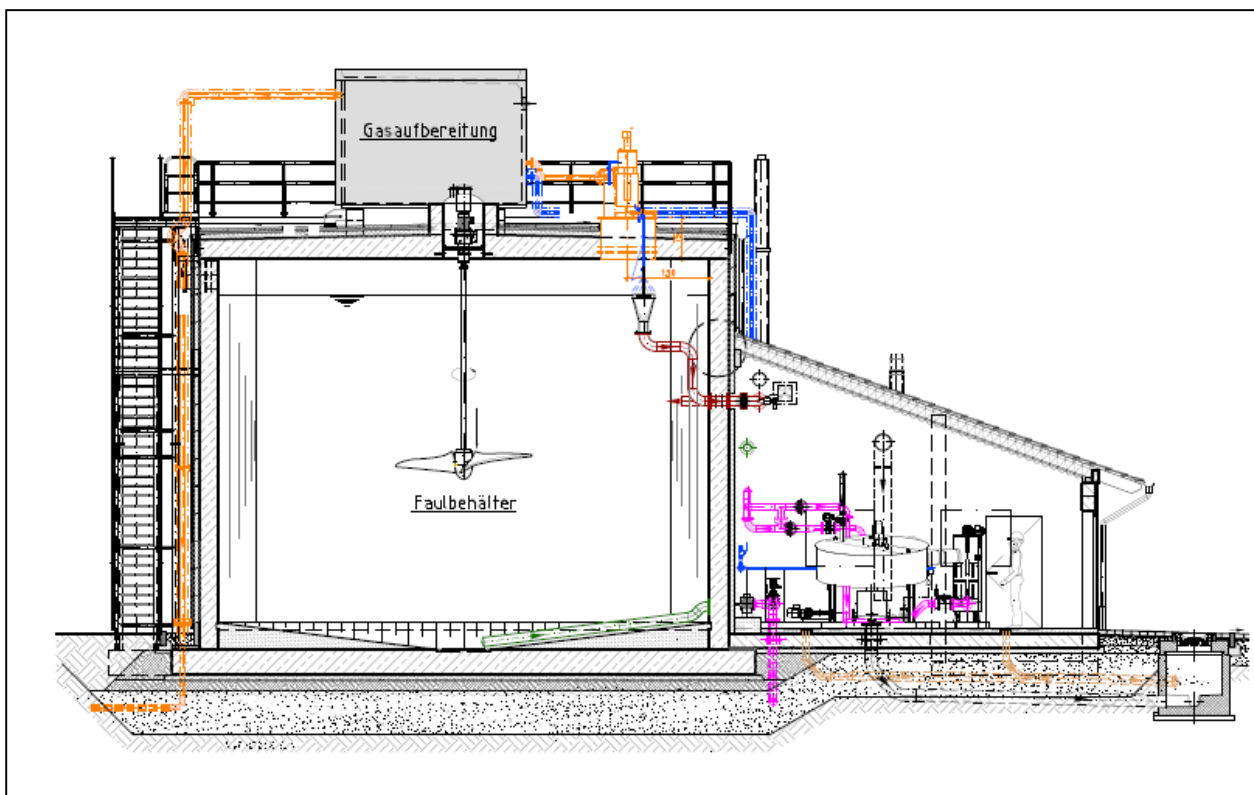
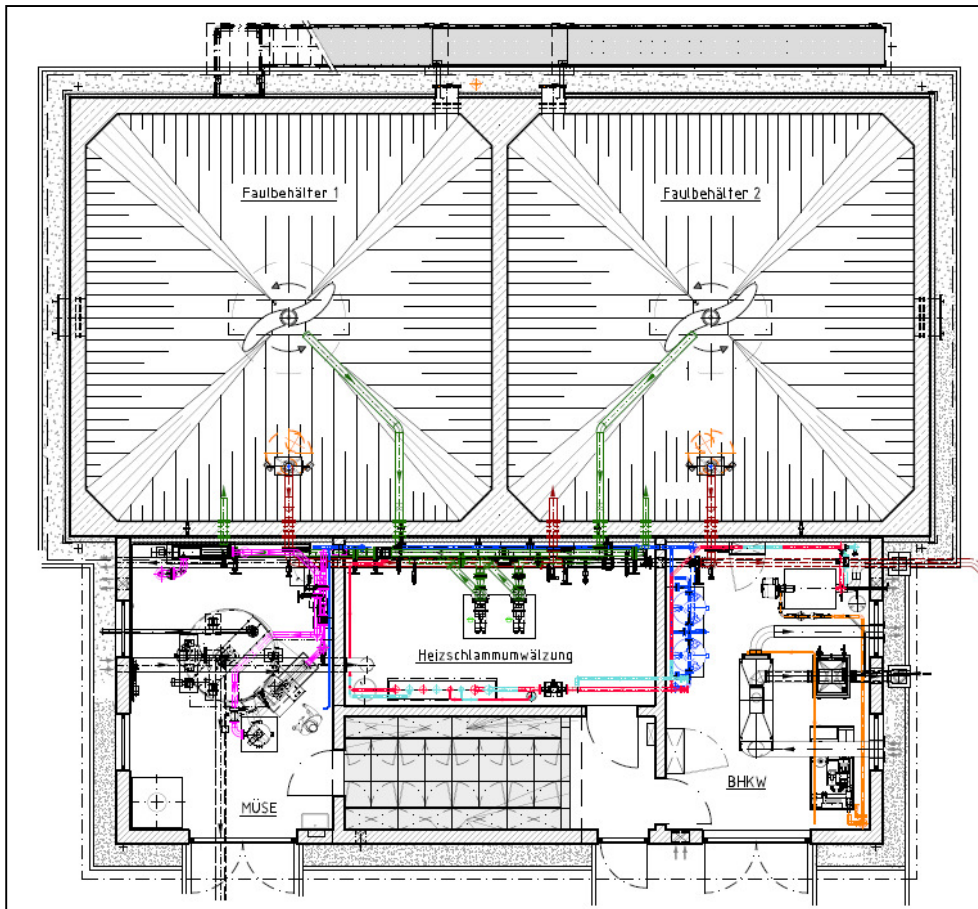


Bild 34: 2-stufiger Kompaktfaulbehälter, Grundriss und Schnitt

Für die Dimensionierung wurden folgende Rahmenbedingungen zugrunde gelegt:

Primärschlamm (PW):	35,0 gTR/EW/d; Eindickung auf ca. 4 % im VKB
Überschussschlamm (ÜS):	34,8 gTR/EW/d; maschinelle Eindickung auf ca. 6 %
Fällschlamm (FS):	2,5 gTR/EW/d; maschinelle Eindickung auf ca. 6 %
Faulzeiten:	bis 30.000 EW 20 d
	30.000 bis 40.000 EW 18 d
	45.000 EW 17 d
	50.000 EW 16 d

Für die Gründung des Faulbehälters wurde ein 1 m starker Bodenaustausch (E.P.: 90,00 €/m²) berücksichtigt. Die erforderlichen Austauschmassen wurden mit 3,00 t/m² (E.P.: 14,00 €/t) eingerechnet.

Die Isolierung der Bodenplatte erfolgt mit einem Glasschotterpolster (E.P.: 35,00 €/m²).

Die spez. Stahlmassen für die Stahlbetonarbeiten wurden mit 190 kg/m³ angesetzt.

Die Stahlbauarbeiten für die Aufstiegstreppe und das umlaufende Schutzgeländer wurden wie folgt eingerechnet:

spez. Preis Aufstiegstreppe:	3.000,00 €/Höhenmeter
Antrittspodest:	2.000,00 €
Schutzgeländer:	210,00 €/lfd. m
Sonstiges:	3.000,00 €

Für Baustelleneinrichtung und Sonstiges wurden jeweils 10 % der Kosten für die Erdarbeiten und für die Stahlbetonarbeiten zugrunde gelegt.

Die Kosten für die Ausrüstung des Faulbehälters sowie für die Beheizung, den Wärmetauscher, die Faulschlammumwälzung usw. wurden über Erfahrungswerte umgesetzter bzw. ausgeschriebener Projekte ermittelt.

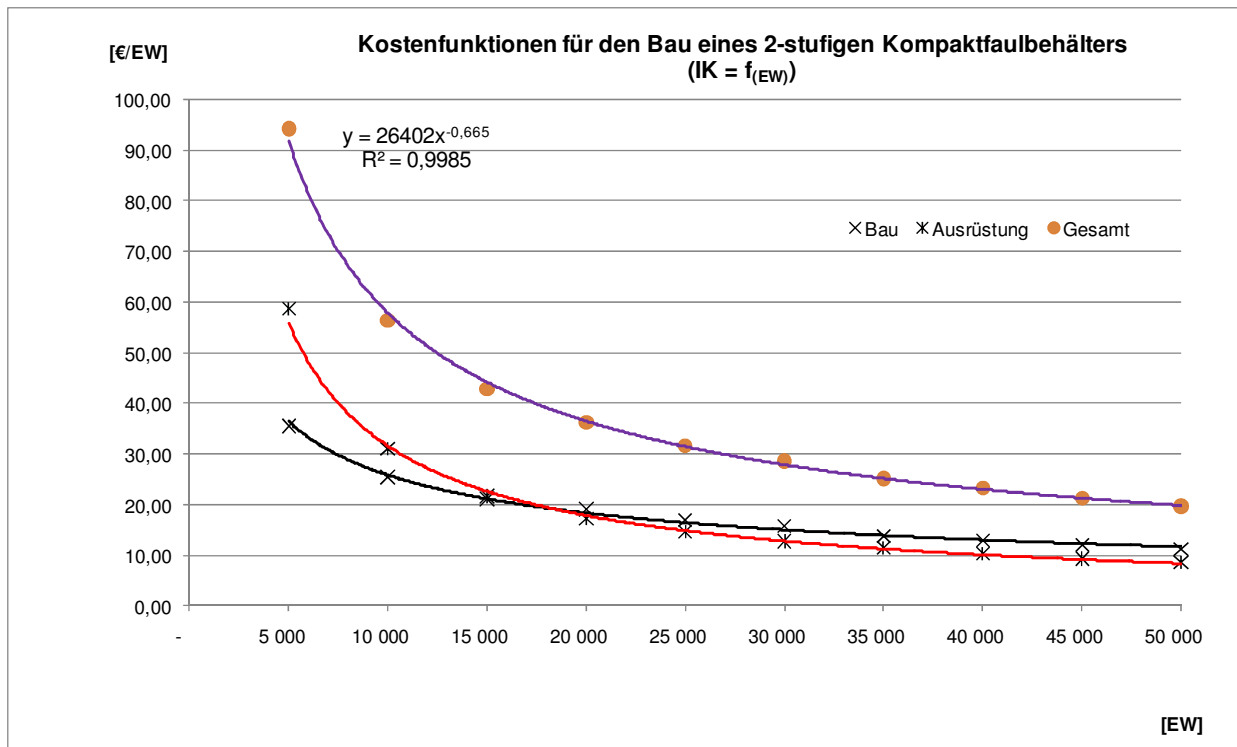


Bild 35: Kostenfunktion für den Bau eines 2-stufigen Kompaktfaulbehälters

6.2.3 Sonstige Bauwerke und Anlagen

Die Kosten für die sonstigen Bauwerke (Zwischenpumpwerk, Primärschlammumpwerk, Technikgebäude) und die untergeordneten Bauwerke (Rohschlammbehälter, Gasspeicher, Gasfackel usw.) wurden auf Basis von Erfahrungswerten über spez. Raumpreise ermittelt.

Die maschinelle Überschussschlammeindickung sowie das BHKW werden im Technikgebäude aufgestellt, so dass für diese Anlagenteile keine separaten baulichen Aufwendungen berücksichtigt wurden.

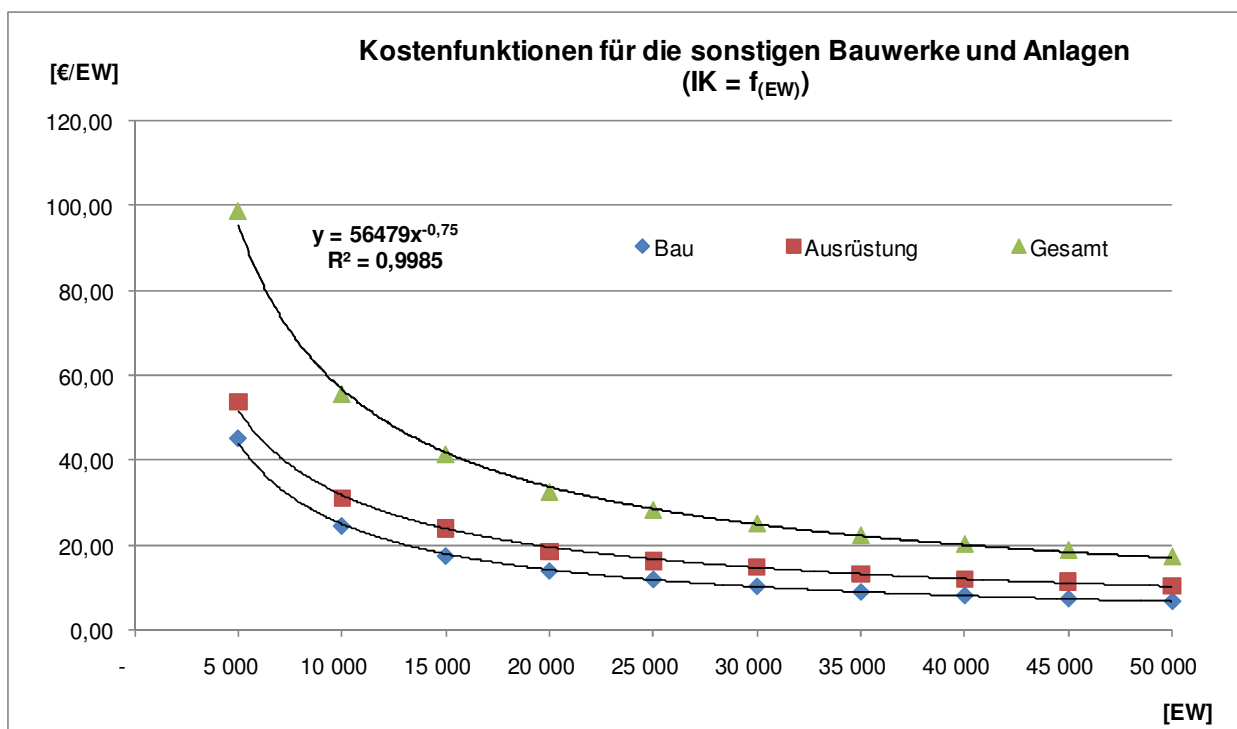


Bild 36: Kostenfunktion für die sonstigen Bauwerke und Anlagen

6.2.4 Zusammenstellung der Gesamtkosten

Die berechneten Kosten der Einzelbauwerke und Anlagen werden addiert und in einer Gesamtkostenfunktion zusammengefasst:

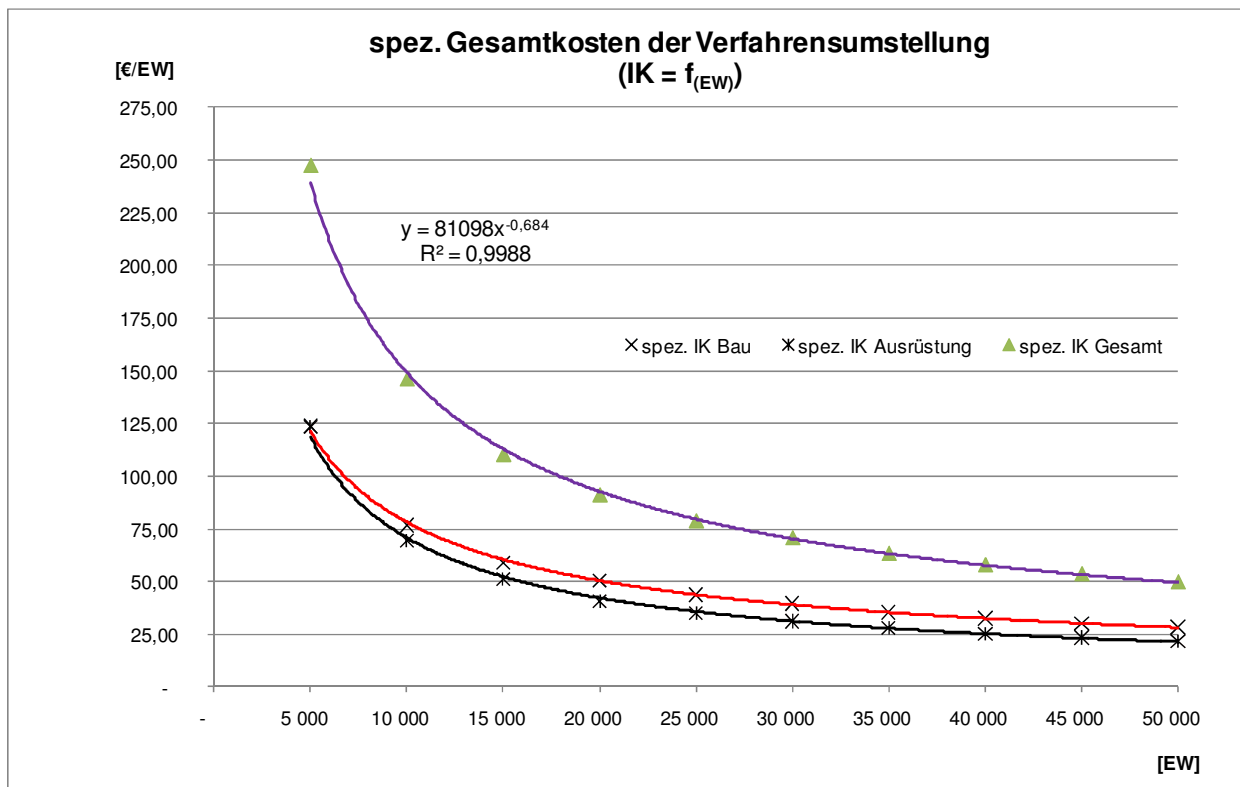


Bild 37: Kostenfunktion für die Ermittlung der Gesamtkosten der Verfahrensumstellung

6.2.5 Kapitalkosten

Die Kapitalkosten berechnen sich aus den Investitionskosten multipliziert mit den Kapitalwiedergewinnungsfaktoren (KFAKR). Die Kapitalwiedergewinnungsfaktoren werden in Abhängigkeit der Nutzungsdauer der jeweiligen Anlagenteile sowie des Zinssatzes wie folgt ermittelt:

$$\text{KFAKR}(i;n) = i \cdot (1 + i)^n / [(1 + i)^n - 1]$$

Die berechneten Faktoren können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden:

Tabelle 12: Kapitalwiedergewinnungsfaktoren

Nutzungsdauer		Zinssatz	KFAKR
Bauwerke; Verkehrsflächen usw.	40 a	4,0 %	0,050523
Ausrüstung (Pumpen, Rührwerke usw.)	20 a	4,0 %	0,073582
BHKW, Maschinelle Voreindickung	15 a	4,0 %	0,089941

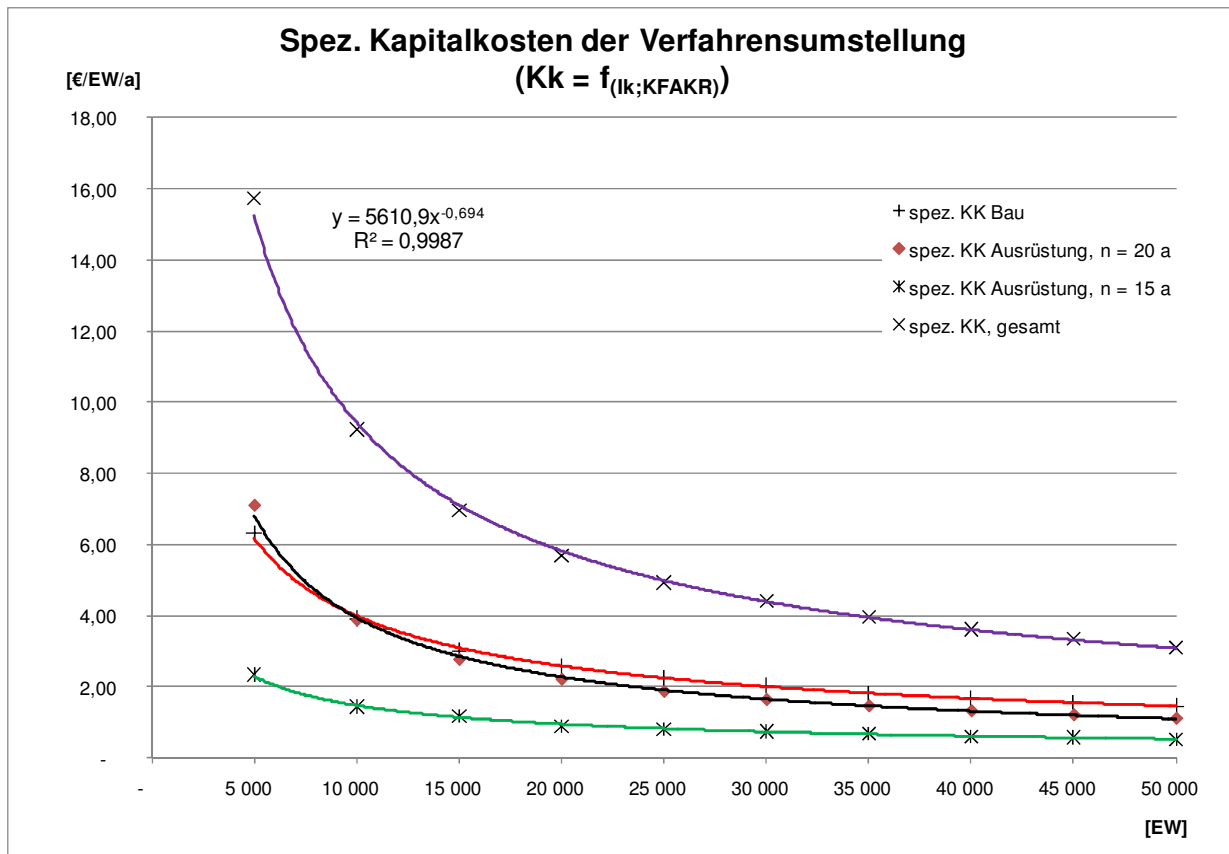


Bild 38: Kostenfunktion für die Ermittlung der spez. Kapitalkosten der Verfahrensumstellung

6.3 Betriebskosteneinsparungen

Durch die Umstellung der Verfahrensführung auf Schlammfäulung wird eine Reduzierung der Betriebskosten erreicht. Diese ergibt sich aus dem ersparten Energieaufwand in der biologischen Anlagenstufe, der möglichen Eigenstromerzeugung sowie der Reduzierung der zu entsorgenden Schlammengen aufgrund des weitergehenden Abbaus an organischer Substanz sowie der verbesserten Entwässerungseigenschaften. Im Gegenzug sind höhere Kosten für Wartung und Instandhaltung der zusätzlichen Bauwerke und Anlagen sowie höhere Personalkosten zu berücksichtigen.

6.3.1 Energiekosten

Für die Stromkosteneinsparung in der biologischen Behandlungsstufe wird bei den Anlagen bis 10.000 EW eine etwa 30 %ige Reduzierung des bisherigen Energieverbrauchs der Belüftungseinrichtung zugrunde gelegt (im Wesentlichen resultierend aus dem Vorschalten eines Vorklärbeckens sowie dem geringeren Schlammalter).

Aufgrund der möglichen Stilllegung eines Beckens wird bei den größeren Anlagen von einer Reduzierung des spez. Energieverbrauchs für die Belüftung und für die Umwälzung sowie Durchmischung von ca. 12 kWh/EW/a ausgegangen.

Die Eigenstromerzeugung erfolgt über den Einsatz eines BHKW. Der spez. Energieinhalt des Faulgases wird mit 6,5 kWh/m³ und der elektrische Wirkungsgrad des BHKW mit 30 - 35 % (in Abhängigkeit der Größe des BHKW) bei einer Verfügbarkeit von 95 % der Jahresstunden angesetzt.

Der erzeugte Strom wird eigengenutzt bzw. in das Stromnetz der Kläranlage eingespeist, so dass sich hieraus eine entsprechende Reduzierung des Fremdbezugs respektive der aufzuwendenden Stromkosten ergibt.

Es erfolgt einer Vergütung über den KWK Bonus mit 5,11 ct/kWh für Anlagen bis 50 kW el. Leistung und mit 2,10 ct/kWh für größere Anlagen. Für die Berechnung des KWK-Bonus wird von einer 85 %igen Prozesswärmenutzung der BHKW-Abwärme ausgegangen.

Der Energieverbrauch für den Betrieb der zusätzlichen Anlagenstufen wird auf Basis spez. Verbrauchswerte (siehe Baumann, Roth 2008) wie folgt berücksichtigt:

Vorklärbecken inkl. Primärschlammumpwerk:	0,2 kWh/EW/a
Zwischenpumpwerk:	0,6 kWh/EW/a pro m Förderhöhe
maschinelle Überschussschlammeindickung:	0,15 kWh/m ³ Schlammumsatz
Faulturm:	2,5 kWh/EW/a

6.3.2 Entwässerungs-/Entsorgungskosten

Für die Ermittlung der zu entwässernden bzw. zu entsorgenden Schlammengen wird davon ausgegangen, dass aus dem höheren oTR-Abbau in der Faulungsanlage eine um 10 g/EW/d geringere Feststofffracht resultiert. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass bei der maschinellen Entwässerung höhere Feststoffgehalte (27 % anstelle von 22 %) erreicht werden.

Die eingesparten Entwässerungskosten aufgrund des niedrigeren Schlammanfalls wurden mit 5,00 €/m³ bei kleineren Anlagen und mit 3,50 €/m³ bei den größeren Anlagen abgeschätzt.

Die spez. Entsorgungskosten wurden mit 60,00 €/t entwässertem Schlamm (spez. Preis für die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung) eingerechnet.

6.3.3 Personalkosten

Der zusätzliche Arbeitszeitbedarf wurde mit 5 bis 12 h/Woche und einem Stundenverrechnungssatz von 20,00 €/h berücksichtigt.

6.3.4 Wartung und Instandhaltung

Für die Wartung und Instandhaltung der neuen Anlagenstufen wurde ein Pauschalansatz von 0,15 %/a der Investitionskosten für den baulichen Teil und von 0,30 %/a der Investitionskosten für die Ausrüstung unterstellt.

Aus der Bilanzierung der Mehr-/Minderkosten ergibt sich die nachstehend aufgezeigte Kostenfunktion für die mögliche spez. Betriebskosteneinsparung bei Umstellung der Verfahrensführung.

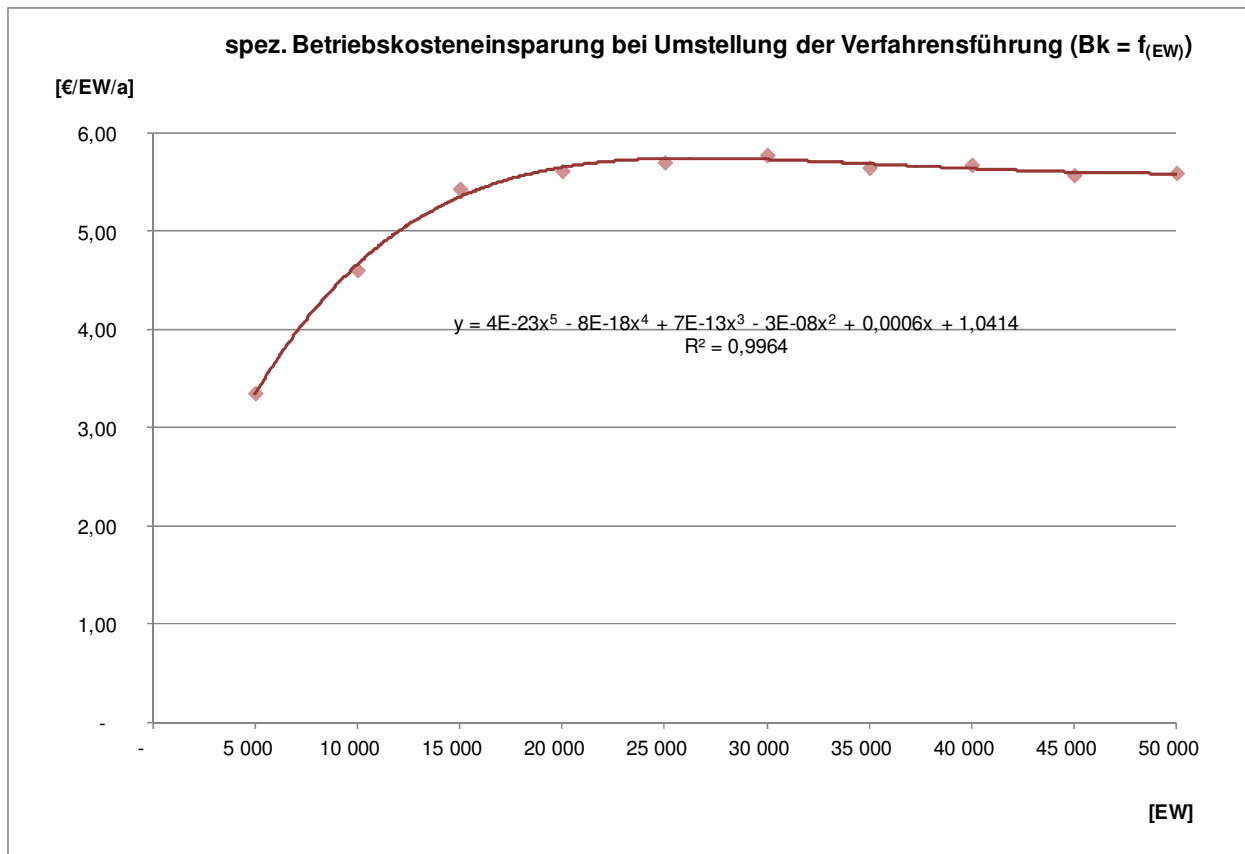


Bild 39: Kostenfunktion der möglichen spez. Betriebskosteneinsparung

6.4 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Durch Vergleich der Kapitalkosten mit den resultierenden Betriebskosteneinsparungen ergibt sich die Wirtschaftlichkeitsgrenze für die Verfahrensumstellung.

Wirtschaftlichkeitsgrenze unter aktuellen Rahmenbedingungen

Bild 41 zeigt bei den derzeitigen Energie- und Entsorgungskosten eine Wirtschaftlichkeitsgrenze der Verfahrensumstellung bei etwa 20.000 EW .

Der intensive Wettbewerb auf dem Strommarkt nach der Liberalisierung führte zunächst zu deutlich niedrigeren Strompreisen. Nachdem die Talsohle etwa im Jahr 2003 durchschritten war, steigen die Strompreise bis heute im Mittel um 5 – 7 % pro Jahr (Seibert-Erling, Etges 2010).

Seit Mitte 2000 sind Kohle und Erdgas beständig teurer geworden. Die Wirtschaftskrise seit Ende 2008 lässt zwar aktuell die Preise für Rohstoffe fallen, langfristig gesehen geht der Trend jedoch weiter aufwärts. Die Mehrkosten bei der Stromerzeugung werden in der Regel von den Stromanbietern auf die Kunden umgelegt. Hinzu kommen die schrittweise erhöhten Abgaben für die Stromsteuer (auch Öko-steuer genannt), das Erneuerbare Energien-Gesetz und die Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung. Der staatliche Anteil am Strompreis liegt bei etwa 40 Prozent (regional unterschiedlich, da sich die Konzessionsabgabe unterscheiden kann).

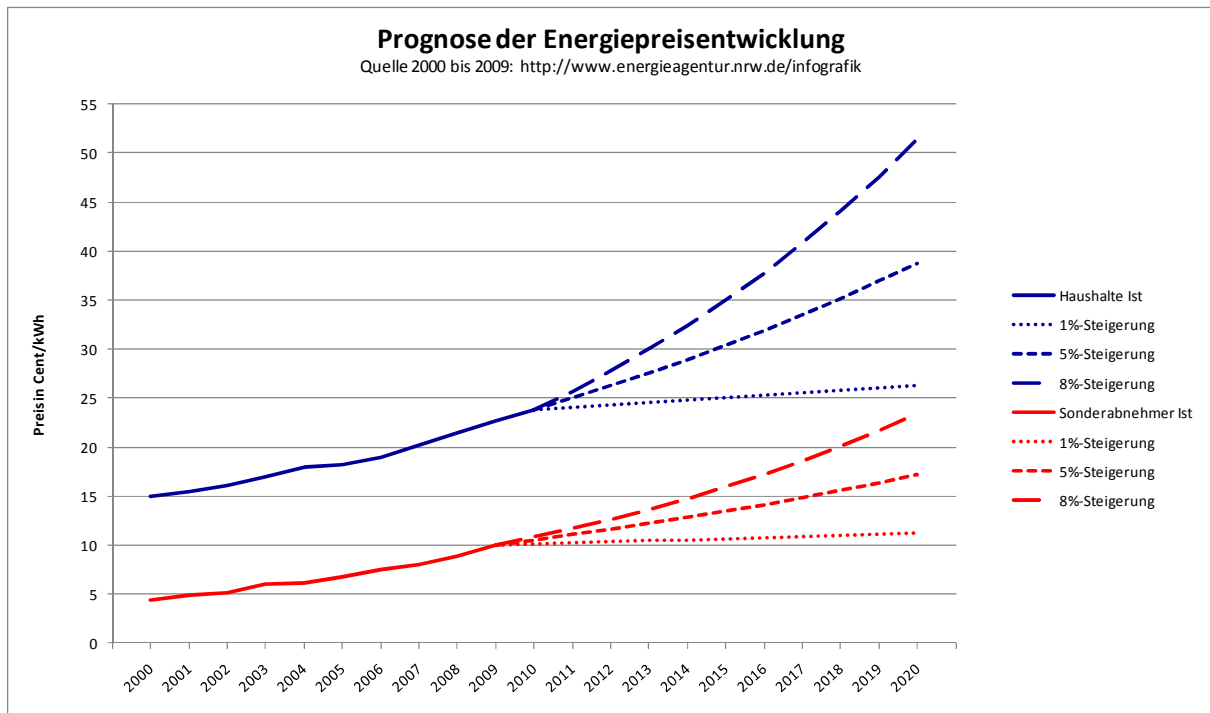


Bild 40: Energiepreisentwicklung ab dem Jahr 2000 mit Prognose bis 2020 (Energieagentur NRW 2011), ergänzt um eine Prognose bis 2020

Ein weiterer Kostenfaktor ist das so genannte Netznutzungsentgelt der Netzbetreiber. Um Strom vom Kraftwerk zum Kunden zu transportieren, berechnet der Eigentümer des Stromnetzes ein Entgelt, das auf alle Verbraucher umgelegt wird. Dies macht etwa 36% Prozent des Strompreises aus. Haushaltskunden zahlen so über 7 ct pro verbrauchter Kilowattstunde. Diese Netznutzungsentgelte werden in Deutschland von der Bundesnetzagentur genehmigt. An eine baldige Senkung ist nicht zu denken, da enorme Investitionen in das Stromnetz vorgesehen sind.

Eine Stagnation oder gar Umkehr der Energiepreisentwicklung ist nicht zu erwarten, wobei dies nicht erst seit der Naturkatastrophe in Japan bzw. dem hieraus resultierenden Atomreaktorunglück in Fukushima bekannt sein dürfte. Durch das wachsende Bewusstsein der Bevölkerung, insbesondere für die Verknappung der fossilen Energieträger sowie die Probleme des Klimawandels, spielen zwischenzeitlich neben reinen Wirtschaftlichkeitsüberlegungen auch die Aspekte des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung bzw. -verfügbarkeit eine immer größere Rolle.

Entscheidend für die Energiepreisentwicklung wird auch der "Energiehunger" der aufstrebenden Wirtschaftsnationen China und Indien sein, der zu einer weiteren rasanten Verknappung der Primärenergieträger und somit zu einer Verteuerung von Energie in jeglicher Form beitragen wird. Zudem ist es bisher, trotz Liberalisierung des Strommarktes, nicht gelungen, dem in Deutschland engen Stromoligopol, bei dem nur wenige große Anbieter vielen, meist kaum organisierten Abnehmern, ihre Ware bei möglichst geringer gegenseitiger Konkurrenz verkaufen, entgegenzuwirken.

Hinsichtlich der geordneten Klärschlamm Entsorgung ist davon auszugehen, dass die kostengünstige landwirtschaftliche Verwertung zukünftig aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen bzw. der erhöhten Güteanforderungen zunehmend ins Hintertreffen geraten wird. Der alternative Lösungsweg der thermischen Verwertung in Monoverbrennungsanlagen bei gleichzeitiger Phosphorrückgewinnung dürfte deutliche höhere Verwertungs- und Entsorgungskosten verursachen.

Die vorstehenden Überlegungen führen zwangsläufig dazu, dass die Betreiber von Kläranlagen im Rahmen eines verantwortungsvollen, wirtschaftlichen und zukunftsicheren Anlagenbetriebes die Verfahrensvariante der "Schlammfäulung" in ihre Überlegungen einzubeziehen haben.

Auch wenn unter heutigen Rahmenbedingungen, das bedeutet ohne jegliche Preissteigerungen in Zukunft eine Verfahrensumstellung erst bei Kläranlagen > 20.000 EW wirtschaftlich realisierbar ist, zeigt Bild

41 des Projektkostenbarwertvergleichs der Faulung mit der aeroben Stabilisierung bei jährlich steigenden Betriebskosten zwischen 0 und 5 %/a und einem Realzinssatz von 4 %, dass die Wirtschaftlichkeit mit zunehmenden Betriebskosten sehr schnell auch für kleinere Ausbaugrößen gegeben ist.

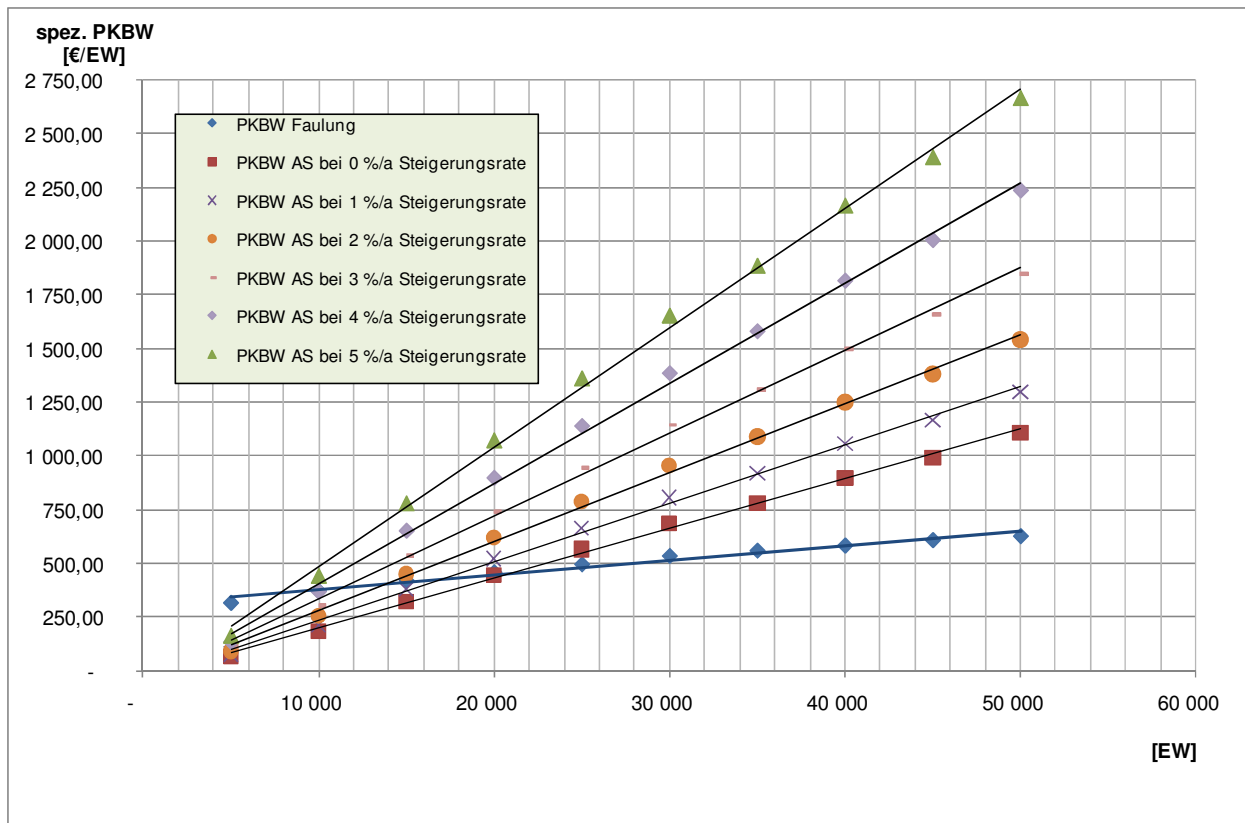


Bild 41: Empfindlichkeitsprüfung – Projektkostenbarwertvergleich bei steigenden Betriebskosten und einem Zinssatz von $i = 4\%$

Bereits eine Steigerungsrate von lediglich 2 %/a führt dazu, dass die Umstellung auch für Kläranlagen ab 15.000 EW interessant ist. Bei einer Steigerung von 3 %/a ist die Verfahrensumstellung bereits für Anlagen ab 10.000 EW wirtschaftlich realisierbar.

Eine Berücksichtigung der Zinssätze (angenommener Bereich zwischen 3 und 5 %) führt im günstigsten Fall dazu, dass bereits ab 7.300 EW eine Umstellung möglich ist, im ungünstigsten Fall ab ca. 20.000 EW (vgl. Anhang 2).

Die vollständigen Empfindlichkeitsprüfungen für alle Randbedingungen von Preissteigerungsraten zwischen 0 und 5 % sowie Realzinssätzen zwischen 3 und 5 % können dem Anhang (Kapitel 11) entnommen werden.

Zusammenfassung Kostenfunktionen

Zur überschlägigen Prüfung, der Wirtschaftlichkeit der Verfahrensumstellung auf Faulung wurden Kostenfunktionen entwickelt, anhand derer Kläranlagenbetreiber beurteilen können, ob weitergehende Untersuchungen für ihren speziellen Anwendungsfall grundsätzlich geboten sind.

Durch Vergleich der Kapitalkosten mit den resultierenden Betriebskosteneinsparungen ergibt sich die Wirtschaftlichkeitsgrenze der Verfahrensumstellung, die bei derzeitigen Energie- und Entsorgungskosten bei etwa 20.000 EW liegt. Bereits eine Steigerungsrate von 2 %/a würde bei einem Realzinsatz von 4 % dazu führen, dass die Umstellung bereits für Kläranlagen ab 15.000 EW interessant würde. Bei einer Steigerung von 3 %/a ist die Verfahrensumstellung bereits für Anlagen ab 10.000 EW wirtschaftlich realisierbar.

Anmerkung:

Die jährliche Steigerung der Strompreise lag in den letzten Jahren i. M. bei 5 - 7 %.

7 Erarbeitung einer Checkliste zur Umstellung

Die im Rahmen der Projektbearbeitung entwickelte „Checkliste“ dient Anlagenbetreibern und Planern zur Prüfung der Fragestellung, ob eine Kläranlage für eine Umstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung möglicherweise geeignet ist und eine detaillierte Untersuchung durchgeführt werden sollte.

Die Checkliste ist in drei Blöcke untergliedert.

Im **Block 1 „Basisabfrage“** wird die Belastung der Kläranlage erfasst. Sie stellt die Grundlage für die weiteren Betrachtungen dar. Eine überschlägige Abschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Umstellung basierend auf der tatsächlichen Belastung der Kläranlage zeigt, ob eine weitere Prüfung unter den gewählten ökonomischen Rahmenbedingungen sinnvoll ist.

Block 2 umfasst eine Überprüfung der „**Verfahrenstechnik**“ auf der zu untersuchenden Kläranlage. Dazu werden die Bereiche „Mechanische Stufe“, „Biologie“ und „Nachklärung“ näher betrachtet. Ggfs. erforderliche Anpassungen im Rahmen einer Umstellung werden aufgezeigt, desweiteren erfolgen Hinweise, ob möglicherweise eine Umnutzung von Becken in Frage kommt.

Block 3 schließt mit einer „**Abschätzung der voraussichtlichen Investitionskosten**“ unter den gegebenen Rahmenbedingungen.

Nachfolgend werden die einzelnen Blöcke der Checkliste näher betrachtet und erläutert. Die vollständige Checkliste kann dem Anhang (Kapitel 12) zu diesem Bericht entnommen werden.

Anmerkung:

Die Checkliste liegt in Form eines Fließbildes vor, anhand dessen der Anwender eine Prüfung für seine Anlage vornehmen kann. Auf eine klassische Checkliste, die auf dem Ankreuzen von Kriterien basiert, wurde aufgrund der Individualität der einzelnen Anlagen gezielt verzichtet.

7.1 Block 1: Basisabfrage

7.1.1 Angeschlossene EW - Belastung der Kläranlage

Die Ausbaugröße spiegelt die tatsächliche Belastungssituation der Kläranlage in der Regel nicht ausreichend wieder. Aus diesem Grund erfolgt hier eine frachtbasierte Ermittlung der angeschlossenen Einwohnerwerte (EW).

Grundlage dafür bilden 24-h Mischproben des Zulaufs, auf deren Basis entsprechend ATV-DVWK-A 198 die Frachtermittlung erfolgt.

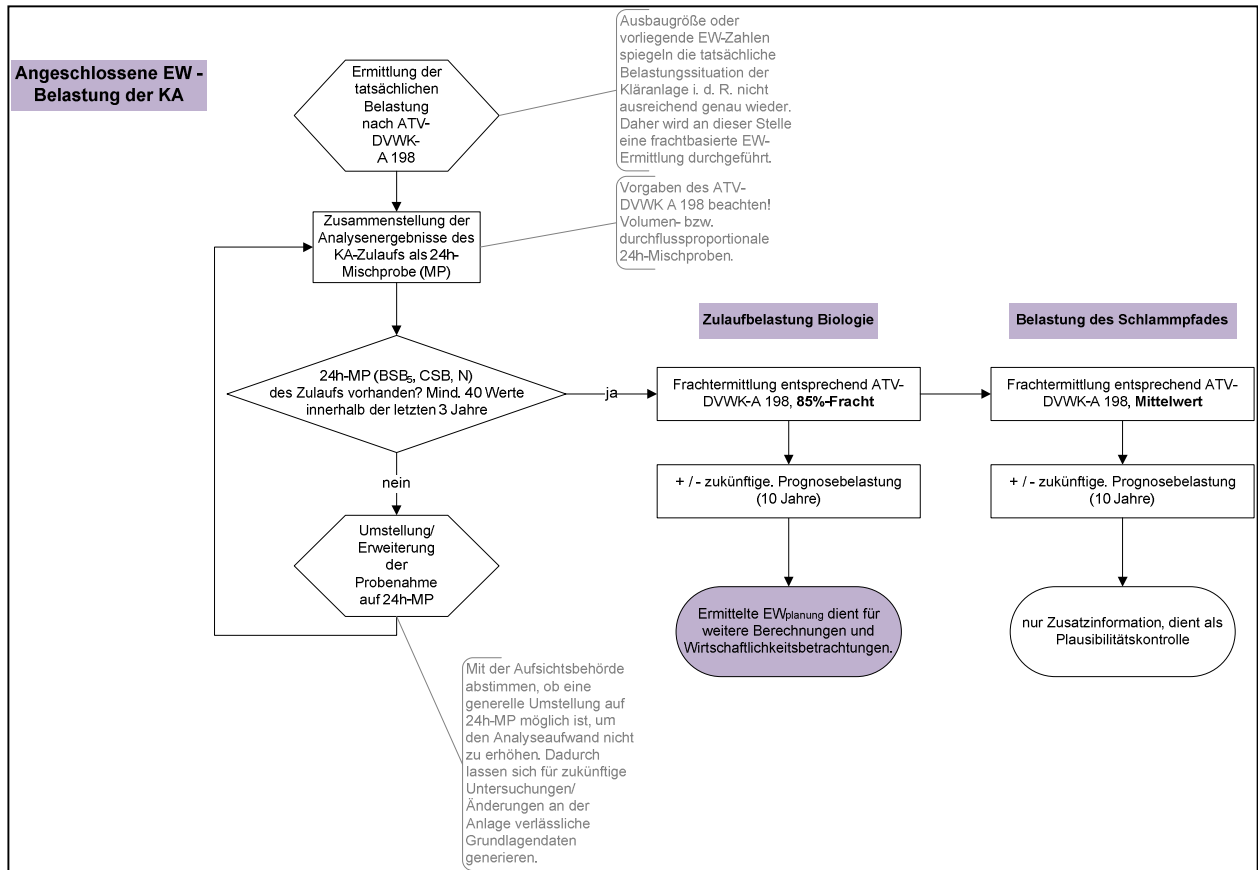


Bild 42: Checkliste Block 1 - Ermittlung der Belastung der Kläranlage

7.1.2 Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit

Nach Ermittlung der tatsächlichen Belastung der Kläranlage erfolgt eine überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit, um die Frage zu klären, ob eine Umstellung auf Faulung ggfls. kostengünstiger ist als der Weiterbetrieb der aeroben Stabilisierung. Basierend auf der in Kapitel 6 ermittelten Kostenfunktion sowie dem ermittelten EW-Wert kann die Wirtschaftlichkeit unter den entsprechenden Rahmenbedingungen abgeschätzt werden. Zeichnet sich eine Wirtschaftlichkeit ab, wird die Prüfung an Hand der Checkliste fortgesetzt.

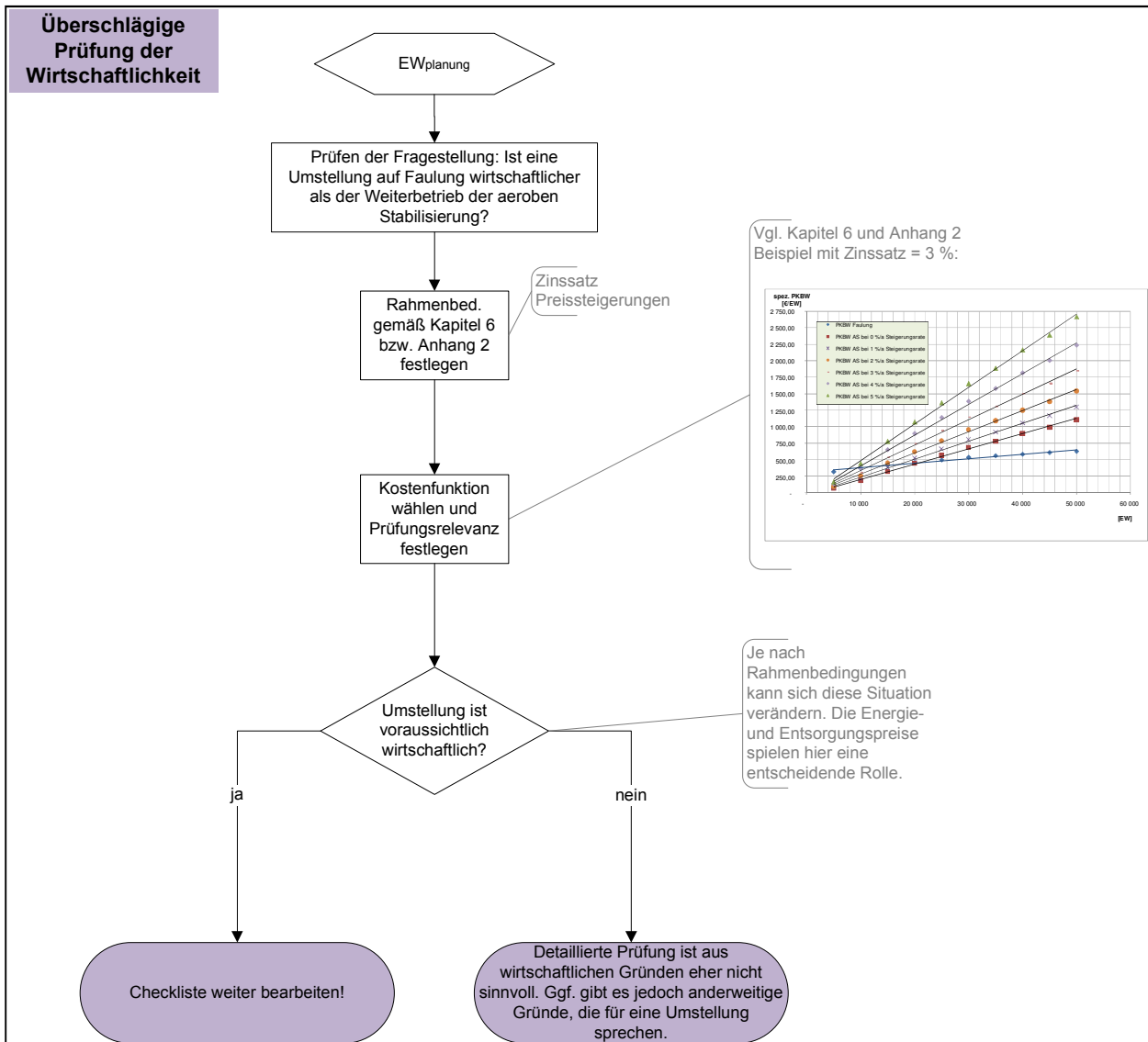


Bild 43: Checkliste Block 1 – Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit

7.2 Block 2: Verfahrenstechnik

7.2.1 Mechanische Stufe

Rechen

Es wird geprüft, ob eine Feinrechenanlage vorhanden ist, die die Gefahr einer Schwimmdeckenbildung im Faulbehälter deutlich reduziert (vgl. Bild 44).

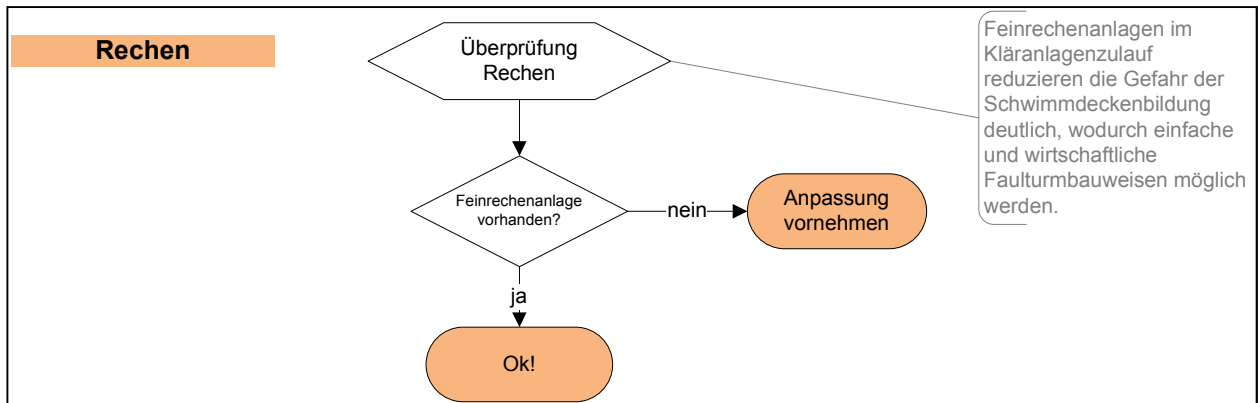


Bild 44: Checkliste Block 2 – Prüfung Rechen

Sandfang

Die Funktionalität des Sandfangs wird geprüft, um übermäßigen Sandeintrag in den Faulturm zu vermeiden (vgl. Bild 45).

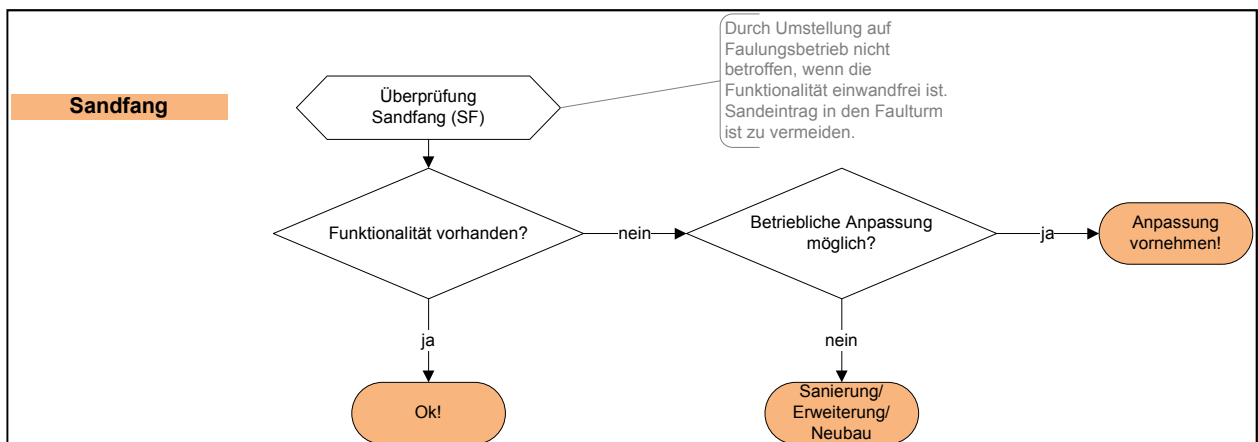


Bild 45: Checkliste Block 2 - Prüfung Sandfang

Vorklärung

Die Vorklärung ist eine wesentliche Verfahrensstufe bei einem Faulungsbetrieb. Nach Ermittlung des Volumenbedarfs für diesen Prozessschritt erfolgt eine Abfrage nach ggfls. vorhandener Vorklärung. Dies ist i. d. R. bei Anlagen mit simultan aerober Schlammstabilisierung nicht der Fall. Im Anschluss ist zu prüfen, ob freie, freiwerdende oder unnutzbare Beckenvolumina vorhanden sind (siehe Kapitel 4), vgl. Bild 46.

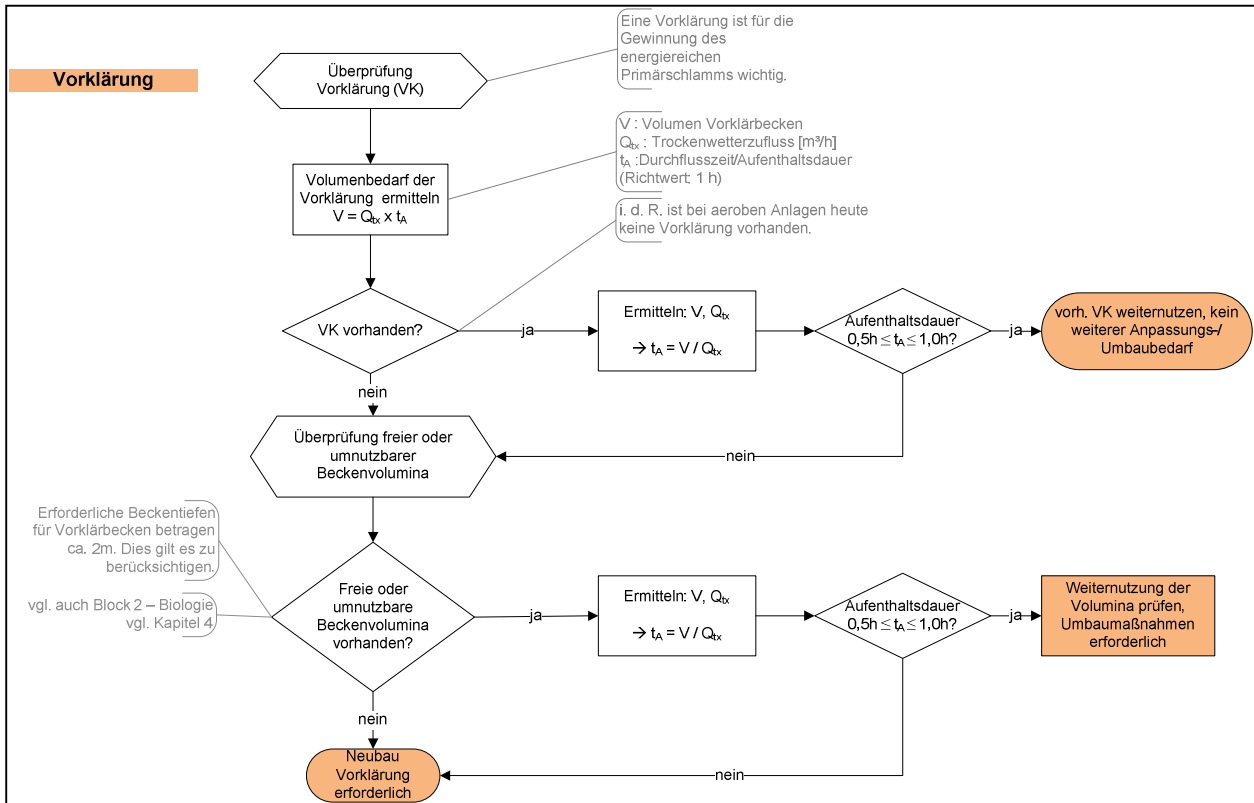


Bild 46: Checkliste Block 2 - Prüfung Vorklärung

7.2.2 Biologie - Belebungsbecken

Beckenvolumen Belebung – Vergleich

Das Ergebnis dieser Prüfung ist der Anteil an Belebungsbeckenvolumen der im Falle einer Umrüstung auf Faulung nicht mehr erforderlich ist und einer möglichen Umnutzung zur Verfügung steht (vgl. Bild 47).

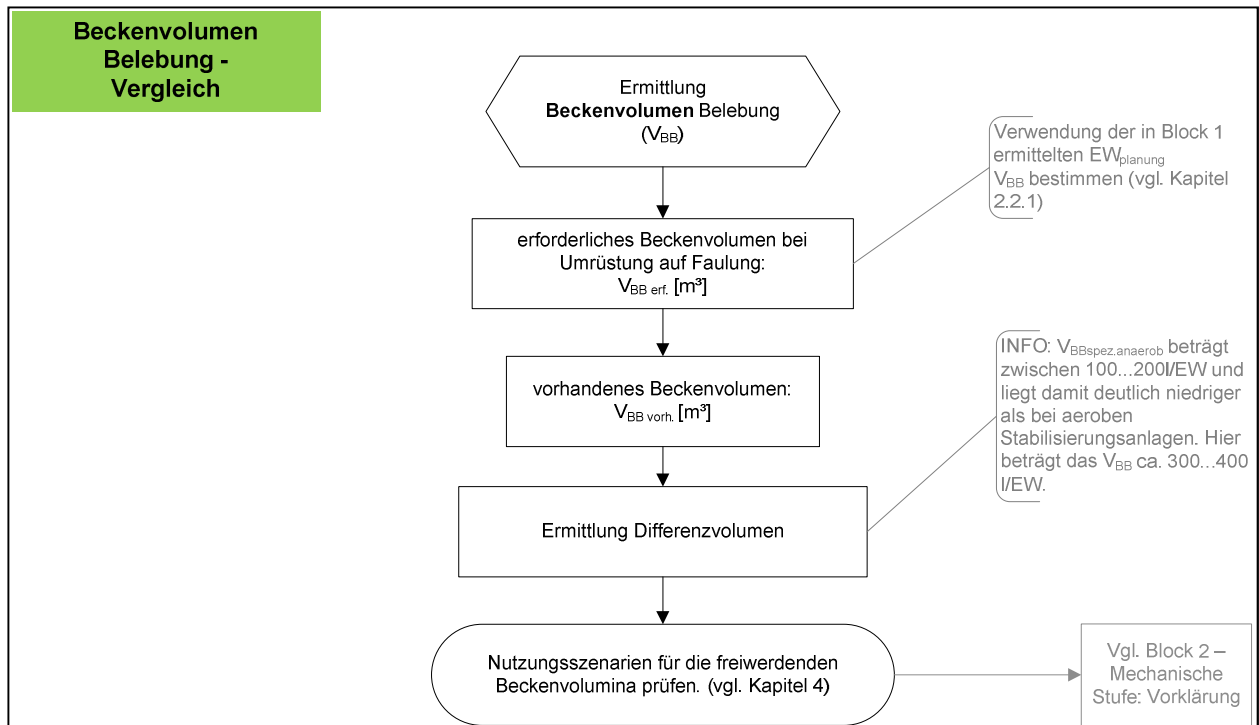


Bild 47: Checkliste Block 2 – Beckenvolumen Belebung - Vergleich

7.2.3 Nachklärung

In Abhängigkeit der aktuellen Situation der Nachklärung können bei Umstellung möglicherweise vorhandene Probleme (Schlammabtrieb, Schwimmschlamm) verringert bzw. beseitigt werden. Anpassungen sind bei der Nachklärung i. d. R. nicht zu erwarten (vgl. Bild 49).

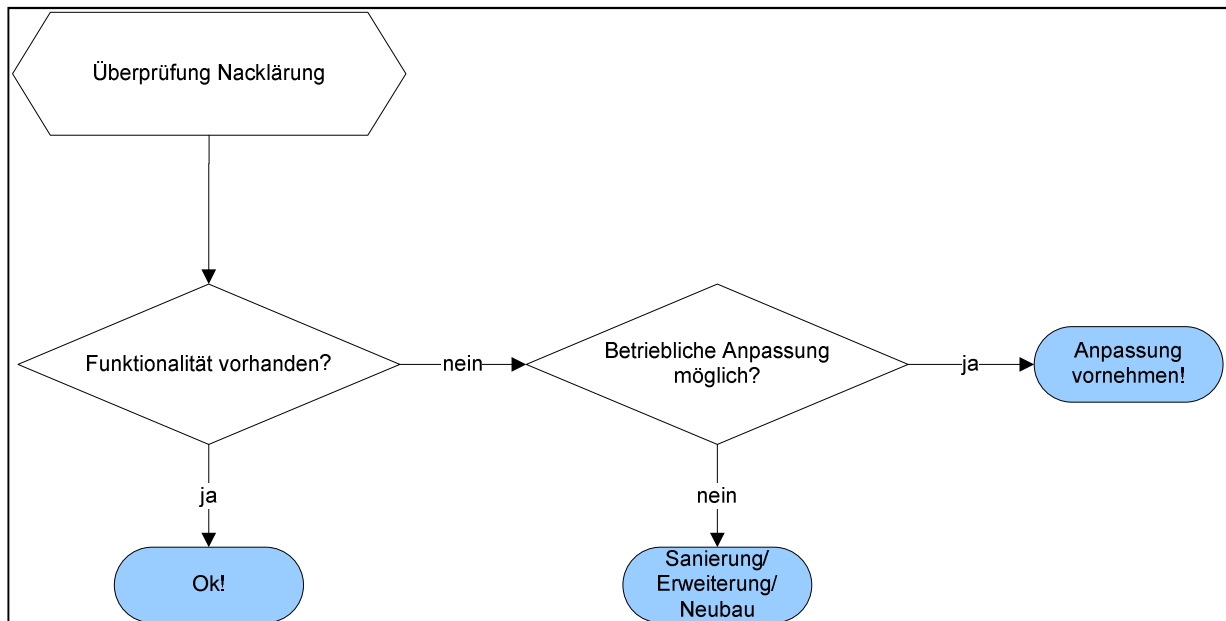


Bild 49: Checkliste Block 2 - Nachklärung

7.3 Block 3: Investitionskosten

Die im Rahmen einer Umstellung auftretenden spezifischen Gesamtkosten können anhand der in Block 1 ermittelten EW-Zahl aus dem Diagramm in Kapitel 6.2.4 abgeschätzt werden.

Über die abgeschätzten spezifischen Einzelkosten können die jeweiligen Randbedingungen berücksichtigt werden (siehe Anhang 2).

Abschätzung voraussichtlicher Gesamtkosten

Vgl. Kapitel 6 bzw. Anhang 2
Grundlage bilden die in Block 1 ermittelten EW_{planung}

Spez. Gesamtkosten aus Diagramm ablesen

Kosten = $EW_{\text{planung}} \times \text{spez. Gesamtkosten}$

Das Diagramm zeigt die spezifischen Gesamtkosten (K) in € auf der Y-Achse (0 bis 275.00) in Abhängigkeit von der elektrischen Leistung (EW) in kW auf der X-Achse (0 bis 60.000). Es gibt zwei Kurven: eine für die 'spez. K. Ausleitung' (blau) und eine für die 'spez. K. Gesamt' (rot). Die Formeln $y = 0,0004 \cdot x^{1,041}$ und $y = 0,0008 \cdot x^{1,041}$ sind angegeben.

Abschätzung voraussichtlicher Einzelkosten

Vgl. Kapitel 6 bzw. Anhang 2
„Kostenfunktionen“

Kosten der Vorklärung	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten für Faulbehälter	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Zwischenpumpwerk	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Rohschlammbehälter	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Primärschlammumpwerk	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten maschinelle Voreindickung	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Technikgebäude	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Gasspeicher u. Gasfackel	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Blockheizkraftwerk	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten sonstige Bauwerke & Anlagen	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Summe der Einzelpositionen:					_____ €

Bild 50: Checkliste Block 3 - Investitionskosten

Zusammenfassung Checkliste

Mit dem entwickelten Instrumentarium steht erstmals ein Werkzeug zur Verfügung, das es Kläranlagenbetreibern und Planern erlaubt, abzuschätzen, ob eine Umstellung auf Faulung Sinn macht.

Neben der wirtschaftlichen Abschätzung einer Umstellung werden auch damit einhergehende Änderungen in der Prozesskette aufgezeigt.

Die Checkliste greift auf i. d. R. vorhandene Betriebsdaten zurück. Unter Umständen kann die Erhebung weiterer Daten erforderlich werden.

8 Anwendung der Checkliste an einer Musteranlage

Die im vorherigen Kapitel aufgeführte Checkliste wird anhand einer Musteranlage exemplarisch angewendet. Es können an dieser Stelle nicht alle Möglichkeiten erfasst werden, jedoch bietet dieses Beispiel dem Anwender eine Hilfestellung.

8.1 Kurzbeschreibung der Anlage

Bei der untersuchten Kläranlage handelt es sich um eine mechanisch-biologische Abwasserreinigungsanlage mit einer Ausbaugröße von 13.000 EW₆₀, die mit gemeinsamer aerober Stabilisierung betrieben wird. Sie besteht aus Rechen und Sandfang, einem vorgeschalteten Anaerobreaktor zur biologischen P-Rücklösung, zwei intermittierend betriebenen Belebungsreaktoren sowie zwei Nachklärbecken. Die Beckenvolumina können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden. Die Anordnung der Becken Bild 51.

Tabelle 13: Beckengeometrien

Becken	Volumen [m ³]	Tiefe [m]	Geometrie
Anaerobbecken	3 x 217		Rechteckbecken
Belebungsbecken Straße 1	3.325	5,4	Rundbecken
Belebungsbecken Straße 2	1.300	5,3	Kombibecken (äußerer Ring)
Nachklärbecken Straße 1	380	3	Rundbecken
Nachklärbecken Straße 2	315	4,2	Kombibecken (innerer Ring)

Der Schlamm wird in einem Schlamm-speicher (Stapelbehälter) zwischengelagert. Die Entwässerung des Schlamms erfolgt mit Hilfe einer mobilen Presse, die Verwertung in der Landwirtschaft.

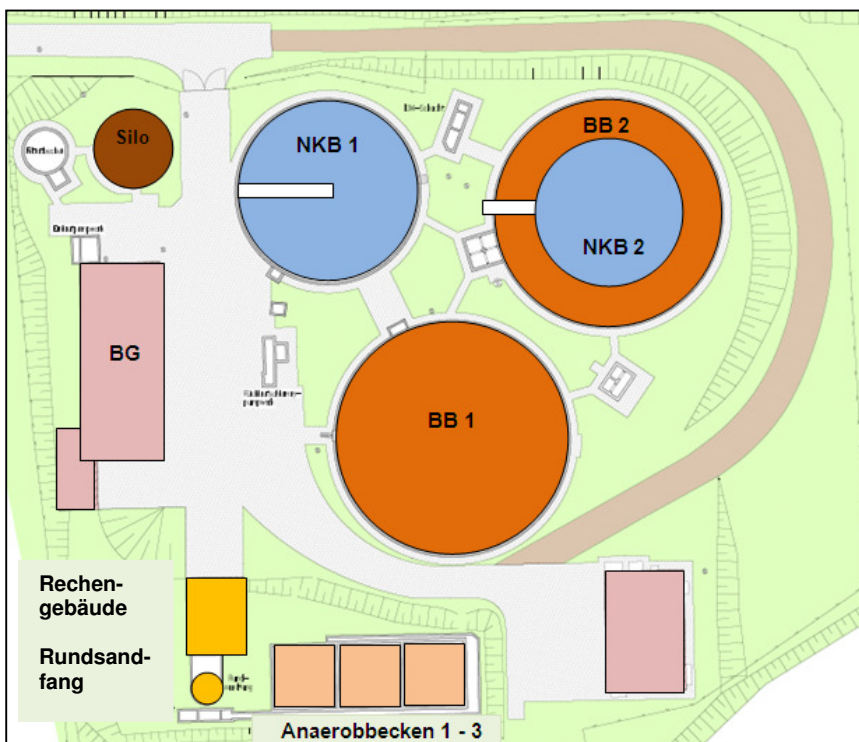


Bild 51: Skizze der Musteranlage

8.2 Anwendung der Checkliste

8.2.1 Block 1 – Basisabfrage

Angeschlossene EW

Der Anlagenbetreiber nimmt wöchentlich zuflussproportionale 24-h-Mischproben. Basierend auf dieser vorbildlichen Datengrundlage kann die tatsächliche Zulaufbelastung der Anlage ermittelt werden.

Die Auswertung ergab eine Zulaufbelastung von 17.300 EW_{60} (85%-Wert). Damit ist die Anlage im Vergleich zum Ausbauzustand (13.000 EW) deutlich überlastet.

Die Demografieprognose für das betrachtete Einzugsgebiet geht bis 2020 von einem Bevölkerungsrückgang von 5% aus (vgl. <http://www.statistik.rlp.de/staat-und-gesellschaft/bevoelkerung-und-gebiet/demografische-entwicklung/>). Es ist somit nicht von einem weiteren Bevölkerungszuwachs auszugehen.

Die nachfolgende Betrachtung erfolgt daher für den Wert von $EW_{\text{planung}} = 17.300 \text{ EW}$.

Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit

Mit dem oben ermittelten Wert für EW_{planung} kann eine überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit einer Umstellung auf Faulungsbetrieb vorgenommen werden (vgl. auch Kapitel 6 und Anhang 2).

Wie die Entwicklung der letzten Jahre gezeigt hat ist von einer Preissteigerung sowohl der Energie- als auch der Entsorgungskosten auszugehen.

Die Wirtschaftlichkeit wird für folgende Randbedingungen geprüft:

- Realzinssatz $i = 3,0 \%$
- Preissteigerungsraten für Energie- und Entsorgungskosten zwischen 0 und 5 %/a

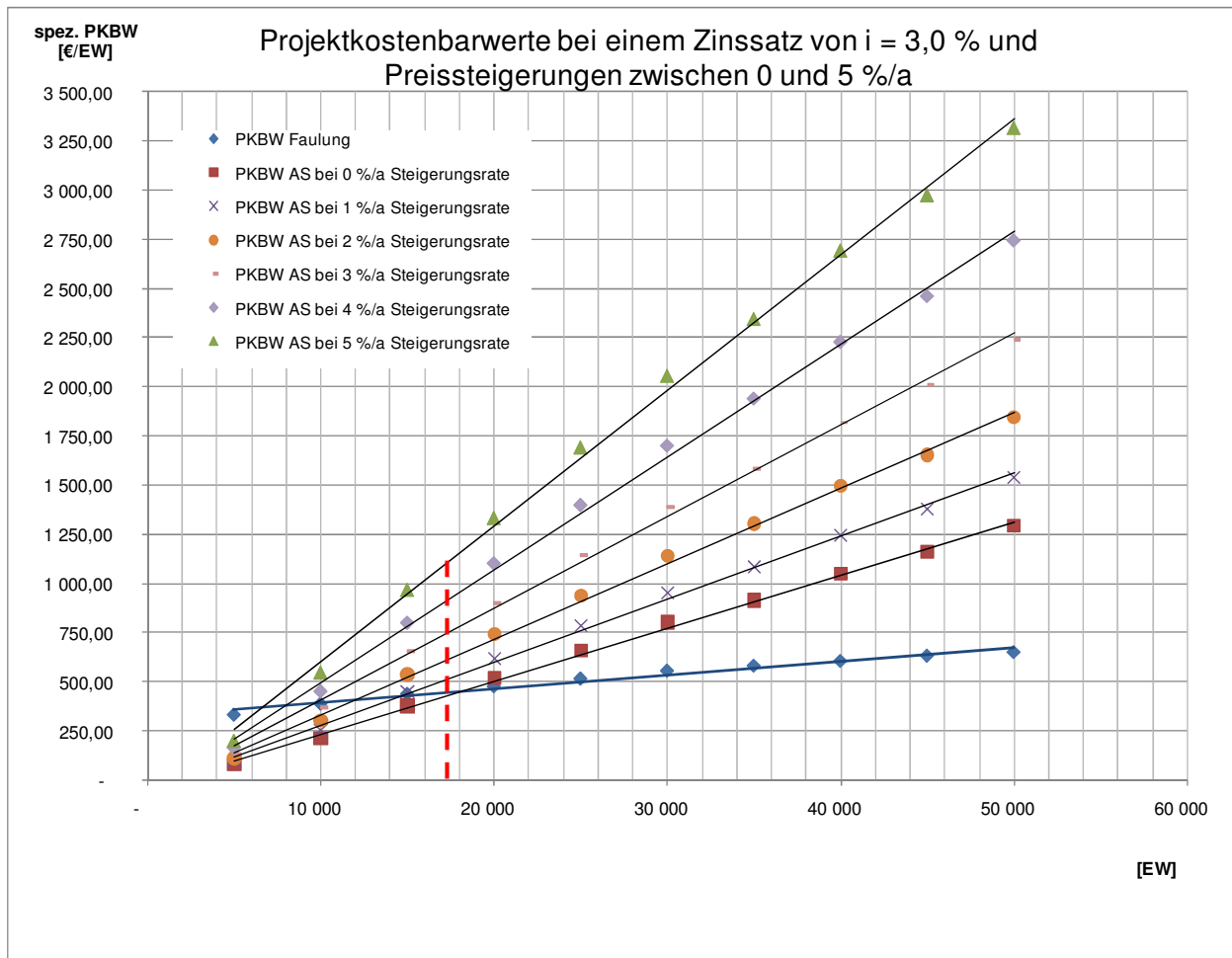


Bild 52: Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit

Aus Bild 52 geht hervor, dass bereits bei einer jährlichen Preissteigerung von 1 % eine Umstellung auf Schlammfäulung wirtschaftliche Vorteile gegenüber der aeroben Stabilisierung erwarten lässt. Bei zu erwartenden größeren Preissteigerungsraten verbessert sich die Situation deutlich und eine Umstellung wird zunehmend interessant.

Das Ergebnis der Basisabfrage lautet somit:

**Prüfung der Umstellung ist sinnvoll, da unter gegebenen
Rahmenbedingungen Wirtschaftlichkeit zu erwarten ist
→ Checkliste weiter bearbeiten**

8.2.2 Block 2 – Verfahrenstechnik: Mechanische Stufe

Rechen

Der installierte Rechen ist ein Feinrechen mit ausreichend kleinem Stababstand. Hier sind keine weiteren Maßnahmen zu ergreifen.

Sandfang

Der Sandfang ist für die Zulaufbelastung ausreichend dimensioniert und erfüllt seine Funktion. Hier sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.

Vorklärung

Basierend auf der durchgeführten Auswertung der Betriebstagebücher der Trockenwetterzufluss zur Kläranlage mit 56,2 l/s angegeben werden.

Das Vorklärbeckenvolumen ergibt sich bei einer Aufenthaltszeit von 1 Stunde zu:

$$V = 56,2 \text{ l/s} \times 3,6 \times 1 \text{ h} = 202 \text{ m}^3$$

Eine Vorklärung ist nicht vorhanden.

Es gibt auf der Kläranlage derzeit keine freien Beckenvolumina. In Erwägung gezogen werden kann allerdings die Umnutzung eines der drei Anaerobbecken mit einem Volumen von 217 m³. Die sich daraus ergebende Aufenthaltszeit läge bei etwas mehr als 1h. Eine Umrüstbarkeit sowie Kosten-Nutzenabschätzung im Vergleich zu einem Neubau wären zu prüfen.

Ergebnis:

**Prüfung der Umnutzung eines Anaerobbeckens als Vorklärbecken
(alternativ: Neubau eines Vorklärbeckens)**

8.2.3 Block 2 - Verfahrenstechnik: Biologie

Beckenvolumen Belegung - Vergleich

Das erforderliche Belegungsbeckenvolumen für Faulungsbetrieb ergibt sich aus der Grafik in Kapitel 2.2.1 Bild 1. Für 17.300 EW lässt sich ein erforderliches Volumen von

$$V_{BB \text{ erf.}} = 2.940 \text{ m}^3$$

ablesen.

Das derzeit vorhandene Volumen setzt sich zusammen aus den beiden Belegungsbecken sowie den 2 Anaerobbecken (Annahme: 1 Anaerobbecken wird als Vorklärung genutzt.) und beträgt somit

$$V_{BB \text{ vorh.}} = 5.059 \text{ m}^3$$

Ergebnis:

$$V_{BB \text{ vorh.}} = 5.059 \text{ m}^3 >> V_{BB \text{ erf.}} = 2.940 \text{ m}^3$$

Weiternutzung Beckenvolumen

Das erforderliche Volumen von 2.940 m³ entspricht im vorliegenden Fall in etwa dem Beckenvolumen von Straße 1 (3.325 m³).

Dies bietet die Möglichkeit Belegungsbecken 2 außer Betrieb zu nehmen und Becken 1 als alleiniges Belegungsbecken weiter zu nutzen.

Um die Prozesse im Belegungsbecken sicherzustellen ist eine ausreichende Schlammmasse erforderlich. Ausgehend von einem erforderlichen Schlammalter von ca. 10 - 15 d, gewählt 12,5 d, einem spezifischen ÜSS-Anfall von 0,9 kg TS/kg BSB₅ und einem 25%-igen Vorabbau im Vorklärbecken berechnet sich dies wie folgt:

$$\begin{aligned} M_{\text{TS, BB erf.}} &= B_{\text{d,BSB}_5} \times t_{\text{TS}} \times \text{ÜS}_d \\ &= \frac{1.038 \text{ kg BSB}_5}{\text{d}} \times 0,75 \times 12,5 \text{ d} \times 0,9 \frac{\text{kg TS}}{\text{kg BSB}_5} \\ &= 8.760 \text{ kg TS} \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich ein TS-Gehalt im Belebungsbecken 1, welches zukünftig als alleiniges Becken weiterbetrieben wird, von

$$TS_{BB} = \frac{M_{TS}}{V_{BB}} = \frac{8.760 \text{ kg}}{3.325 \text{ m}^3} = \text{rd. } 2,7 \text{ kg TS/m}^3.$$

Der TS-Gehalt im Belebungsbecken sollte aus betrieblichen Gründen nicht unter 2 kg/m^3 abgesenkt werden. Dies ist vorliegend gegeben.

Informativ:

Der aktuelle TS-Gehalt im Becken liegt im Mittel bei ca. 5 g/l . Daraus resultiert eine derzeitige Schlamm-masse von:

$$M_{TS \text{ vorh.}} = 5.276 \text{ m}^3 \times 5 \text{ g/l} = 26.380 \text{ kg TS}$$

Der TS-Gehalt in der Belebung liegt üblicherweise zwischen 2 und 4 g/l . Damit kommt eine Weiternutzung von Becken 1 in Frage.

8.2.4 Block 2 – Verfahrenstechnik: Nachklärung

Die auf der Kläranlage vorhandene Schwimmschlammproblematik kann durch eine Umstellung auf Faulungsbetrieb möglicherweise beseitigt werden, weil die Wachstumsvorteile durch Umstellung auf Faulung von z. B. fadenförmigen Bakterien in der Belebung beseitigt werden.

8.2.5 Block 3 - Investitionskosten

Grundlage für Abschätzung der Investitionskosten bilden die EW_{planung} , die in Block 1 ermittelt wurden. Basierend auf der in Kapitel 6 entwickelten Kostenfunktion, vgl. auch Bild 53.

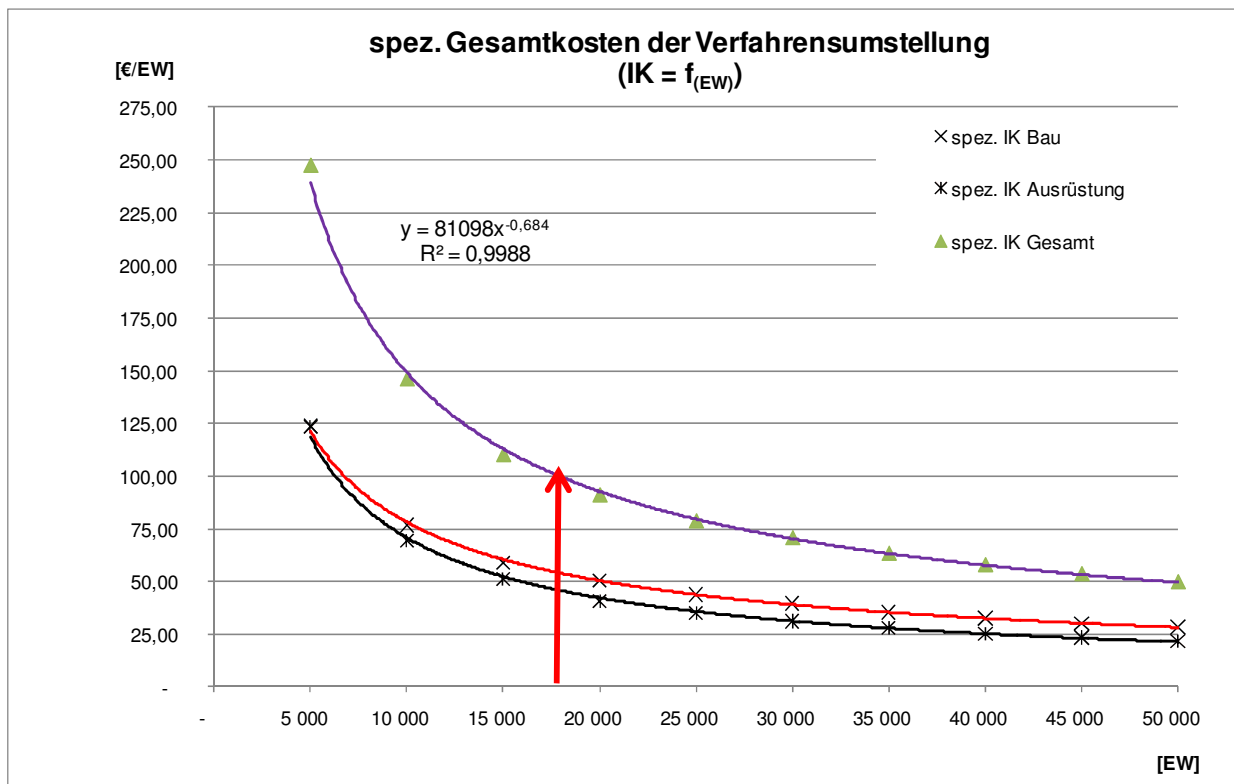


Bild 53: Spezifische Gesamtkosten bei einer Umstellung auf Faulungsbetrieb

Mit $EW_{\text{planung}} = 17.300 \text{ EW}$ ergeben sich somit spezifische Gesamtkosten von

$$y = 81.098 \times 17.300^{-0,684} \text{ €/EW} = \text{ca. } 102 \text{ €/EW}$$

bzw. Gesamtkosten von

$$17.300 \times 102 \text{ €/EW} = \text{ca. } 1,77 \text{ Mio. €}$$

In einem weiteren Schritt könnten die Gesamtkosten auf die einzelnen Bereiche, die von einer Umstellung betroffen sind spezifiziert werden. Dadurch ließen sich die Gesamtkosten konkretisieren.

8.3 Zusammenfassung:

- Die Umstellung auf Faulung lässt wirtschaftliche Vorteile gegenüber der aeroben Stabilisierung erwarten.
- Ein Anaerobbecken kann als Vorklärbecken genutzt und entsprechend umgebaut werden.
- Das Belebungsbecken 2 wird stillgelegt (äußerer Ring des Kombibeckens) und Belebungsbecken 1 als alleinige Belebung genutzt.

Das Ergebnis lautet somit:

Es wird empfohlen, den Bau einer Schlammfaulungsanlage ingenieurtechnisch zu prüfen.

9 Abschätzung des energetischen Optimierungspotenzials durch Umnutzung von aeroben Stabilisierungsanlagen in Rheinland-Pfalz

Die in Kapitel 6 entwickelten Kostenfunktionen machen deutlich, dass das Umstellungspotenzial unter bestimmten Rahmenbedingungen größer sein kann, als in Modul 1 abgeschätzt. Selbst Anlagen mit einer Ausbaugröße unter 10.000 EW kommen ggfls. für eine Umstellung in Betracht. Basierend auf diesen Kostenfunktionen sowie den nachfolgend aufgeführten Rahmenbedingungen wird das energetische Optimierungspotenzial durch Umnutzung von aeroben Stabilisierungsanlagen auf Faulungsanlagen in Rheinland-Pfalz aufgezeigt.

Die jährliche Energiepreissteigerung lag bei Sonderabnehmern in den letzten 9 Jahren bei über 9 %. In den nachfolgenden Betrachtungen wird von einer max. 5 %igen Preissteigerung bei Energie- und Entsorgungskosten ausgegangen, so dass von einer eher konservativen Abschätzung des Optimierungspotenzials auszugehen ist. Diese Preissteigerungsrate entspricht der Erhöhung der Energiepreise in den letzten zehn Jahren im Haushaltsstrombereich.

Um die Spannbreite bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen deutlich zu machen, werden nachfolgend 2 Szenarien mit hoher und geringer Preissteigerungsrate beschrieben.

Die Abschätzung legt die folgenden verfahrenstechnischen Randbedingungen zu Grunde:

Tabelle 14: Verfahrenstechnische Randbedingungen zur Abschätzung des Optimierungspotenzials

Aufenthaltszeit Vorklärung	$t_{A,VK}$	1 h
Gasertrag je EW		7,1 m ³ /EW/a
Energiegehalt Klärgas		6,5 kWh/m ³
Wirkungsgrad BHKW el.		38%
Wirkungsgrad BHKW therm.		55%

9.1 Rahmenbedingungen der Szenarien

9.1.1 Hohe Preissteigerungsrate

Dieses Szenario wurde unter dem folgenden Leitsatz erstellt: „Je höher die Energie- und Entsorgungskosten und je niedriger der Realzinssatz, umso eher rechnet sich die Umstellung.“

Folgende bauliche Maßnahmen wurden angesetzt (vgl. Kapitel 6):

- Neubau einer Vorklärung
- Primärschlammumpwerk
- Zwischenpumpwerk
- Faulung
- Gasspeicher
- BHKW
- Maschinelle Voreindickung
- Rohschlammbehälter
- Technikgebäude

Unter den gewählten Rahmenbedingungen (Kostensteigerung Energie / Entsorgung: 5 %/a; Zinssatz: 3%) ist die Umstellung bereits ab einer Ausbaugröße von

7.300 EW

wirtschaftlich.

9.1.2 Geringe Preissteigerungsrate

Dieses Szenario wurde unter dem folgenden Leitsatz erstellt: „Je niedriger die Energie- und Entsorgungskosten und je höher der Realszinssatz, umso weniger rechnet sich die Umstellung.“

Bauliche Maßnahmen siehe Kap. 9.1.1.

Unter den gewählten Rahmenbedingungen (Kostensteigerung Energie / Entsorgung: 1 %/a; Zinssatz: 5 %) ist eine Umstellung erst ab einer Ausbaugröße von

19.700 EW

wirtschaftlich.

9.2 Ergebnisse

9.2.1 Hohe Preissteigerungsrate

Die Ergebnisse stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 15: Ergebnisse – Hohe Preissteigerungsrate

Summe EW	1 664 919	EW	Summenwert EW aller Kläranlagen \geq 7.300 EW, die für eine Umrüstung in Frage kommen.
Gasertrag	11 798 100	m ³ /a	
Energieerzeugung therm.	42 200	MWh/a	durch BHKW
Energieerzeugung el.	29 100	MWh/a	durch BHKW
Energieeinsparung el.	5 000	MWh/a	durch Verfahrensumstellung ca. 3 kWh/EW/a (vgl. Kapitel 4.2.4 Modul 1)
Energiebilanz el.	34 100	MWh/a	Summe Erzeugung + Einsparung
Primärenergieeinsparung	88 700	MWh/a	Basis: Primärenergiefaktor nach EnEV 2009 für Strom = 2,6

Die Stromerzeugung entspricht der Strommenge, die zur Versorgung von ca. 8.300 4-Personenhaushalten (3.500 kWh/a) erforderlich ist.

9.2.2 Geringe Preissteigerungsrate

Die Ergebnisse stellen sich wie folgt dar:

Tabelle 16: Ergebnisse – Geringe Preissteigerungsrate

Summe EW	1 522 610	EW	Summenwert EW aller Kläranlagen \geq 19.700 EW, die für eine Umstellung in Frage kommen.
Gasertrag	10 789 600	m ³ /a	
Energieerzeugung therm.	38 600	MWh/a	durch BHKW
Energieerzeugung el.	26 700	MWh/a	durch BHKW
Energieeinsparung el.	4 600	MWh/a	durch Verfahrensumstellung ca. 3 kWh/EW/a (vgl. Kapitel 4.2.4 Modul 1)
Energiebilanz el.	31 300	MWh/a	Summe Erzeugung + Einsparung
Primärenergieeinsparung	81 400	MWh/a	Basis: Primärenergiefaktor nach EnEV 2009 für Strom = 2,6

Die Stromerzeugung bei geringer Preissteigerungsrate entspricht ca. 7.600 zu versorgender 4-Personenhaushalte mit einem Verbrauch von 3.500 kWh/a.

Zwischen den Szenarien "hohe und geringe Preissteigerungsrate" ergibt sich nur ein Unterschied von ca. 10 %. Dies ist auf die kleinen Kläranlagen zurückzuführen, die in Summe nur einen kleinen Anteil an EW ausmachen.

Zusammenfassung Optimierungspotenzial

Eine Umstellung der Kläranlagen führt zu mehreren Effekten, die sich positiv auf die Energiewende und den Betrieb der Anlagen auswirken:

- Effizienzsteigerung durch Prozessoptimierung und Energieeinsparung
- Erzeugung regenerativer Energie durch Faulgasverstromung, die vor Ort verbraucht werden kann

. Beide Prozesse entlasten die Stromnetze vor Ort. Darüber hinaus ergibt sich eine deutliche Primärenergieeinsparung. Weitere positive Effekte für die Betreiber sind eine erhöhte Preisstabilität und Unabhängigkeit sowie eine Entlastung der öffentlichen Haushalte.

10 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die **Rahmenbedingungen**, die für eine Umstellung auf Faulungsbetrieb relevant sind, unterscheiden sich auf Kläranlagen z. T. deutlich, so dass keine Pauschalaussagen möglich sind und jede Kläranlage einer individuellen Betrachtung zu unterziehen ist. Besonderes Augenmerk ist auf die Integration eines Vorklärbeckens in die Verfahrenskette (energiereicher Primärschlamm!) und die Reduzierung des Schlammalters (verminderter Bedarf an Beckenvolumen!) zu legen.

Bei den zur Umrüstung relevanten Kläranlagen (10.000 - 50.000 EW) in Rheinland-Pfalz handelt es sich bei den biologischen Anlagenstufen zu 75 % um Rundbecken. Mit zunehmender Größe der Kläranlagen nimmt der Anteil der mehrstraßigen Anlagen zu.

Bei einer **Verfahrensumstellung** sollte sinnvollerweise eine Reduzierung des zu bewirtschaftenden Belebungsvolumens auf das notwendige Maß durchgeführt werden. Idealerweise kann das frei werdende Beckenvolumen als Vorklärung genutzt werden. Dies ist jedoch erfahrungsgemäß eher selten der Fall, so dass in der Regel ein neues Vorklärbecken mit einem vorgeschalteten Zwischenpumpwerk gebaut werden muss. Einstraßig ausgeführte Kläranlagen mit Rundbecken bieten eher schlechte Voraussetzungen. Selbst eine mögliche Volumenreduzierung scheitert an der Notwendigkeit der auch in der Umbauphase einzuhaltenden Ablaufwerte, so dass bei diesen Anlagen lediglich eine Anpassung des Schlammalters über die Absenkung des Feststoffgehalts im Belebungsbecken erfolgen kann. Da die Rahmenbedingungen auf jeder Kläranlage jedoch individuell verschieden sind, stellen die notwendigen Arbeiten zur Verfahrensumstellung sowie zur Weiternutzung nicht mehr benötigten Behandlungsvolumens planerische Herausforderungen an die beratenden Ingenieure in jedem Einzelfall dar.

Am Markt sind für alle Bereiche, die eine Umstellung betreffen **Behandlungstechniken** verfügbar, die die Wirtschaftlichkeit weiter positiv beeinflussen können. Innovative Faulbehälterkonstruktionen weisen einfache kompakte Formen auf, die kostengünstig, auch mehrstufig, betrieben werden können. Für den Bereich der Gasspeicherung haben sich in der Praxis beispielsweise kostengünstige Doppelmembrangasspeicher bewährt. Für die Verstromung stehen sowohl Blockheizkraftwerke als auch zunehmend Mikrogasturbinen zur Verfügung. Die Prozesswasserbehandlung spielt auf kleineren Kläranlagen i. d. R. keine Rolle. Verfahren, wie z. B. die Deammonifikation, sind aber bereits großtechnisch im Einsatz.

Zur überschlägigen Prüfung der Wirtschaftlichkeit der Verfahrensumstellung auf Faulung wurden **Kostenfunktionen** entwickelt, anhand derer Kläranlagenbetreiber und Planer beurteilen können, ob weitergehende Untersuchungen für ihren speziellen Anwendungsfall grundsätzlich geboten sind.

Durch Vergleich der Kapitalkosten mit den resultierenden Betriebskosteneinsparungen ergibt sich die Wirtschaftlichkeitsgrenze der Verfahrensumstellung, die bei derzeitigen Energie- und Entsorgungskosten bei etwa 20.000 EW liegt. Bereits eine Steigerungsrate der Energie- und Entsorgungskosten von 2 %/a würde bei einem Realzinssatz von 4 % dazu führen, dass die Umstellung bereits für Kläranlagen ab 15.000 EW interessant würde. Bei einer Steigerung von 3 %/a ist die Verfahrensumstellung bereits für Anlagen ab 10.000 EW wirtschaftlich realisierbar.

Mit dem entwickelten Instrumentarium der „**Checkliste**“ steht erstmals ein Werkzeug bereit, das von Betreibern und Planern genutzt werden kann, um die Fragestellung nach Umstellung auf Faulung abschätzend beantworten zu können. Neben der wirtschaftlichen Abschätzung einer Umstellung werden auch damit einhergehende Änderungen in der Prozesskette aufgezeigt. Die Checkliste greift auf i. d. R. vorhandene Betriebsdaten zurück. Unter Umständen kann die Erhebung weiterer Daten erforderlich werden.

Eine Umstellung der Kläranlagen führt zu mehreren Effekten, die sich positiv auf die Energiewende und den Betrieb einer Kläranlage auswirken. Das **Optimierungspotenzial** stellt sich wie folgt dar.

- Effizienzsteigerung durch Prozessoptimierung und Energieeinsparung
- Erzeugung regenerativer Energie durch die Faulgasverstromung, die vor Ort verbraucht werden kann

- deutliche Reduzierung der zu entsorgenden / verwertenden Klärschlammmenge

Beide Prozesse entlasten die Stromnetze vor Ort. Darüber hinaus ergibt sich eine deutliche Primärenergieeinsparung. Weitere positive Effekte für die Betreiber sind eine erhöhte Preisstabilität und Unabhängigkeit sowie eine Entlastung der öffentlichen Haushalte.

11 Literaturverzeichnis

- 100% erneuerbar Stiftung (2011): Windgas – oder wie man mit fluktuierendem Ökostrom eine sichere Energieversorgung ermöglicht. Online verfügbar unter <http://blog.100-prozent-erneuerbar.de/wordpress/2011/03/23/windgas-%E2%80%93-oder-wie-man-mit-fluktuierendem-okostrom-eine-sichere-energieversorgung-ermoglicht-2/>, zuletzt geprüft am 19.07.2011.
- ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Biologische Stabilisierung von Klärschlamm. April 2003. (2003a). Hennef: GFA Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e.V. (ATV-DVWK-Regelwerk, M 368).
- ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall: Vorklärbecken in modernen Kläranlagen. August 2003. (2003b). Hennef (ATV-DVWK-Arbeitsbericht).
- ATV-DVWK, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall; Abwassertechnische Vereinigung: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. Stand: Mai 2000. (2000). Hennef: GFA-Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik e. V. (ATV-DVWK-Regelwerk, A 131).
- Baumann, Peter; Roth, Manfred (2008): Senkung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen. Systematisches Vorgehen zur Steigerung der Energieeffizienz durch Nutzung des Einsparpotenzials ; Leitfaden. 2. Aufl. Stuttgart: DWA Dt. Vereinigung für Wasserwirtschaft Abwasser u. Abfall Landesverband Baden-Württemberg (Leitfaden für das Betriebspersonal, 4).
- Beier, Maike; Sander, Marian Schneider Yvonne Rosenwinkel Karl-Heinz (2008): Energieeffiziente Stickstoffelimination. Verfahrensüberblick zur Nitrifikation/Deammonifikation und Auswirkungen auf den Energiebedarf von Kläranlagen. In: Korrespondenz Abwasser, Abfall, Jg. 55, H. 6, S. 671–678.
- Biebersdorf, Norbert; Schröder, Markus (2008): Schlammbehandlung auf Kläranlagen. Kleine und mittlere Anlagen. In: Wasserwirtschaft Wassertechnik, H. 10, S. 8–12.
- BLfW (2004): Merkblatt Nr. 4.7/11. Nachweis von Stabilisierungskriterien bei der aeroben Schlammstabilisierung. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. Online verfügbar unter http://www.lfu.bayern.de/wasser/merkblattsammlung/teil4_oberirdische_gewaesser/doc/nr_4711.pdf.
- Cornel, Peter (1998): Reduzierung der Stickstoffrückbelastung durch Schlammwasserbehandlung. In: Schriftenreihe WAR 108. Darmstadt, Bd. 102, S. 173–197.
- Denkert, R. (2007): Eindickung, Entwässerung und Trocknung von Klärschlamm. DWA-Fortbildungskurs M/4 "Schlammbehandlung, -verwertung und -beseitigung". Veranstaltung vom 2007. Kassel. Veranstalter: DWA.
- Energieagentur NRW (2011): Infografik Energie. Herausgegeben von Energieagentur NRW. Energieagentur NRW. Online verfügbar unter <http://www.energieagentur.nrw.de/infografik/page.asp?RubrikID=2633>, zuletzt aktualisiert 2011, zuletzt geprüft am 10.10.2011.
- Fimml, Christian (2010): Oft ein Sorgenkind bei der Abwasserreinigung: Die Schlammwässer. In: KA-Betriebs-Info, Jg. 40, H. 4, S. 1796–1801.
- Grömping, Markus (2007): Trübwasserbehandlung. In: Dresdner Berichte 29. Dresden, Bd. 29, S. 149–159.
- Grömping, Markus (2009): Stand der Technik zur Prozesswasserbehandlung- Verfahrenskonzepte, Patente, Reinigungsleistungen, Kostenanteile. In: Tagungsband zur 7. Aachener Tagung. Stickstoffrückbelastung - Stand der Technik 2009 .
- Grömping, Markus; Jardin, Norbert et al. (2000): Rückbelastung aus der Schlammbehandlung - Menge und Beschaffenheit der Rückläufe. ATV-DVWK-Arbeitsgruppe AK-1.3 "Rückbelastung aus der Schlammbehandlung". In: Korrespondenz Abwasser, Abfall, Jg. 47, H. 8, S. 1181–1187.
- Grömping, Markus; Seyfried, A. (2003): Entscheidungskriterien und Wirtschaftlichkeitsaspekte zur Einbindung der Stickstoffrückbelastung in den Klärwerksprozess. In: Tagungsband zur 5. Aachener Tagung. Stickstoffrückbelastung - Stand der Technik 2003 .
- Haberkern, Bernd; Maier, Werner; Schneider, Ursula (2008): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen. Herausgegeben von Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau. (Forschungsbericht 205 26

307). Online verfügbar unter <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3347.pdf>, zuletzt geprüft am 08.02.2010.

Hansen, Joachim; Wu, Kai et al. (2007): Steigerung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen. Ökoeffizienz in der Wasserwirtschaft. Herausgegeben von Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz Ministerium für Umwelt. Remscheid. Online verfügbar unter [http://www.wiwmh.de/WIW/wiwwys7.nsf/files/energieanalysen_mufv_internet.pdf/\\$FILE/energieanalysen_mufv_internet.pdf](http://www.wiwmh.de/WIW/wiwwys7.nsf/files/energieanalysen_mufv_internet.pdf/$FILE/energieanalysen_mufv_internet.pdf), zuletzt geprüft am 03.02.2010.

Jardin, Norbert; Arnold, E. et al. (2005): Rückbelastung aus der Schlammbehandlung - Verfahren zur Schlammwasserbehandlung. In: DWA 4. Klärschlammstage Würzburg .

Kapp, H. (1998): Einfluss der Schlammfäulung auf die Energiebilanz von Kläranlagen. In: Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft (149), Bd. 149, S. 169–186.

Meyer, H.; Biebersdorf, Norbert (1995): Schlammfäulung oder simultane aerobe Stabilisierung. In: Gewässerschutz, Wasser, Abwasser. Aachen, Bd. 146, S. 14.1.

Müller, Ernst A.; Kobel, Beat et al. (1999): Handbuch Energie in Kläranlagen NRW. Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen. Düsseldorf.

Rieke, Stephan (2011): Methanisierung von Ökostrom. Veranstaltung vom 2011. Karlsruhe. Veranstalter: kine - Karlsruher Initiative zur nachhaltigen Energiewirtschaft e.V.

Roediger, Hanns; Roediger, Markus; Kapp, Helmut (1990): Anaerobe alkalische Schlammfäulung. 4. Aufl. München: Oldenbourg.

Schmitt, Theo G.; Hansen, Joachim (2003): Zentrales Erfassungssystem zur Beratung bei Bläh- und Schwimmschlammproblemen auf kommunalen Kläranlagen. Herausgegeben von Theo G. Schmitt. Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft & tectraa an der Universität Kaiserslautern. Online verfügbar unter <http://www.zerberus-online.de>, zuletzt geprüft am 20.04.2010.

Schreff, Diester (2010): Stickstoffrückbelastung - Quellen - Relevanz - Lösungsansätze. Online verfügbar unter <http://www.klaerwerk.info/Abwasserreinigung/Stickstoffruckbelastung-Quellen-Relevanz-Loesungsansaeetze>, zuletzt geprüft am 09.02.2011.

Seibert-Erling, Gerhard; Etges, Tanja (2010): Praktische Umsetzung von Energiesparmaßnahmen. In: 11. Kölner Kanal und Kläranlagen Kolloquium (Aachener Schriften zur Stadtentwässerung, 14).

Siekmann, Klaus; Jakob, Jürgen (2010): Entwicklungstendenzen der Klärschlammbehandlung und -verwertung auf kleineren Kläranlagen. Veranstaltung vom 2010, aus der Reihe "DWA-Fachtagung". Emmelshausen. Veranstalter: DWA-Fachtagung 26.10.2010.

Sterner, Michael; Jentsch, Mareike; Holzhammer, Uwe (2011): Energiewirtschaftliche und ökologische Bewertung eines Windgas-Angebotes. Gutachten. Herausgegeben von Fraunhofer IWES. Online verfügbar unter http://www.greenpeace-energy.de/fileadmin/docs/sonstiges/Greenpeace_Energy_Gutachten_Windgas_Fraunhofer_Sterner.pdf, zuletzt geprüft am 19.07.2011.

Wechs, Florian (1985): Ein Beitrag zur zweistufigen anaeroben Klärschlammstabilisierung. Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen TU München. München. (53).

12 Anhang

- Anhang 1 - Bauformen Kläranlagen in RLP 10.000 bis 50.000 EW
- Anhang 2 - Kostenfunktionen und Empfindlichkeitsprüfung der Wirtschaftlichkeit
- Anhang 3 - Checkliste zur Prüfung der Umstellung auf Faulung

Anhang 1

Übersicht der betrachteten Anlagen von 10.000 EW bis 50.000 EW

RUB = Rundbecken, REB = Rechteckbecken, ULG = Umlaufgraben, eRB = einfaches Rundbecken, KB = Kombibecken, iNK = innenliegende Nachklärung

	Kläranlage	Ausbaugröße [EW]	Runde Becken	Rechteck- becken	Typ Runde Becken	Kombi- becken	mehrsträßig
104012897	Bundenthal	10 000		ULG			
103660422	Hallerbachtal, GKA	10 000		ULG			x
103660108	Holzachtal, GKA	10 000	RUB	ULG	eRB		x
102330050	Mommenheim	10 000	RUB		KB	iNK	
104004575	Hochstadt	10 300		REB			
105170804	GKA Bruderbach	11 000	RUB		KB	iNK	
103205072	GKA Kestert	11 000	RUB		eRB		
102290085	Guntersblum	11 000	RUB		KB	iNK	x
104005930	Lambrecht	11 000		BIOCOS			x
101000891	Mittelahr	11 000	RUB		KB	iNK	
101702224	Rhens-Brey-Spay	11 030	RUB		eRB		
100103176	Alsenz	12 000	RUB		eRB		x
100239096	Elschbach	12 000		ULG		iNK	
104008540	Römerberg	12 000		REB			
102140008	Wöllstein	12 000	RUB		eRB		x
104009350	Schwegenheim	12 440	RUB		KB	iNK	x
101702335	Oberes Nettetal	12 500	RUB		KB	iNK	
102060020	Gau-Bickelheim	13 000	RUB		KB	iNK	x
104003554	Hagenbach	13 000	RUB	REB	KB	iNK	
100403291	Miesau	13 000	RUB		KB, eRB	iNK	x
100298143	Schwarzbachtal	13 000	RUB		KB	iNK	x
103650401	GKA Hausen-Waldbreitbach	13 500	RUB		eRB		
101400177	Baumholder	14 000	RUB		KB	iNK	
100557010	Wallhalben	14 000	RUB		KB	iNK	x
102050008	Flonheim	14 500	RUB		KB	iNK	
101202572	Meisenheim	14 600	RUB		KB	iNK	x
103205628	GKA Hahnstätten	14 800	RUB		KB	iNK	
101704155	Alken	15 000	RUB		KB	iNK	
104001734	Dannstadt	15 000	RUB		KB	iNK	
100203006	Erdesbach	15 000	RUB		KB	iNK	x
103001571	GKA Bad Marienberg	15 000	RUB		KB	iNK	x
105160762	GKA Neumagen-Dhron	15 000	RUB		KB	iNK	x
101403898	Hausen	15 000	RUB		eRB		
101700626	Nothbachtal	15 000	RUB		eRB		
102190044	Heidesheim	15 200	RUB		eRB		x
101802923	Deimerbachtal	15 500	RUB		KB	iNK	
101205525	Stromberg	15 660		ULG			x
101403343	Fischbach-Weierbach	16 000	RUB		KB		
100453004	Weilerbach	16 500	RUB		eRB		x
100550092	GKA Waldfischbach	17 000	RUB		KB	iNK	x
102180013	Grolsheim	17 000	RUB		eRB	iNK	
103005545	GKA Hundsdorf	17 250	RUB		eRB		
102240040	Bacharach	18 000		SLR			
103620205	GKA Bad Hönningen	18 000	RUB		eRB		x
103203910	GKA Mühlbachtal	18 000	RUB		KB, eRB	iNK	x
103610608	GKA Oberhoppen	18 000	RUB		eRB		x
102300076	Hahnheim	18 000		SLR			
103003614	Höhr-Grenzhausen	18 000	RUB		eRB		x
101401301	Kronweiler	18 200	RUB		KB, eRB		

101401301	Kronweiler	18 200	RUB		KB, eRB		
102075046	Bechtolsheim	18 500		REB			x
101605803	Faid-Dohr-Brauheck	18 600		SLR			
101202026	Langenlonsheim	19 400	RUB		KB	iNK	
104007417	Niederkirchen	20 000	RUB		KB	iNK	
101002165	Adenauer Bach	20 000	RUB	ULG	KB		
103405377	GKA Peterslahr	20 000	RUB		eRB		
100165175	Rockenhausen	20 000	RUB		KB, eRB	(KB:iNK)	x
105180278	ZKA Traben-Trarbach	21 000		REB			k. A.
103400160	Altenkirchen-Leuzbach	22 000	RUB		eRB		k. A.
105130788	GKA Unteres Liesertal	22 270	RUB		eRB		k. A.
105310253	GKA Daun	22 500		REB			k. A.
105320395	GKA Gerolstein	22 500	RUB		eRB		k. A.
101702770	Kobem-Gondorf	22 500	RUB		KB	iNK	k. A.
101808272	Simmern	22 760		REB			k. A.
101404031	Hoppstädten-Weiersbach	23 000	RUB		eRB		k. A.
103009954	GKA Aubach	23 500	RUB	ULG	KB	iNK	k. A.
104006062	Lambsheim	25 000	RUB		KB	iNK	k. A.
101605135	Zell-Alf-Bullay	25 000	RUB		eRB		k. A.
101001255	Brohltal	28 000		REB			k. A.
101801133	Oberes Kyrbachtal	28 000	RUB		KB		k. A.
103630661	GKA Linz-Unkel	28 800	RUB		eRB		k. A.
102090003	Saulheim	30 000	RUB		KB	iNK	k. A.
104021352	Heßheim	31 000	SBR				k. A.
101200105	Kirn	32 000		SLR			k. A.
101403454	Almerich	33 000		REB			k. A.
105460442	GKA Leiwen	33 000	RUB		KB	iNK	k. A.
103660311	GKA Hölzches Mühle	35 000	RUB		eRB		k. A.
103004413	GKA Montabaur	36 000	RUB		KB	iNK	k. A.
104010633	Winden	36 000		REB			k. A.
105110392	ZKA Wittlich	38 100		REB			k. A.
104000935	Billigheim	42 000	RUB		KB	iNK	k. A.
104000713	Bellheim	46 500		SLR			k. A.
104002108	Edenkoben	50 000	RUB		KB	iNK	k. A.
Anzahl	82	1 603 910	Hinweis: inkl. 1 SBR	62	24	61	36

Anhang 2

Kostenfunktionen

Projektkostenbarwerte und Empfindlichkeitsprüfungen für unterschiedliche Randbedingungen

Kostenfunktionen

Parameter	Einheit	Ausbaugröße Kläranlage							
		5 000		10 000		15 000		20 000	
		ohne VKB	mit VKB ($t_A = 1,0$ h)	ohne VKB	mit VKB ($t_A = 1,0$ h)	ohne VKB	mit VKB ($t_A = 1,0$ h)	ohne VKB	mit VKB ($t_A = 1,0$ h)
Schmutzwassermenge	I/E/d	120	120	120	120	120	120	120	120
Spitzenzufluss	h/d	10	10	12	12	12	12	12	12
Fremdwassermenge	%	100	100	100	100	100	100	100	100
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB g/E/d	120	90	120	90	120	90	120	90
Biochemischer Sauerstoffbedarf	BSB ₅ g/E/d	60	45	60	45	60	45	60	45
Abfiltrierbare Stoffe	TS g/E/d	70	35	70	35	70	35	70	35
Kjehldal-Stickstoff	TKN g/E/d	11	10	11	10	11	10	11	10
Phosphor	P g/E/d	1,8	1,6	1,8	1,6	1,8	1,6	1,8	1,6
Schlammalter	t_{TS} d	25	15	25	15	25	15	25	15
$X_{TS,ZB}/C_{BSB,ZB}$	./.	1,2	0,8	1,2	0,8	1,2	0,8	1,2	0,8
Überschussschlammproduktion	ÜS _C kg/kg	1	0,85	1	0,85	1	0,85	1	0,85
Schlammindex	ISV ml/g	100	100	100	100	100	100	100	100
TS-Gehalt Belebungsbecken	TS _{BB} g/l	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Zuschlag für Rückbelastung	%	0	15	0	12,5	0	12,5	0	12,5
Schmutzwassermenge	m³/d	600	600	1200	1200	1800	1800	2400	2400
Fremdwassermenge	m³/d	600	600	1200	1200	1800	1800	2400	2400
Trockenwetterzufluss	m³/d	1200	1200	2400	2400	3600	3600	4800	4800
	m³/h	85	85	150	150	225	225	300	300
Schlammbelastung	B _{TS} kg/kg/d	0,040	0,078	0,040	0,078	0,040	0,078	0,040	0,078
Raumbelastung	B _R kg/m³/d	0,152	0,298	0,152	0,298	0,152	0,298	0,152	0,298
Volumen Vorklärbecken	m³	./.	85	./.	150	./.	225	./.	300
Volumen Belebungsbecken	m³	1970	750	3950	1510	5920	2260	7890	3020
Zuschlag für Rückbelastung		0	113	0	189	0	283	0	378
Volumen BB, gewählt	m³	1 970	863	3 950	1 699	5 920	2 543	7 890	3 398
Volumen, ges. (incl. VKB)	m³	1 970	948	3 950	1 849	5 920	2 768	7 890	3 698

1/32

Parameter	Einheit	Ausbaugröße Kläranlage							
		25 000		30 000		35 000		40 000	
		ohne VKB	mit VKB ($t_A = 1,0$ h)	ohne VKB	mit VKB ($t_A = 1,0$ h)	ohne VKB	mit VKB ($t_A = 1,0$ h)	ohne VKB	mit VKB ($t_A = 1,0$ h)
Schmutzwassermenge	I/E/d	120	120	120	120	120	120	120	120
Spitzenzufluss	h/d	14	14	14	14	14	14	16	16
Fremdwassermenge	%	100	100	100	100	100	100	100	100
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB g/E/d	120	90	120	90	120	90	120	90
Biochemischer Sauerstoffbedarf	BSB ₅ g/E/d	60	45	60	45	60	45	60	45
Abfiltrierbare Stoffe	TS g/E/d	70	35	70	35	70	35	70	35
Kjehldal-Stickstoff	TKN g/E/d	11	10	11	10	11	10	11	10
Phosphor	P g/E/d	1,8	1,6	1,8	1,6	1,8	1,6	1,8	1,6
Schlammalter	t_{TS} d	25	15	25	15	25	15	25	15
$X_{TS,ZB}/C_{BSB,ZB}$	./.	1,2	0,8	1,2	0,8	1,2	0,8	1,2	0,8
Überschussschlammproduktion	ÜS _C kg/kg	1	0,85	1	0,85	1	0,85	1	0,85
Schlammindex	ISV ml/g	100	100	100	100	100	100	100	100
TS-Gehalt Belebungsbecken	TS _{BB} g/l	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
Zuschlag für Rückbelastung	%	0	12,5	0	12,5	0	12,5	0	12,5
Schmutzwassermenge	m³/d	3000	3000	3600	3600	4200	4200	4800	4800
Fremdwassermenge	m³/d	3000	3000	3600	3600	4200	4200	4800	4800
Trockenwetterzufluss	m³/d	6000	6000	7200	7200	8400	8400	9600	9600
	m³/h	339	339	407	407	475	475	500	500
Schlammbelastung	B _{TS} kg/kg/d	0,040	0,078	0,040	0,078	0,040	0,078	0,040	0,078
Raumbelastung	B _R kg/m³/d	0,152	0,298	0,152	0,298	0,152	0,298	0,152	0,298
Volumen Vorklärbecken	m³	./.	339	./.	407	./.	475	./.	500
Volumen Belebungsbecken	m³	9870	3770	11840	4530	13820	5280	15790	6040
Zuschlag für Rückbelastung		0	471	0	566	0	660	0	755
Volumen BB, gewählt	m³	9 870	4 241	11 840	5 096	13 820	5 940	15 790	6 795
Volumen, ges. (incl. VKB)	m³	9 870	4 580	11 840	5 503	13 820	6 415	15 790	7 295

2/32

Parameter	Einheit	Ausbaugröße Kläranlage			
		45 000		50 000	
		ohne VKB	mit VKB ($t_A = 1,0$ h)	ohne VKB	mit VKB ($t_A = 1,0$ h)
Schmutzwassermenge	l/E/d	120	120	120	120
Spitzenzufluss	h/d	16	16	18	18
Fremdwassermenge	%	100	100	100	100
Chemischer Sauerstoffbedarf	CSB	120	90	120	90
Biochemischer Sauerstoffbedarf	BSB ₅	60	45	60	45
Abfiltrierbare Stoffe	TS	70	35	70	35
Kjehldal-Stickstoff	TKN	11	10	11	10
Phosphor	P	1,8	1,6	1,8	1,6
Schlammalter	t_{TS}	25	15	25	15
$X_{TS,ZB}/C_{BSB,ZB}$	./.	1,2	0,8	1,2	0,8
Überschussschlammproduktion	\dot{U}_C	1	0,85	1	0,85
Schlammindex	ISV	100	100	100	100
TS-Gehalt Belebungsbecken	TS _{BB}	3,8	3,8	3,8	3,8
Zuschlag für Rückbelastung	%	0	12,5	0	12,5
Schmutzwassermenge	m ³ /d	5400	5400	6000	6000
Fremdwassermenge	m ³ /d	5400	5400	6000	6000
Trockenwetterzufluss	m ³ /d	10800	10800	12000	12000
	m ³ /h	563	563	583	583
Schlammbelastung	B _{TS}	0,040	0,078	0,040	0,078
Raumbelastung	B _R	0,152	0,298	0,152	0,298
Volumen Vorklärbecken	m ³	./.	563	./.	583
Volumen Belebungsbecken	m ³	17760	6790	19740	7550
Zuschlag für Rückbelastung		0	849	0	944
Volumen BB, gewählt	m ³	17 760	7 639	19 740	8 494
Volumen, ges. (incl. VKB)	m ³	17 760	8 202	19 740	9 077

3/32

Erforderliches Belebungsbeckenvolumen in Abhängigkeit der Ausbaugröße und der Verfahrensführung

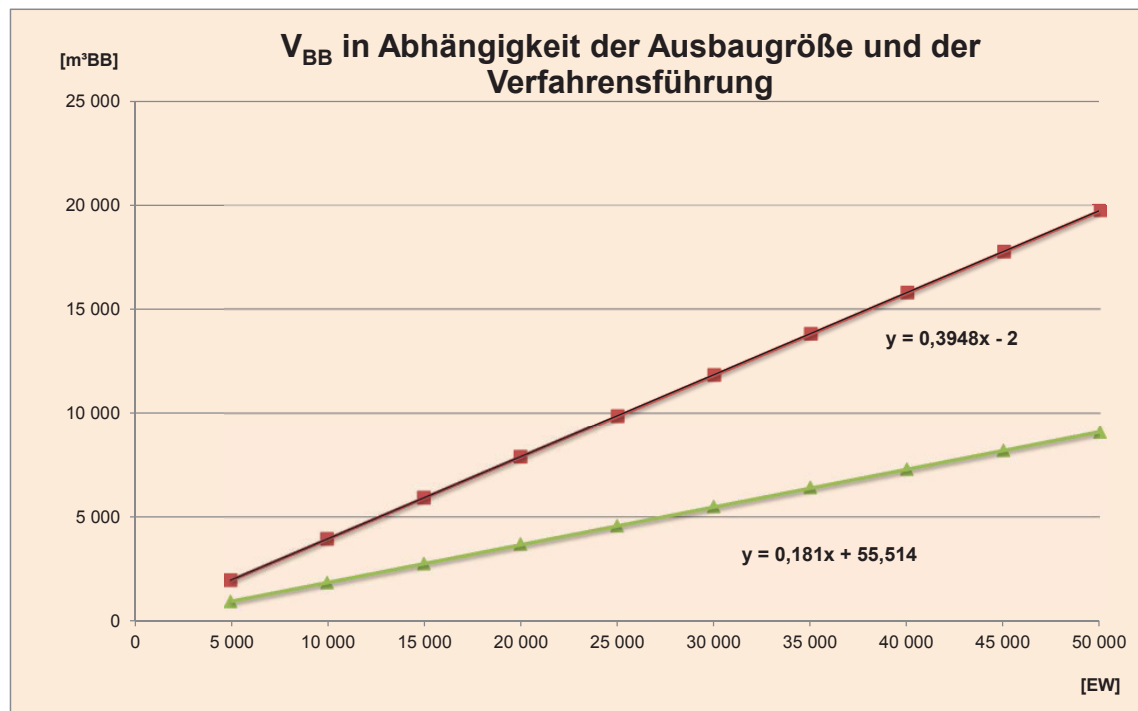
Ausbaugröße	Belebungsbecken	
	AS	Faulung
[EW]	[m ³]	[m ³]
5 000	1 970	948
10 000	3 950	1 849
15 000	5 920	2 768
20 000	7 890	3 698
25 000	9 870	4 580
30 000	11 840	5 503
35 000	13 820	6 415
40 000	15 790	7 295
45 000	17 760	8 202
50 000	19 740	9 077

Anmerkung:

Für die Ermittlung des erf. Belebungsbecken volumens bei anaerober Schlammbehandlung wurde die Vorschaltung eines Vorklärbeckens mit einer Aufenthaltszeit von 1,0 h berücksichtigt!

1 022
2 101
3 152
4 192
5 290
6 337
7 405
8 495
9 559
10 663

0,2138
53,514



5/32

Dimensionierung und Massenermittlung Vorklärbecken (Ausführung als Rundbecken)

Ausbaugröße [EW]	Dimensionierung auf $t_{A,TW} = 1,0$ h			Bauwerksabmessungen			Wandbeton [m³]	Sohlbeton [m³]	Trichterwandbeton [m³]
	Trockenwetterzufluß [m³/d]	[m³/h]	V_{VKB} [m³]	Wt [m]	D [m]	$D_{gewählt}$ [m]			
5 000	1 200	85	85	2,0	7,36	7,40	29,41	33,24	11,31
10 000	2 400	150	150	2,0	9,77	9,80	38,45	52,84	11,31
15 000	3 600	225	225	2,2	11,41	11,40	47,45	68,42	11,31
20 000	4 800	300	300	2,2	13,18	13,20	54,69	88,36	13,82
25 000	6 000	339	339	2,3	13,70	13,70	58,47	94,35	13,82
30 000	7 200	407	407	2,3	15,01	15,00	63,86	110,84	13,82
35 000	8 400	475	475	2,4	15,87	15,90	69,64	123,03	16,59
40 000	9 600	500	500	2,4	16,29	16,30	71,35	128,65	16,59
45 000	10 800	563	563	2,5	16,93	16,90	76,09	137,32	16,59
50 000	12 000	583	583	2,5	17,24	17,20	77,41	141,76	16,59

Ausbaugröße [EW]	Kragplatte [m²]	Füllbeton Trichter [m³]	Stahlmassen [kg]	Trichterdurchmesser		Aushubtiefe [m]	Aushubmassen [m³]	Wiederverfüllung [m³]	Abfuhrmassen [m³]
				D1 [m]	D2 [m]				
5 000	3,25	11,45	13 312	9,80	12,80	3,0	302,6	197,01	105,62
10 000	4,38	11,45	18 469	12,20	15,20	3,0	444,0	267,51	176,49
15 000	5,14	11,45	22 893	13,80	17,00	3,2	598,2	341,02	257,18
20 000	5,98	15,71	28 236	15,60	18,80	3,2	745,7	407,01	338,66
25 000	6,22	15,71	29 995	16,10	19,40	3,3	818,9	439,14	379,80
30 000	6,83	15,71	33 934	17,40	20,70	3,3	942,9	491,97	450,95
35 000	7,26	20,91	37 667	18,30	21,70	3,4	1 070,7	545,02	525,70
40 000	7,45	20,91	38 986	18,70	22,10	3,4	1 113,9	562,69	551,18
45 000	7,73	20,91	41 400	19,30	22,80	3,5	1 220,8	605,70	615,14
50 000	7,87	20,91	42 437	19,60	23,10	3,5	1 255,8	619,64	636,17

6/32

Kostenermittlung Vorklärbecken, baulicher Teil (Ausführung als Rundbecken)

Ausbaugröße	Baustellen- einrichtung	Wasser- haltung	Erdarbeiten				Betonarbeiten		
			Aushub	Wiederein- bau; Zulage	Deponie Zulage	Austausch- massen	Sohlbeton	Wandbeton	Füllbeton
[EW]									
Einheitspreise: €/m³, €/kg (incl. BNK u. MwSt.)			11,50	10,50	7,50	15,00	250,00	600,00	150,00
5 000	6 463,04	3 231,52	3 480,24	2 068,60	792,15	2 580,50	8 309,51	26 379,95	1 717,67
10 000	8 795,93	4 397,97	5 106,01	2 808,82	1 323,71	4 525,78	13 210,40	32 487,21	1 717,67
15 000	10 886,98	5 443,49	6 879,22	3 580,66	1 928,83	6 124,22	17 105,97	38 338,11	1 717,67
20 000	13 368,60	6 684,30	8 575,22	4 273,58	2 539,98	8 210,87	22 089,32	44 697,95	2 356,19
25 000	14 226,65	7 113,32	9 417,76	4 610,93	2 848,49	8 844,68	23 586,49	47 108,81	2 356,19
30 000	15 997,43	7 998,72	10 843,67	5 165,73	3 382,15	10 602,88	27 708,85	50 710,96	2 356,19
35 000	17 849,44	8 924,72	12 313,21	5 722,70	3 942,71	11 913,39	30 757,17	56 092,51	3 136,09
40 000	18 443,24	9 221,62	12 809,47	5 908,21	4 133,85	12 520,35	32 163,04	57 231,02	3 136,09
45 000	19 621,23	9 810,61	14 039,75	6 359,90	4 613,58	13 459,05	34 330,74	60 243,18	3 136,09
50 000	20 089,10	10 044,55	14 441,86	6 506,23	4 771,29	13 941,13	35 441,09	61 119,69	3 136,09

Ausbaugröße	Stahl	Sonstiges	Summe	spez. Kosten
[EW]				
	1,45			[€/EW]
5 000	19 301,76	6 463,04	80 787,98	16,16
10 000	26 779,75	8 795,93	109 949,18	10,99
15 000	33 195,09	10 886,98	136 087,21	9,07
20 000	40 942,85	13 368,60	167 107,46	8,36
25 000	43 493,11	14 226,65	177 833,09	7,11
30 000	49 203,90	15 997,43	199 967,91	6,67
35 000	54 616,63	17 849,44	223 118,03	6,37
40 000	56 530,41	18 443,24	230 540,55	5,76
45 000	60 029,98	19 621,23	245 265,33	5,45
50 000	61 533,57	20 089,10	251 113,70	5,02

7/32

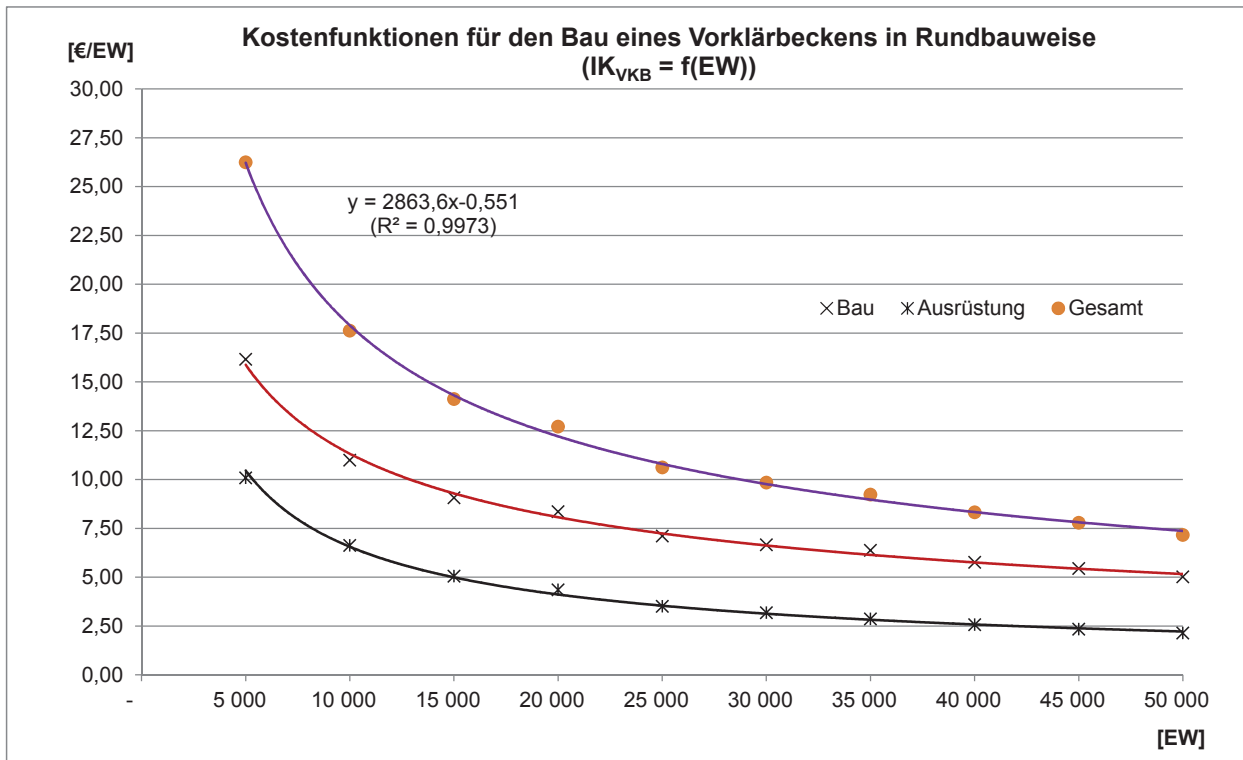
Kostenermittlung Vorklärbecken, Ausrüstung - Maschinen- und EMSR-Technik (Ausführung als Rundbecken)

Ausbaugröße [EW]	Räumer- brücke	Überfall- wehr	Sonstiges	zugehörige EMSR- Technik	Summe	spez. Kosten
						[€/EW]
5 000	29 600,00	8 717,92	7 663,58	4 440,00	50 421,50	10,08
10 000	39 200,00	11 545,35	9 641,62	5 880,00	66 266,97	6,63
15 000	45 030,00	13 430,31	10 522,86	6 754,50	75 737,66	5,05
20 000	52 140,00	15 550,88	11 507,45	7 821,00	87 019,33	4,35
25 000	52 745,00	16 139,93	11 021,59	7 911,75	87 818,27	3,51
30 000	57 750,00	17 671,46	11 313,22	8 662,50	95 397,18	3,18
35 000	60 420,00	18 731,75	11 872,76	9 063,00	100 087,51	2,86
40 000	61 940,00	19 202,99	12 171,45	9 291,00	102 605,43	2,57
45 000	63 375,00	19 909,84	12 492,73	9 506,25	105 283,82	2,34
50 000	64 500,00	20 263,27	12 714,49	9 675,00	107 152,76	2,14

Zusammenstellung der Gesamtkosten für das Vorklärbecken (Ausführung als Rundbecken)

Ausbaugröße [EW]	Bau	Ausrüstung	Summe	spez. Kosten		
				Bau	Ausrüstung	Gesamt
				[€/EW]	[€/EW]	[€/EW]
5 000	80 787,98	50 421,50	131 209,48	16,16	10,08	26,24
10 000	109 949,18	66 266,97	176 216,15	10,99	6,63	17,62
15 000	136 087,21	75 737,66	211 824,87	9,07	5,05	14,12
20 000	167 107,46	87 019,33	254 126,80	8,36	4,35	12,71
25 000	177 833,09	87 818,27	265 651,36	7,11	3,51	10,63
30 000	199 967,91	95 397,18	295 365,09	6,67	3,18	9,85
35 000	223 118,03	100 087,51	323 205,54	6,37	2,86	9,23
40 000	230 540,55	102 605,43	333 145,98	5,76	2,57	8,33
45 000	245 265,33	105 283,82	350 549,15	5,45	2,34	7,79
50 000	251 113,70	107 152,76	358 266,47	5,02	2,14	7,17

8/32



9/32

Dimensionierung Faulturm (Ausführung als 2-stufiger Kompaktfaultbehälter)

Ausbaugröße [EW]	TR-Frachten aus			ÜS-/FS nicht eingedickt [m³/d]	Schlammengen			Faultbehäl- tervolumen [m³]
	PS-Anfall [kg TR/d]	ÜS-Anfall [kg TR/d]	FS-Anfall [kg TR/d]		PS-Menge [m³/d]	ÜS/FS [m³/d]	Rohschlamm [m³/d]	
5 000	193	193	14	26	4,8	3,44	8,25	165,00
10 000	385	385	28	52	9,6	6,88	16,50	330,00
15 000	578	578	41	77	14,4	10,31	24,75	495,00
20 000	770	770	55	103	19,3	13,75	33,00	660,00
25 000	963	963	69	129	24,1	17,19	41,25	825,00
30 000	1 155	1 155	83	155	28,9	20,63	49,50	990,00
35 000	1 348	1 348	96	180	33,7	24,06	57,75	1 039,50
40 000	1 540	1 540	110	206	38,5	27,50	66,00	1 188,00
45 000	1 733	1 733	124	232	43,3	30,94	74,25	1 262,25
50 000	1 925	1 925	138	258	48,1	34,38	82,50	1 320,00

Massenermittlung Faulturm (Ausführung als 2-stufiger Kompaktfalbehälter)

Ausbaugröße	Seitenlänge	Schlammhöhe	Nutzvolumen	Gesamthöhe	Flächenbedarf	Sohl-beton	Decken-beton	Wand-beton	Summe Beton
[EW]	[m]	[m]	[m³]	[m]	[m²]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
5 000	4,50	4,20	170,1	4,80	63,0	34,26	20,90	56,4	111,61
10 000	6,00	4,70	338,4	5,20	101,2	54,09	34,97	80,3	169,33
15 000	7,00	5,10	499,8	5,60	131,6	69,82	46,35	100,2	216,33
20 000	8,00	5,25	672,0	5,80	166,1	87,54	59,33	117,9	264,82
25 000	8,50	5,70	823,7	6,20	184,8	97,16	66,42	133,7	297,25
30 000	9,00	6,15	996,3	6,70	204,5	107,27	73,91	152,7	333,84
35 000	9,00	6,45	1 044,9	7,00	204,5	107,27	73,91	159,5	340,68
40 000	9,50	6,60	1 191,3	7,00	225,2	117,88	81,80	168,1	367,75
45 000	9,80	6,60	1 267,7	7,00	238,2	124,49	86,73	173,2	384,43
50 000	10,00	6,60	1 320,0	7,00	247,0	128,99	90,09	176,6	395,73

Ausbaugröße	Stahlmassen	Gesamtlänge	Gesamtbreite	Umfang	Wandflächen	Blechverkleidung	Dachflächen
[EW]	[kg]	[m]	[m]	[m]	[m²]	[m²]	[m²]
5 000	21 205	10,05	5,20	30,50	146,4	98,2	52,3
10 000	32 172	13,05	6,70	39,50	205,4	137,5	87,4
15 000	41 102	15,05	7,70	45,50	254,8	170,5	115,9
20 000	50 316	17,05	8,70	51,50	298,7	199,8	148,3
25 000	56 478	18,05	9,20	54,50	337,9	232,5	166,1
30 000	63 430	19,05	9,70	57,50	385,3	271,4	184,8
35 000	64 729	19,05	9,70	57,50	402,5	283,5	184,8
40 000	69 873	20,05	10,20	60,50	423,5	304,5	204,5
45 000	73 042	20,65	10,50	62,30	436,1	317,1	216,8
50 000	75 189	21,05	10,70	63,50	444,5	325,5	225,2

11/32

Kostenermittlung Faulturm, baulicher Teil (Ausführung als 2-stufiger Kompaktfalbehälter)

Ausbaugröße	Baustelleneinrichtung	Erdarbeiten	Austauschmassen	Glas-schotter	Stahlbetonarbeiten				Dämmarbeiten
					Sohl-beton	Wand-beton	Decken-beton	Stahl	
[EW]									
E.P.'s incl. BNK u. MwSt.		145,00	14,00	35,00	185,00	585,00	480,00	1,45	26,00
5 000	8 927,37	9 132,83	2 645,37	2 204,48	6 337,18	33 022,08	10 033,92	30 747,73	3 806,40
10 000	13 506,61	14 668,20	4 248,72	3 540,60	10 007,11	46 953,27	16 787,52	46 650,00	5 340,40
15 000	17 243,91	19 083,45	5 527,62	4 606,35	12 916,24	58 591,26	22 249,92	59 598,23	6 624,80
20 000	21 070,88	24 078,70	6 974,52	5 812,10	16 195,36	68 996,66	28 480,32	72 957,77	7 766,20
25 000	23 674,18	26 793,83	7 760,97	6 467,48	17 973,68	78 198,12	31 883,52	81 892,65	8 785,40
30 000	26 625,62	29 653,95	8 589,42	7 157,85	19 844,49	89 305,81	35 478,72	91 973,20	10 016,50
35 000	27 213,81	29 653,95	8 589,42	7 157,85	19 844,49	93 304,58	35 478,72	93 856,38	10 465,00
40 000	29 337,00	32 659,08	9 459,87	7 883,23	21 807,80	98 320,95	39 265,92	101 316,23	11 011,00
45 000	30 643,43	34 531,75	10 002,30	8 335,25	23 030,19	101 330,78	41 630,40	105 911,15	11 338,60
50 000	31 527,93	35 809,20	10 372,32	8 643,60	23 863,61	103 337,33	43 245,12	109 024,03	11 557,00

Ausbaugröße	Blechverkleidung	Dachabdichtung/-eindeckung	Gas-messraum	Beschichtungsarbeiten	Stahlbauarbeiten	Sonstiges	Summe	spez. Kosten
[EW]								
	60,00	137,00		170,00				[€/EW]
5 000	5 889,60	7 159,62	10 000,00	13 005,00	25 805,00	8 927,37	177 643,94	35,53
10 000	8 252,40	11 978,60	10 000,00	20 400,00	28 895,00	13 506,61	254 735,04	25,47
15 000	10 231,20	15 876,25	10 000,00	26 180,00	31 355,00	17 243,91	317 328,13	21,16
20 000	11 988,60	20 321,90	10 000,00	32 640,00	33 215,00	21 070,88	381 568,89	19,08
25 000	13 950,00	22 750,22	10 000,00	36 125,00	35 045,00	23 674,18	424 974,21	17,00
30 000	16 281,00	25 315,55	10 000,00	39 780,00	37 175,00	26 625,62	473 822,71	15,79
35 000	17 010,00	25 315,55	10 000,00	39 780,00	38 075,00	27 213,81	482 958,54	13,80
40 000	18 270,00	28 017,87	10 000,00	43 605,00	38 705,00	29 337,00	518 995,93	12,97
45 000	19 026,00	29 705,03	10 000,00	45 981,60	39 083,00	30 643,43	541 192,89	12,03
50 000	19 530,00	30 857,20	10 000,00	47 600,00	39 335,00	31 527,93	556 230,26	11,12

12/32

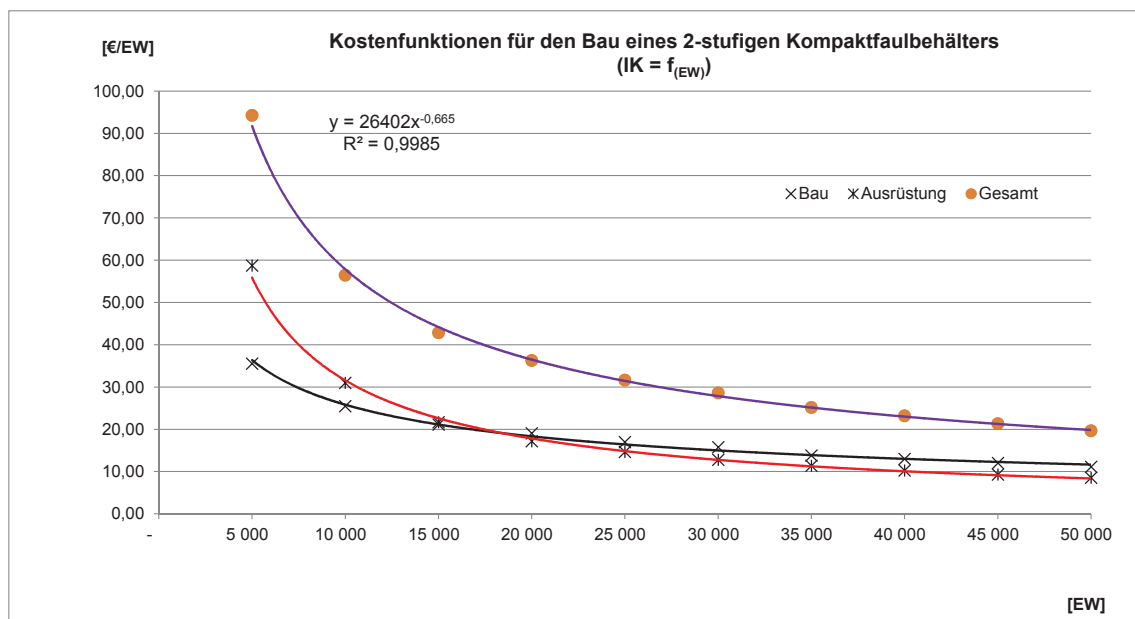
Kostenermittlung Faulturm, Ausrüstung - Maschinen- und EMSR-Technik (Ausführung als 2-stufiger Kompaktfaultbehälter)

Ausbaugröße [EW]	Durchmisch. Faultbeh.	Beschick- Entnahme	Heizschlamm- kreislauf	Gasent- nahme	Heizung	EMSR- Technik	Sonstiges	Summe
5 000	35 000,00	18 000,00	32 000,00	30 000,00	45 000,00	125 000,00	8 550,00	293 550,00
10 000	38 000,00	20 000,00	35 000,00	33 000,00	47 500,00	127 500,00	9 030,00	310 030,00
15 000	42 000,00	22 000,00	37 500,00	34 500,00	50 000,00	130 000,00	9 480,00	325 480,00
20 000	45 000,00	25 000,00	40 000,00	36 000,00	53 000,00	135 000,00	10 020,00	344 020,00
25 000	50 000,00	27 500,00	45 000,00	38 500,00	55 000,00	140 000,00	10 680,00	366 680,00
30 000	52 000,00	29 000,00	50 000,00	40 000,00	57 000,00	145 000,00	11 190,00	384 190,00
35 000	53 000,00	30 000,00	54 000,00	42 000,00	58 500,00	150 000,00	11 625,00	399 125,00
40 000	54 000,00	31 000,00	57 000,00	44 000,00	60 000,00	152 000,00	11 940,00	409 940,00
45 000	55 000,00	32 000,00	59 000,00	46 000,00	61 000,00	153 500,00	12 195,00	418 695,00
50 000	57 000,00	32 500,00	60 000,00	48 000,00	62 000,00	155 000,00	12 435,00	426 935,00

Zusammenstellung der Gesamtkosten für den Faultbehälter

Ausbaugröße [EW]	Bau	Ausrüstung	Summe	spez. Kosten		
				Bau	Ausrüstung	Gesamt
[EW]				[€/EW]	[€/EW]	[€/EW]
5 000	177 643,94	293 550,00	471 193,94	35,53	58,71	94,24
10 000	254 735,04	310 030,00	564 765,04	25,47	31,00	56,48
15 000	317 328,13	325 480,00	642 808,13	21,16	21,70	42,85
20 000	381 568,89	344 020,00	725 588,89	19,08	17,20	36,28
25 000	424 974,21	366 680,00	791 654,21	17,00	14,67	31,67
30 000	473 822,71	384 190,00	858 012,71	15,79	12,81	28,60
35 000	482 958,54	399 125,00	882 083,54	13,80	11,40	25,20
40 000	518 995,93	409 940,00	928 935,93	12,97	10,25	23,22
45 000	541 192,89	418 695,00	959 887,89	12,03	9,30	21,33
50 000	556 230,26	426 935,00	983 165,26	11,12	8,54	19,66

13/32



14/32

Ausbaugröße	Zwischenpumpwerk			spez. Kosten		
	Bau	Ausrüstung	Gesamt	Bau	Ausrüstung	Gesamt
[EW]	[€]	[€]	[€]	[€/EW]	[€/EW]	[€/EW]
5 000	18 500,00	15 000,00	33 500,00	3,70	3,00	6,70
10 000	20 000,00	17 500,00	37 500,00	2,00	1,75	3,75
15 000	23 000,00	18 500,00	41 500,00	1,53	1,23	2,77
20 000	25 000,00	20 000,00	45 000,00	1,25	1,00	2,25
25 000	27 500,00	22 500,00	50 000,00	1,10	0,90	2,00
30 000	28 500,00	23 500,00	52 000,00	0,95	0,78	1,73
35 000	30 000,00	25 000,00	55 000,00	0,86	0,71	1,57
40 000	32 500,00	26 500,00	59 000,00	0,81	0,66	1,48
45 000	34 000,00	28 000,00	62 000,00	0,76	0,62	1,38
50 000	35 000,00	30 000,00	65 000,00	0,70	0,60	1,30

Ausbaugröße	Rohschlammbehälter			spez. Kosten		
	Bau	Ausrüstung	Gesamt	Bau	Ausrüstung	Gesamt
[EW]	[€]	[€]	[€]	[€/EW]	[€/EW]	[€/EW]
5 000	25 000,00	15 000,00	40 000,00	5,00	3,00	8,00
10 000	30 000,00	18 000,00	48 000,00	3,00	1,80	4,80
15 000	35 000,00	22 500,00	57 500,00	2,33	1,50	3,83
20 000	40 000,00	22 500,00	62 500,00	2,00	1,13	3,13
25 000	45 000,00	22 500,00	67 500,00	1,80	0,90	2,70
30 000	49 000,00	22 500,00	71 500,00	1,63	0,75	2,38
35 000	52 000,00	22 500,00	74 500,00	1,49	0,64	2,13
40 000	55 000,00	22 500,00	77 500,00	1,38	0,56	1,94
45 000	57 500,00	22 500,00	80 000,00	1,28	0,50	1,78
50 000	60 000,00	22 500,00	82 500,00	1,20	0,45	1,65

15/32

Ausbaugröße	Primärschlammumpwerk			spez. Kosten		
	Bau	Ausrüstung	Gesamt	Bau	Ausrüstung	Gesamt
[EW]	[€]	[€]	[€]	[€/EW]	[€/EW]	[€/EW]
5 000	12 500,00	18 000,00	30 500,00	2,50	3,60	6,10
10 000	15 000,00	20 000,00	35 000,00	1,50	2,00	3,50
15 000	18 000,00	22 500,00	40 500,00	1,20	1,50	2,70
20 000	20 000,00	23 500,00	43 500,00	1,00	1,18	2,18
25 000	22 000,00	25 000,00	47 000,00	0,88	1,00	1,88
30 000	25 000,00	27 500,00	52 500,00	0,83	0,92	1,75
35 000	25 000,00	30 000,00	55 000,00	0,71	0,86	1,57
40 000	25 000,00	32 500,00	57 500,00	0,63	0,81	1,44
45 000	25 000,00	35 000,00	60 000,00	0,56	0,78	1,33
50 000	25 000,00	35 000,00	60 000,00	0,50	0,70	1,20

Ausbaugröße	Maschinelle Voreindickung			spez. Kosten		
	Bau	Ausrüstung	Gesamt	Bau	Ausrüstung	Gesamt
[EW]	[€]	[€]	[€]	[€/EW]	[€/EW]	[€/EW]
5 000		75 000,00	75 000,00	#WERT!	15,00	15,00
10 000		80 000,00	80 000,00	0,00	8,00	8,00
15 000		85 000,00	85 000,00	0,00	5,67	5,67
20 000		90 000,00	90 000,00	0,00	4,50	4,50
25 000		100 000,00	100 000,00	0,00	4,00	4,00
30 000		110 000,00	110 000,00	0,00	3,67	3,67
35 000		120 000,00	120 000,00	0,00	3,43	3,43
40 000		120 000,00	120 000,00	0,00	3,00	3,00
45 000		130 000,00	130 000,00	0,00	2,89	2,89
50 000		130 000,00	130 000,00	0,00	2,60	2,60

16/32

Ausbaugröße	Technikgebäude			spez. Kosten		
	Bau	Ausrüstung	Gesamt	Bau	Ausrüstung	Gesamt
[EW]	[€]	[€]	[€]	[€/EW]	[€/EW]	[€/EW]
5 000	120 000,00	5 000,00	125 000,00	24,00	1,00	25,00
10 000	125 000,00	5 000,00	130 000,00	12,50	0,50	13,00
15 000	130 000,00	5 000,00	135 000,00	8,67	0,33	9,00
20 000	135 000,00	5 000,00	140 000,00	6,75	0,25	7,00
25 000	145 000,00	7 500,00	152 500,00	5,80	0,30	6,10
30 000	145 000,00	7 500,00	152 500,00	4,83	0,25	5,08
35 000	145 000,00	7 500,00	152 500,00	4,14	0,21	4,36
40 000	150 000,00	10 000,00	160 000,00	3,75	0,25	4,00
45 000	150 000,00	10 000,00	160 000,00	3,33	0,22	3,56
50 000	150 000,00	10 000,00	160 000,00	3,00	0,20	3,20

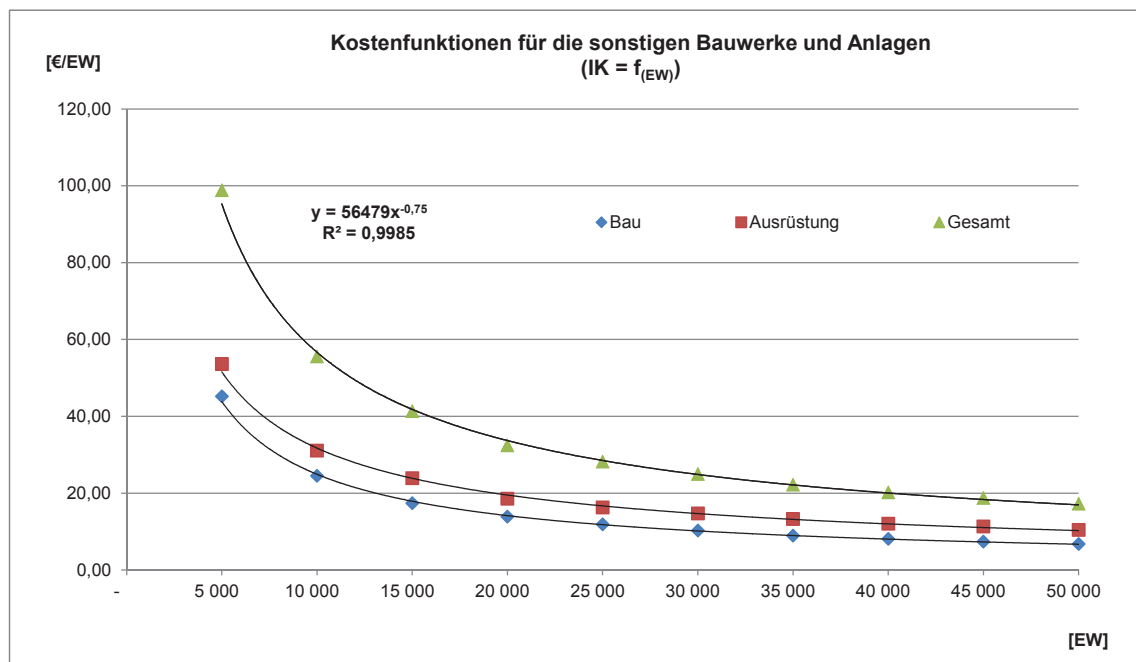
Ausbaugröße	Gasspeicher und Gasfackel			spez. Kosten		
	Bau	Ausrüstung	Gesamt	Bau	Ausrüstung	Gesamt
[EW]	[€]	[€]	[€]	[€/EW]	[€/EW]	[€/EW]
5 000	50 000,00	85 000,00	135 000,00	10,00	17,00	27,00
10 000	55 000,00	90 000,00	145 000,00	5,50	9,00	14,50
15 000	55 000,00	95 000,00	150 000,00	3,67	6,33	10,00
20 000	57 500,00	100 000,00	157 500,00	2,88	5,00	7,88
25 000	57 500,00	105 000,00	162 500,00	2,30	4,20	6,50
30 000	60 000,00	110 000,00	170 000,00	2,00	3,67	5,67
35 000	60 000,00	115 000,00	175 000,00	1,71	3,29	5,00
40 000	62 500,00	120 000,00	182 500,00	1,56	3,00	4,56
45 000	65 000,00	125 000,00	190 000,00	1,44	2,78	4,22
50 000	67 500,00	130 000,00	197 500,00	1,35	2,60	3,95

17/32

Ausbaugröße	Blockheizkraftwerk			spez. Kosten		
	Bau	Ausrüstung	Gesamt	Bau	Ausrüstung	Gesamt
[EW]	[€]	[€]	[€]	[€/EW]	[€/EW]	[€/EW]
5 000		55 000,00	55 000,00	0,00	11,00	11,00
10 000		80 000,00	80 000,00	0,00	8,00	8,00
15 000		110 000,00	110 000,00	0,00	7,33	7,33
20 000		110 000,00	110 000,00	0,00	5,50	5,50
25 000	in Technik- gebäude enthalten!	125 000,00	125 000,00	0,00	5,00	5,00
30 000		140 000,00	140 000,00	0,00	4,67	4,67
35 000		145 000,00	145 000,00	0,00	4,14	4,14
40 000		150 000,00	150 000,00	0,00	3,75	3,75
45 000		160 000,00	160 000,00	0,00	3,56	3,56
50 000		165 000,00	165 000,00	0,00	3,30	3,30

Ausbaugröße	Sonstige Bauwerke und Anlagen			spez. Kosten		
	Bau	Ausrüstung	Gesamt	Bau	Ausrüstung	Gesamt
[EW]	[€]	[€]	[€]	[€/EW]	[€/EW]	[€/EW]
5 000	226 000,00	268 000,00	494 000,00	45,20	53,60	98,80
10 000	245 000,00	310 500,00	555 500,00	24,50	31,05	55,55
15 000	261 000,00	358 500,00	619 500,00	17,40	23,90	41,30
20 000	277 500,00	371 000,00	648 500,00	13,88	18,55	32,43
25 000	297 000,00	407 500,00	704 500,00	11,88	16,30	28,18
30 000	307 500,00	441 000,00	748 500,00	10,25	14,70	24,95
35 000	312 000,00	465 000,00	777 000,00	8,91	13,29	22,20
40 000	325 000,00	481 500,00	806 500,00	8,13	12,04	20,16
45 000	331 500,00	510 500,00	842 000,00	7,37	11,34	18,71
50 000	337 500,00	522 500,00	860 000,00	6,75	10,45	17,20

18/32



19/32

Zusammenstellung der Gesamtkosten für die Verfahrensumstellung

Ausbau- größe	VKB		PS-PW		Z-PW		Rohschlammbehälter	
	Bau	Ausrüstung	Bau	Ausrüstung	Bau	Ausrüstung	Bau	Ausrüstung
	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
5 000	80 787,98	50 421,50	12 500,00	18 000,00	18 500,00	15 000,00	25 000,00	15 000,00
10 000	109 949,18	66 266,97	15 000,00	20 000,00	20 000,00	17 500,00	30 000,00	18 000,00
15 000	136 087,21	75 737,66	18 000,00	22 500,00	23 000,00	18 500,00	35 000,00	22 500,00
20 000	167 107,46	87 019,33	20 000,00	23 500,00	25 000,00	20 000,00	40 000,00	22 500,00
25 000	177 833,09	87 818,27	22 000,00	25 000,00	27 500,00	22 500,00	45 000,00	22 500,00
30 000	199 967,91	95 397,18	25 000,00	27 500,00	28 500,00	23 500,00	49 000,00	22 500,00
35 000	223 118,03	100 087,51	25 000,00	30 000,00	30 000,00	25 000,00	52 000,00	22 500,00
40 000	230 540,55	102 605,43	25 000,00	32 500,00	32 500,00	26 500,00	55 000,00	22 500,00
45 000	245 265,33	105 283,82	25 000,00	35 000,00	34 000,00	28 000,00	57 500,00	22 500,00
50 000	251 113,70	107 152,76	25 000,00	35 000,00	35 000,00	30 000,00	60 000,00	22 500,00

Ausbau- größe	Masch. Voreindückung		Technikgebäude		Faulturm		Gasspeicher/Gasfackel	
	Bau	Ausrüstung	Bau	Ausrüstung	Bau	Ausrüstung	Bau	Ausrüstung
	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]	[€]
5 000		75 000,00	120 000,00	5 000,00	177 643,94	293 550,00	50 000,00	85 000,00
10 000		80 000,00	125 000,00	5 000,00	254 735,04	310 030,00	55 000,00	90 000,00
15 000		85 000,00	130 000,00	5 000,00	317 328,13	325 480,00	55 000,00	95 000,00
20 000		90 000,00	135 000,00	5 000,00	381 568,89	344 020,00	57 500,00	100 000,00
25 000	im Technik- gebäude enthalten	100 000,00	145 000,00	7 500,00	424 974,21	366 680,00	57 500,00	105 000,00
30 000		110 000,00	145 000,00	7 500,00	473 822,71	384 190,00	60 000,00	110 000,00
35 000		120 000,00	145 000,00	7 500,00	482 958,54	399 125,00	60 000,00	115 000,00
40 000		120 000,00	150 000,00	10 000,00	518 995,93	409 940,00	62 500,00	120 000,00
45 000		130 000,00	150 000,00	10 000,00	541 192,89	418 695,00	65 000,00	125 000,00
50 000		130 000,00	150 000,00	10 000,00	556 230,26	426 935,00	67 500,00	130 000,00

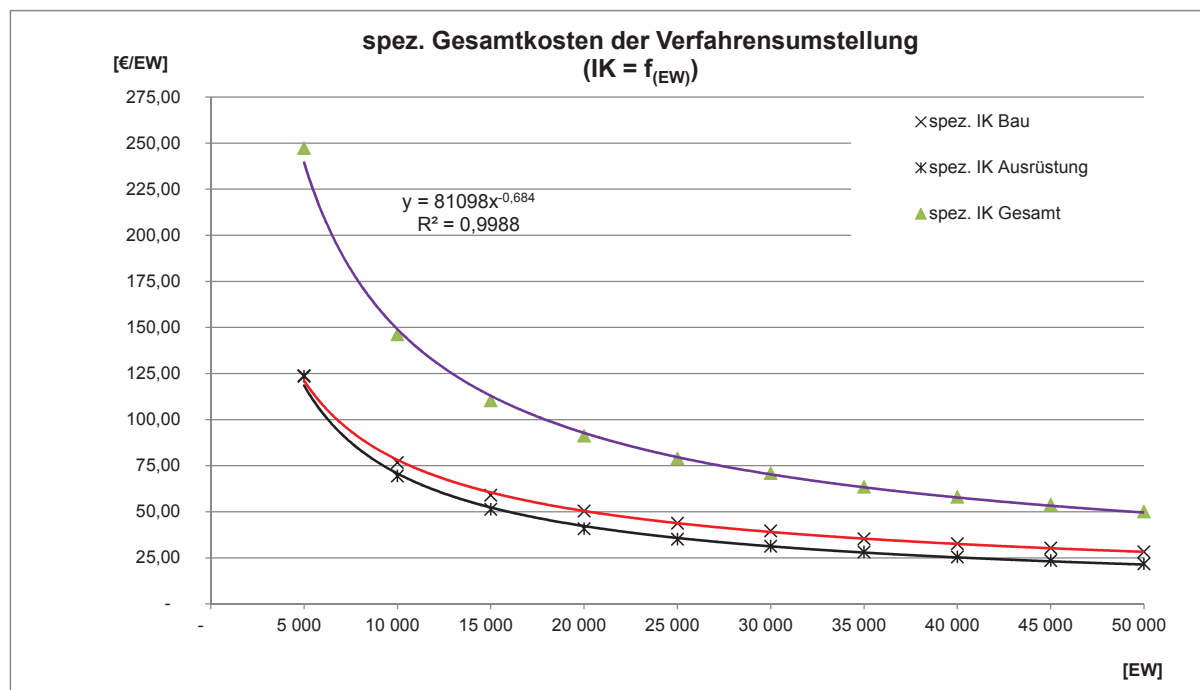
20/32

Ausbau- größe	Blockheizkraftwerk		Rohrleit- ungen	Verkehrs- flächen	Sonstiges	Summe Bau	Summe Ausrüstung	Summe gesamt
	Bau	Ausrüstung						
	[€]	[€]						
5 000		55 000,00	65 000,00	65 000,00	10 000,00	619 431,92	616 971,50	1 236 403,42
10 000		80 000,00	75 000,00	75 000,00	15 000,00	767 184,22	694 296,97	1 461 481,19
15 000		110 000,00	80 000,00	80 000,00	20 000,00	884 415,33	769 717,66	1 654 133,00
20 000		110 000,00	85 000,00	85 000,00	25 000,00	1 008 676,35	814 539,33	1 823 215,68
25 000	im Technik- gebäude enthalten	125 000,00	90 000,00	90 000,00	30 000,00	1 094 807,31	876 998,27	1 971 805,58
30 000		140 000,00	95 000,00	95 000,00	35 000,00	1 188 790,62	938 087,18	2 126 877,80
35 000		145 000,00	100 000,00	100 000,00	40 000,00	1 238 076,57	984 212,51	2 222 289,08
40 000		150 000,00	105 000,00	105 000,00	45 000,00	1 307 036,48	1 016 545,43	2 323 581,91
45 000		160 000,00	110 000,00	110 000,00	50 000,00	1 362 958,23	1 059 478,82	2 422 437,05
50 000		165 000,00	120 000,00	120 000,00	60 000,00	1 414 843,96	1 086 587,76	2 501 431,72

Ausbau- größe	spez. Kosten		
	Bau	Ausrüstung	Gesamt
	[€/EW]	[€/EW]	[€/EW]

5 000	123,89	123,39	247,28
10 000	76,72	69,43	146,15
15 000	58,96	51,31	110,28
20 000	50,43	40,73	91,16
25 000	43,79	35,08	78,87
30 000	39,63	31,27	70,90
35 000	35,37	28,12	63,49
40 000	32,68	25,41	58,09
45 000	30,29	23,54	53,83
50 000	28,30	21,73	50,03

21/32



22/32

Berechnung der Kapitalkosten der Verfahrensumstellung

Die Kapitalkosten berechnen sich aus den Investitionskosten multipliziert mit den Kapitalwiedergewinnungsfaktoren (KFAKR).

Die Kapitalwiedergewinnungsfaktoren werden in Abhängigkeit der Nutzungsdauer der jeweiligen Anlagenteile sowie des Zinssatzes wie folgt ermittelt:

$$\text{KFAKR}(i;n) = i \cdot (1 + i)^n / [(1 + i)^n - 1]$$

Die berechneten Faktoren können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

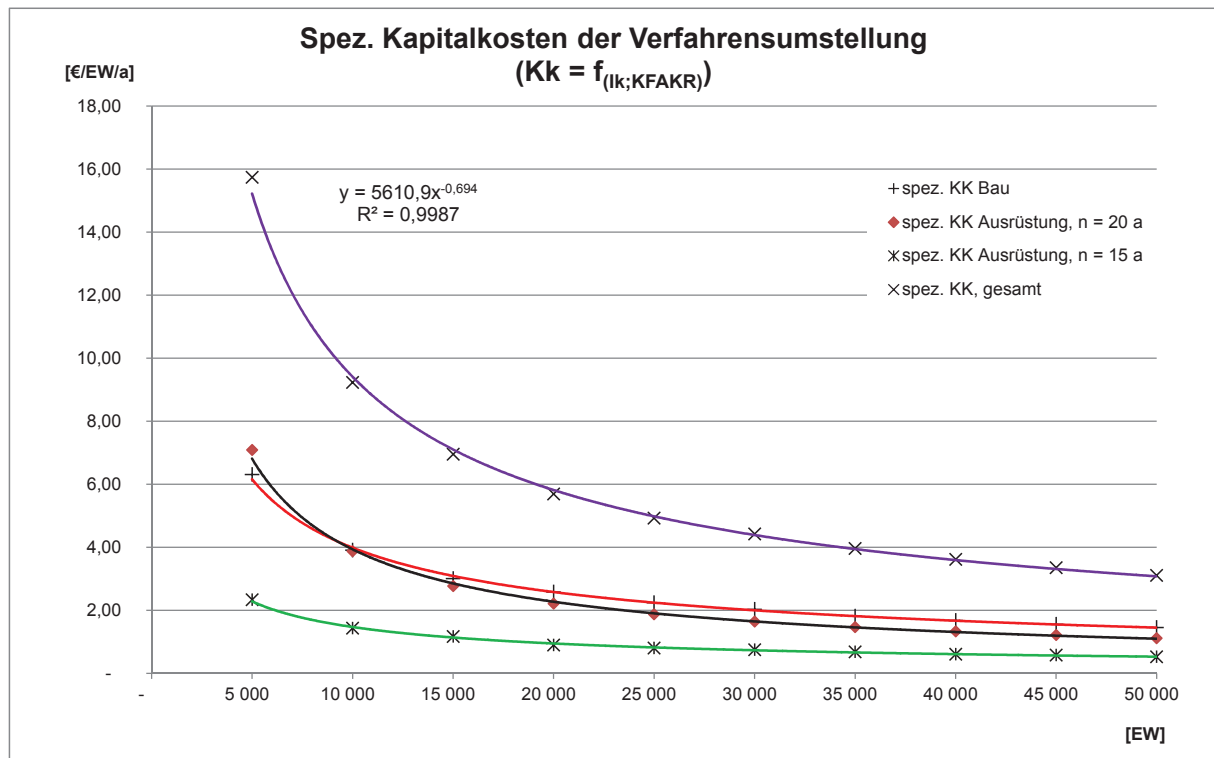
Nutzungsdauer		Zinssatz	KFAKR
Bauwerke; Verkehrsflächen usw.	40 a	4,0%	0,050523
Ausrüstung (Pumpen, Rührwerke usw.)	20 a	4,0%	0,073582
BHKW, Maschinelle Voreindickung	15 a	4,0%	0,089941

Ausbau- größe	Investitionskosten			Summe	Kapitalkosten			Summe
	Bau	Ausrüstung 20 a	Ausrüstung 13,5 a		Bau	Ausrüstung 20 a	Ausrüstung 13,5 a	
	[€]	[€]	[€]		[€/a]	[€/a]	[€/a]	
5 000	624 431,92	481 971,50	130 000,00	1 236 403,42	31 548,17	35 464,43	11 692,33	78 704,93
10 000	774 684,22	526 796,97	160 000,00	1 461 481,19	39 139,37	38 762,77	14 390,56	92 292,71
15 000	894 415,33	564 717,66	195 000,00	1 654 133,00	45 188,55	41 553,06	17 538,50	104 280,10
20 000	1 021 176,35	602 039,33	200 000,00	1 823 215,68	51 592,89	44 299,26	17 988,20	113 880,35
25 000	1 109 807,31	636 998,27	225 000,00	1 971 805,58	56 070,79	46 871,61	20 236,73	123 179,13
30 000	1 206 290,62	670 587,18	250 000,00	2 126 877,80	60 945,42	49 343,15	22 485,25	132 773,82
35 000	1 258 076,57	699 212,51	265 000,00	2 222 289,08	63 561,80	51 449,45	23 834,37	138 845,62
40 000	1 329 536,48	724 045,43	270 000,00	2 323 581,91	67 172,17	53 276,71	24 284,07	144 732,95
45 000	1 387 958,23	744 478,82	290 000,00	2 422 437,05	70 123,81	54 780,24	26 082,89	150 986,94
50 000	1 444 843,96	761 587,76	295 000,00	2 501 431,72	72 997,85	56 039,15	26 532,60	155 569,60

23/32

Ausbau- größe	spez. Kapitalkosten			
	Bau	Ausrüstung 20 a	Ausrüstung 13,5 a	Gesamt
	[€/EW/a]	[€/EW/a]	[€/EW/a]	[€/EW/a]

5 000	6,31	7,09	2,34	15,74
10 000	3,91	3,88	1,44	9,23
15 000	3,01	2,77	1,17	6,95
20 000	2,58	2,21	0,90	5,69
25 000	2,24	1,87	0,81	4,93
30 000	2,03	1,64	0,75	4,43
35 000	1,82	1,47	0,68	3,97
40 000	1,68	1,33	0,61	3,62
45 000	1,56	1,22	0,58	3,36
50 000	1,46	1,12	0,53	3,11



25/32

Berechnung der Stromkostenvorteils aus dem Betrieb einer BHKW-Anlage

Ausbaugröße	spez. Gasanfall	Gasproduktion	Gasproduktion	Wirkungsgrad BHKW	elektr. Leistung BHKW	Stromproduktion	spez. Strompreis	geldwerter Vorteil
[EW]	[l/EW/d]	[m³/d]	[m³/a]	[%]	[kW]	[kWh/a]	[€/kWh]	[€/a]
5 000	17	85	31 025	30	8,3	60 499	0,150	9 074,81
10 000	18	180	65 700	31	18,1	132 386	0,150	19 857,83
15 000	19	285	104 025	32	29,6	216 372	0,150	32 455,80
20 000	20	400	146 000	33	42,9	313 170	0,145	45 409,65
25 000	20	500	182 500	33	44,7	391 463	0,145	56 762,06
30 000	20	600	219 000	33	53,6	469 755	0,145	68 114,48
35 000	20	700	255 500	33	62,6	548 048	0,140	76 726,65
40 000	20	800	292 000	34	73,7	645 320	0,140	90 344,80
45 000	20	900	328 500	34	82,9	725 985	0,135	98 007,98
50 000	20	1 000	365 000	34	92,1	806 650	0,135	108 897,75

Ausbaugröße	KWK-Bonus	vermiedene Netznutzungsgebühr	spez. Betriebskosten BHKW	Gesamtbetriebskosten	Nettoertrag
[EW]	[€/a]	[€/a]	[ct/kWh]	[€/a]	[€/a]
5 000	2 627,76	471,89	3,50	2 117,46	10 057,01
10 000	5 750,16	1 032,61	3,50	4 633,49	22 007,10
15 000	9 398,12	1 687,70	3,25	7 032,09	36 509,53
20 000	13 602,54	2 442,73	3,25	10 178,03	51 276,89
25 000	17 003,17	3 053,41	3,00	11 743,88	65 074,77
30 000	19 591,36	3 664,09	3,00	14 092,65	77 277,27
35 000	20 988,88	4 274,77	2,80	15 345,33	86 644,97
40 000	22 725,19	5 033,50	2,80	18 068,96	100 034,53
45 000	24 165,06	5 662,68	2,50	18 149,63	109 686,10
50 000	25 604,93	6 291,87	2,50	20 166,25	120 628,30

26/32

Berechnung der Einsparungen bei der maschinellen Schlamm entwässerung und der Schlamm entsorgung

Ausbaugröße	Mengenreduzierungen		Einsparung Entw.-Kosten [€/a]	Entsorgungskosten bei		Einsparung Ents.-Kosten [€/a]	Gesamtein- sparungen [€/a]
	Feststoff	Nassschlamm		AS	Faulung		
	[kgTR/a]	[m³/a]		[€/a]	[€/a]		
5 000	18 250	608	3 042	28 868	18 771	10 097	13 138
10 000	36 500	1 217	6 083	57 736	37 543	20 194	26 277
15 000	54 750	1 825	9 125	86 605	56 314	30 290	39 415
20 000	73 000	2 433	9 733	115 473	75 086	40 387	50 120
25 000	91 250	3 042	12 167	144 341	93 857	50 484	62 650
30 000	109 500	3 650	14 600	173 209	112 629	60 581	75 181
35 000	127 750	4 258	17 033	202 077	131 400	70 677	87 711
40 000	146 000	4 867	17 033	230 945	150 171	80 774	97 807
45 000	164 250	5 475	19 163	259 814	168 943	90 871	110 033
50 000	182 500	6 083	21 292	288 682	187 714	100 968	122 259

Berechnung der Stromkosteneinsparung durch Umstellung der Verfahrensführung

Ausbaugröße	Einsparung Bel./Umw. [kWh/a]	Mehrverbrauch durch				Differenz [kWh/a]	spez. Strompreis [€/kWh]	Einsparung [€/a]
		VKB	Z-PW	MÜSE	Faulung			
		[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]			
5 000	47 500	1 000,00	1 500,00	1 411,52	12 500	31 088,48	0,150	4 663,27
10 000	95 000	2 000,00	3 000,00	2 823,05	25 000	62 176,95	0,150	9 326,54
15 000	180 000	3 000,00	4 500,00	4 234,57	37 500	130 765,43	0,150	19 614,81
20 000	240 000	4 000,00	6 000,00	5 646,09	50 000	174 353,91	0,145	25 281,32
25 000	300 000	5 000,00	7 500,00	7 057,62	62 500	217 942,38	0,145	31 601,65
30 000	360 000	6 000,00	9 000,00	8 469,14	75 000	261 530,86	0,145	37 921,97
35 000	420 000	7 000,00	10 500,00	9 880,66	87 500	305 119,34	0,140	42 716,71
40 000	480 000	8 000,00	12 000,00	11 292,19	100 000	348 707,81	0,140	48 819,09
45 000	540 000	9 000,00	13 500,00	12 703,71	112 500	392 296,29	0,135	52 960,00
50 000	600 000	10 000,00	15 000,00	14 115,23	125 000	435 884,77	0,135	58 844,44

27/32

**Berechnung der höheren Personalkosten
für den Betrieb der Schlammfaulung**

Arbeits- stunden	Kosten
[Ah/Wo]	[€/a]

8	8 320,00
8	8 320,00
10	10 400,00
10	10 400,00
12	12 480,00
12	12 480,00
14	14 560,00
14	14 560,00
16	16 640,00
16	16 640,00

**Berechnung der Kosten für die Instandhaltung der zusätzlichen Ver-
fahrensstufen (Bau: 0,15 %/a und Ausrüstung = 0,3 %/a der Investitionskosten)**

Instandhaltungskosten		
Bau	Ausrüstung	Gesamt
[€/a]	[€/a]	[€/a]

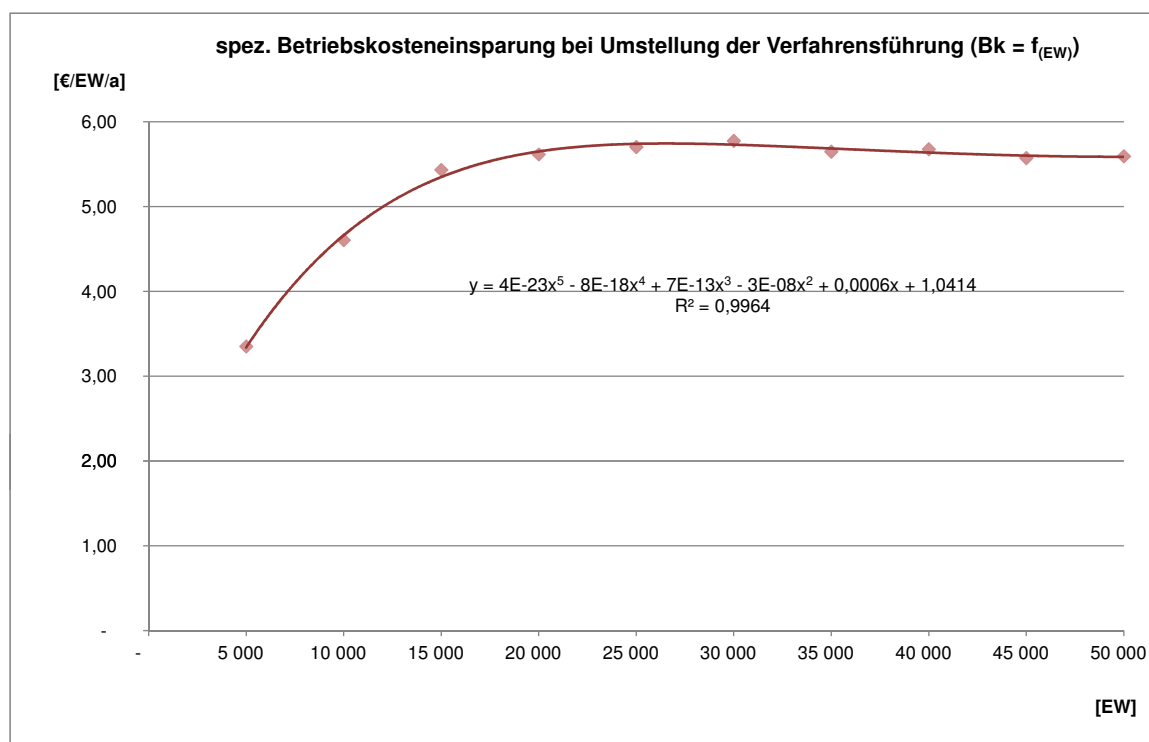
929,15	1 850,91	2 780,06
1 150,78	2 082,89	3 233,67
1 326,62	2 309,15	3 635,78
1 513,01	2 443,62	3 956,63
1 642,21	2 630,99	4 273,21
1 783,19	2 814,26	4 597,45
1 857,11	2 952,64	4 809,75
1 960,55	3 049,64	5 010,19
2 044,44	3 178,44	5 222,87
2 122,27	3 259,76	5 382,03

28/32

Zusammenstellung der Veränderung der Betriebskosten bei Umstellung der Verfahrensführung

Ausbaugröße	Kostenvorteile aus			Zwischen- summe	abzgl. höherer Per- sonalkosten	abzgl. Instandhalt- ungskosten	Differenz	
	Eigenstrom- erzeugung	niedrigerem Stromverbr.	niedrigeren Entsorgungsk.					
	[€/a]	[€/a]	[€/a]				[€/a]	[€/EW/a]
5 000	10 057,01	4 663,27	13 138	27 858,70	8 320,00	2 780,06	16 758,64	3,35
10 000	22 007,10	9 326,54	26 277	57 610,49	8 320,00	3 233,67	46 056,82	4,61
15 000	36 509,53	19 614,81	39 415	95 539,60	10 400,00	3 635,78	81 503,83	5,43
20 000	51 276,89	25 281,32	50 120	126 678,55	10 400,00	3 956,63	112 321,92	5,62
25 000	65 074,77	31 601,65	62 650	159 326,85	12 480,00	4 273,21	142 573,64	5,70
30 000	77 277,27	37 921,97	75 181	190 379,76	12 480,00	4 597,45	173 302,32	5,78
35 000	86 644,97	42 716,71	87 711	217 072,28	14 560,00	4 809,75	197 702,53	5,65
40 000	100 034,53	48 819,09	97 807	246 660,98	14 560,00	5 010,19	227 090,79	5,68
45 000	109 686,10	52 960,00	110 033	272 679,37	16 640,00	5 222,87	250 816,50	5,57
50 000	120 628,30	58 844,44	122 259	301 731,94	16 640,00	5 382,03	279 709,92	5,59

29/32

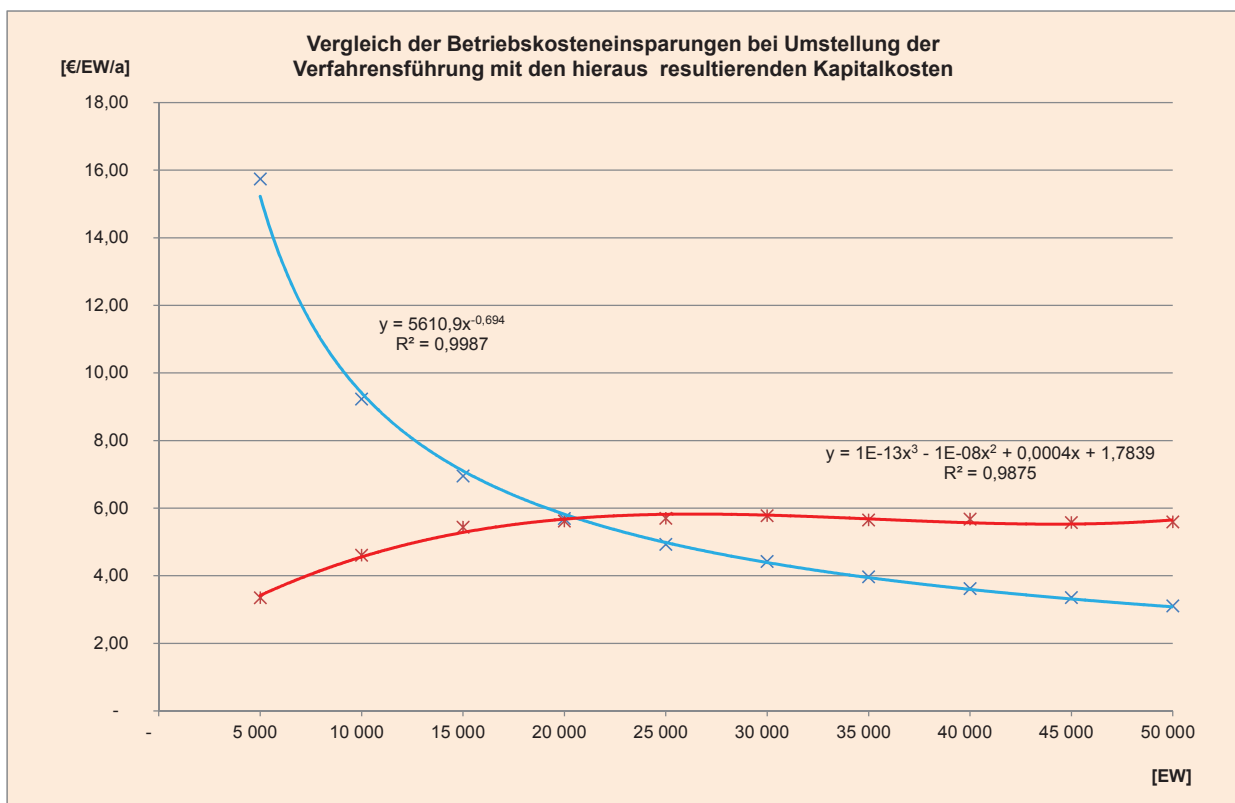


30/32

Vergleich des Betriebskostenvorteils bei Umstellung der Verfahrensführung mit den resultierenden Kapitalkosten

Ausbaugröße	spez. Kapitalkosten	spez. Betriebs- kostenvorteil
	[€/EW/a]	[€/EW/a]
5 000	15,74	3,35
10 000	9,23	4,61
15 000	6,95	5,43
20 000	5,69	5,62
25 000	4,93	5,70
30 000	4,43	5,78
35 000	3,97	5,65
40 000	3,62	5,68
45 000	3,36	5,57
50 000	3,11	5,59

31/32

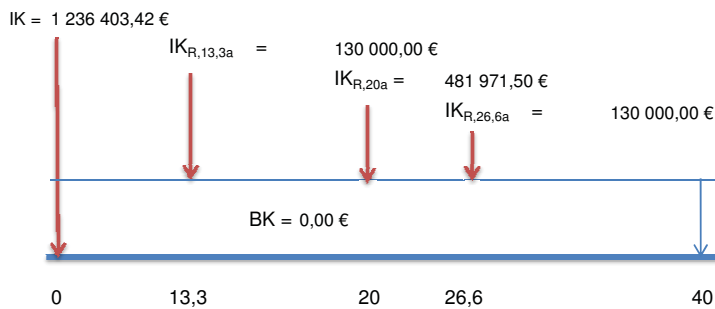


32/32

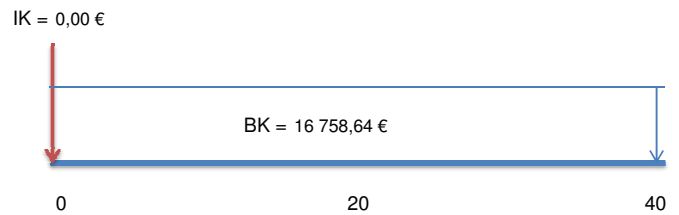
**Projektkostenbarwerte &
Empfindlichkeitsprüfung
Realzinssatz = 3 %**

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 5.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfaulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 3\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	1 236 403,42		1 236 403,42
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	130 000,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	87 750,00
nach 20	481 971,50	DFAKE(3;20)	0,55368	266 857,98
nach 26,6	130 000,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	59 051,20
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(3;40)	23,1148	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	1 650 062,60
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(3;20)	0,55368	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	
Jahren				

Laufende Kosten	16 758,64	DFAKR(3;40)	23,1148	387 372,61
-----------------	-----------	-------------	---------	------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	387 372,61
---------------------------------	------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

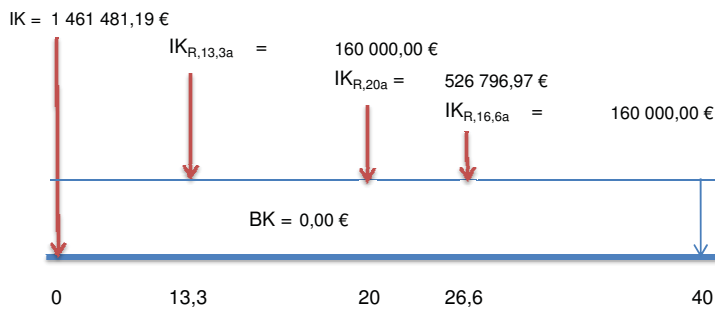
0 %/a	1 650 062,60	330,01	387 372,61	77,47
1 %/a	1 650 062,60	330,01	460 036,40	92,01
2 %/a	1 650 062,60	330,01	552 319,53	110,46
3 %/a	1 650 062,60	330,01	670 345,60	134,07
4 %/a	1 650 062,60	330,01	822 274,40	164,45
5 %/a	1 650 062,60	330,01	992 612,57	198,52

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

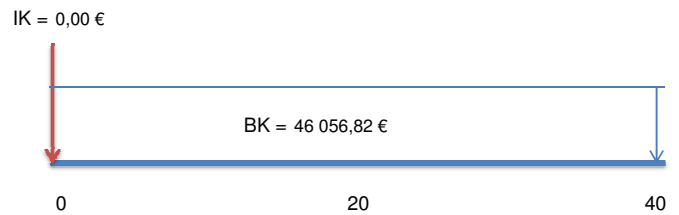
./.
27,4507
32,9573
40,0000
49,0657
59,2299 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 10.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 3\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	1 461 481,19		1 461 481,19
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	160 000,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	108 000,00
nach 20	526 796,97	DFAKE(3;20)	0,55368	291 676,95
nach 26,6	160 000,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	72 678,40
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(3;40)	23,1148	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	1 933 836,54
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(3;20)	0,55368	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	
Jahren				

Laufende Kosten	46 056,82	DFAKR(3;40)	23,1148	1 064 594,16
-----------------	-----------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	1 064 594,16
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

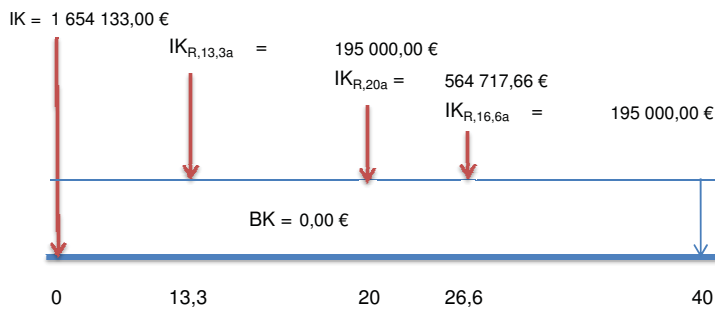
0 %/a	1 933 836,54	386,77	1 064 594,16	212,92
1 %/a	1 933 836,54	386,77	1 264 291,93	252,86
2 %/a	1 933 836,54	386,77	1 517 908,41	303,58
3 %/a	1 933 836,54	386,77	1 842 272,77	368,45
4 %/a	1 933 836,54	386,77	2 259 810,07	451,96
5 %/a	1 933 836,54	386,77	2 727 940,79	545,59

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

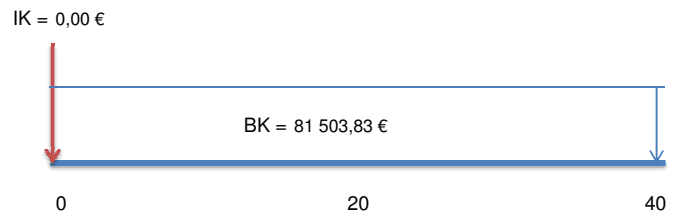
./.
27,4507
32,9573
40,0000
49,0657
59,2299 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 15.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 3\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	1 654 133,00			1 654 133,00
----	--------------	--	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R		Umrechnungsfaktor		Barwert
nach 13,3	195 000,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	131 625,00
nach 20	564 717,66	DFAKE(3;20)	0,55368	312 672,88
nach 26,6	195 000,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	88 576,80
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(3;40)	23,1148	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung			2 187 007,67	
---------------------------------	--	--	--------------	--

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	0,00			0,00
----	------	--	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R		Umrechnungsfaktor		Barwert
nach 15	0,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(3;20)	0,55368	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	
Jahren				

Laufende Kosten	81 503,83	DFAKR(3;40)	23,1148	1 883 944,67
-----------------	-----------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung			1 883 944,67	
---------------------------------	--	--	--------------	--

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

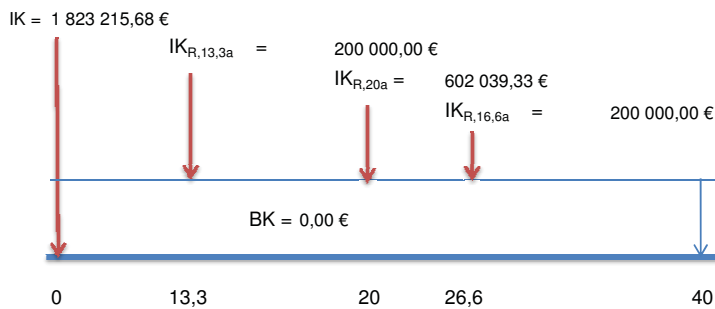
0 %/a	2 187 007,67	437,40	1 883 944,67	376,79
1 %/a	2 187 007,67	437,40	2 237 337,12	447,47
2 %/a	2 187 007,67	437,40	2 686 146,10	537,23
3 %/a	2 187 007,67	437,40	3 260 153,10	652,03
4 %/a	2 187 007,67	437,40	3 999 042,35	799,81
5 %/a	2 187 007,67	437,40	4 827 463,56	965,49

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

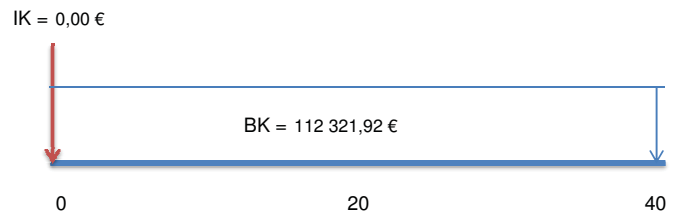
./.
27,4507
32,9573
40,0000
49,0657
59,2299 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 20.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz i = 3 %)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	1 823 215,68		1 823 215,68
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK _R				
nach 13,3	200 000,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	135 000,00
nach 20	602 039,33	DFAKE(3;20)	0,55368	333 337,14
nach 26,6	200 000,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	90 848,00
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(3;40)	23,1148	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 382 400,82
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK _R				
nach 15	0,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(3;20)	0,55368	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	
Jahren				

Laufende Kosten	112 321,92	DFAKR(3;40)	23,1148	2 596 298,72
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	2 596 298,72
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

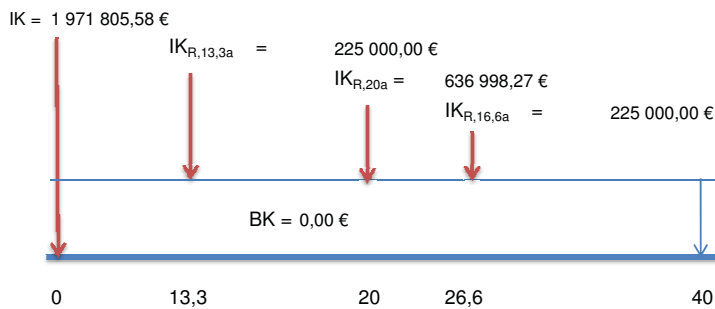
0 %/a	2 382 400,82	476,48	2 596 298,72	519,26
1 %/a	2 382 400,82	476,48	3 083 315,33	616,66
2 %/a	2 382 400,82	476,48	3 701 827,22	740,37
3 %/a	2 382 400,82	476,48	4 492 876,81	898,58
4 %/a	2 382 400,82	476,48	5 511 153,64	1 102,23
5 %/a	2 382 400,82	476,48	6 652 816,10	1 330,56

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

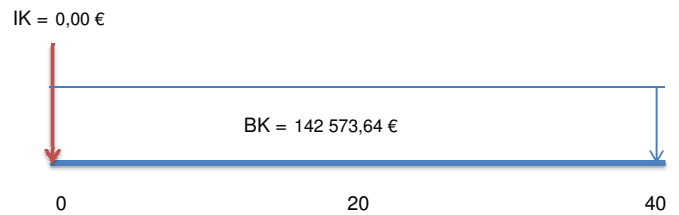
./.
27,4507
32,9573
40,0000
49,0657
59,2299 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 25.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 3\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	1 971 805,58		1 971 805,58
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	225 000,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	151 875,00
nach 20	636 998,27	DFAKE(3;20)	0,55368	352 693,20
nach 26,6	225 000,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	102 204,00
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(3;40)	23,1148	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 578 577,78
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(3;20)	0,55368	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	
Jahren				

Laufende Kosten	142 573,64	DFAKR(3;40)	23,1148	3 295 561,20
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	3 295 561,20
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

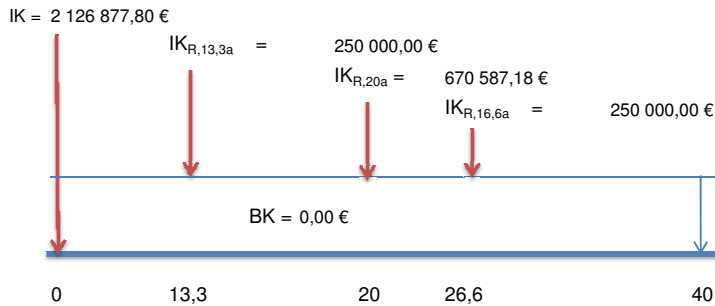
0 %/a	2 578 577,78	515,72	3 295 561,20	659,11
1 %/a	2 578 577,78	515,72	3 913 746,26	782,75
2 %/a	2 578 577,78	515,72	4 698 842,27	939,77
3 %/a	2 578 577,78	515,72	5 702 945,65	1 140,59
4 %/a	2 578 577,78	515,72	6 995 475,51	1 399,10
5 %/a	2 578 577,78	515,72	8 444 622,52	1 688,92

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

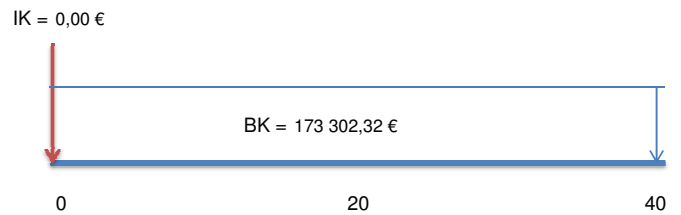
./.
27,4507
32,9573
40,0000
49,0657
59,2299 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 30.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 3\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	2 126 877,80			2 126 877,80
----	--------------	--	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	250 000,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	168 750,00
nach 20	670 587,18	DFAKE(3;20)	0,55368	371 290,71
nach 26,6	250 000,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	113 560,00
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(3;40)	23,1148	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung				2 780 478,50
---------------------------------	--	--	--	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	0,00			0,00
----	------	--	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(3;20)	0,55368	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	
Jahren				

Laufende Kosten	173 302,32	DFAKR(3;40)	23,1148	4 005 848,41
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung				4 005 848,41
---------------------------------	--	--	--	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

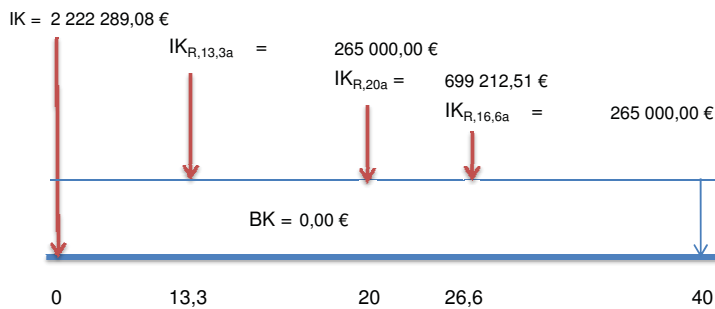
0 %/a	2 780 478,50	556,10	4 005 848,41	801,17
1 %/a	2 780 478,50	556,10	4 757 269,92	951,45
2 %/a	2 780 478,50	556,10	5 711 576,46	1 142,32
3 %/a	2 780 478,50	556,10	6 932 092,70	1 386,42
4 %/a	2 780 478,50	556,10	8 503 199,51	1 700,64
5 %/a	2 780 478,50	556,10	10 264 678,93	2 052,94

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

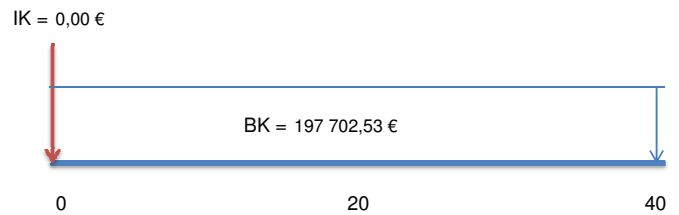
./.
27,4507
32,9573
40,0000
49,0657
59,2299 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 35.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 3 \%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	2 222 289,08		2 222 289,08
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	265 000,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	178 875,00
nach 20	699 212,51	DFAKE(3;20)	0,55368	387 139,98
nach 26,6	265 000,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	120 373,60
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(3;40)	23,1148	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 908 677,66
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(3;20)	0,55368	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	
Jahren				

Laufende Kosten	197 702,53	DFAKR(3;40)	23,1148	4 569 854,42
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	4 569 854,42
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

0 %/a	2 908 677,66	581,74	4 569 854,42	913,97
1 %/a	2 908 677,66	581,74	5 427 072,82	1 085,41
2 %/a	2 908 677,66	581,74	6 515 741,56	1 303,15
3 %/a	2 908 677,66	581,74	7 908 101,16	1 581,62
4 %/a	2 908 677,66	581,74	9 700 412,98	1 940,08
5 %/a	2 908 677,66	581,74	11 709 901,03	2 341,98

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.

27,4507

32,9573

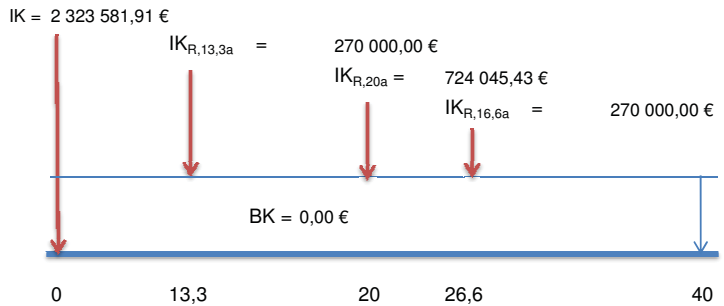
40,0000

49,0657

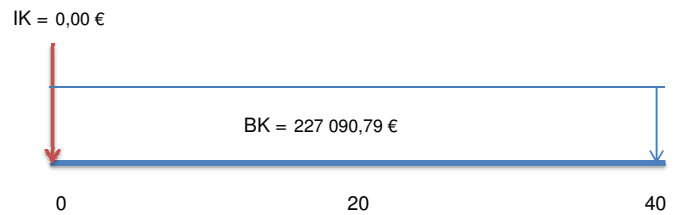
59,2299 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 40.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 3\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	2 323 581,91			2 323 581,91
----	--------------	--	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	270 000,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	182 250,00
nach 20	724 045,43	DFAKE(3;20)	0,55368	400 889,48
nach 26,6	270 000,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	122 644,80
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(3;40)	23,1148	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung				3 029 366,19
---------------------------------	--	--	--	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	0,00			0,00
----	------	--	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(3;20)	0,55368	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	
Jahren				

Laufende Kosten	227 090,79	DFAKR(3;40)	23,1148	5 249 158,19
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung				5 249 158,19
---------------------------------	--	--	--	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

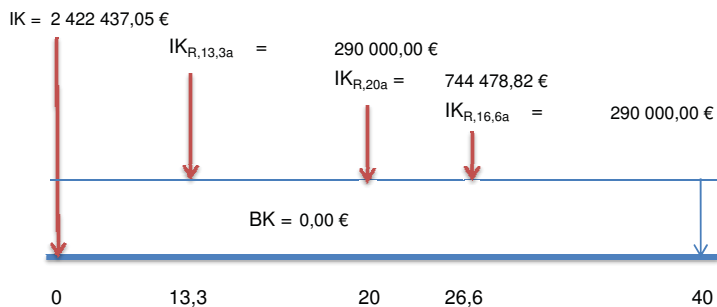
0 %/a	3 029 366,19	605,87	5 249 158,19	1 049,83
1 %/a	3 029 366,19	605,87	6 233 801,15	1 246,76
2 %/a	3 029 366,19	605,87	7 484 299,29	1 496,86
3 %/a	3 029 366,19	605,87	9 083 631,60	1 816,73
4 %/a	3 029 366,19	605,87	11 142 368,58	2 228,47
5 %/a	3 029 366,19	605,87	13 450 564,78	2 690,11

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.
27,4507
32,9573
40,0000
49,0657
59,2299 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 45.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 3\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	2 422 437,05		2 422 437,05
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	290 000,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	195 750,00
nach 20	744 478,82	DFAKE(3;20)	0,55368	412 203,03
nach 26,6	290 000,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	131 729,60
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(3;40)	23,1148	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	3 162 119,68
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(3;20)	0,55368	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	
Jahren				

Laufende Kosten	250 816,50	DFAKR(3;40)	23,1148	5 797 573,23
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	5 797 573,23
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

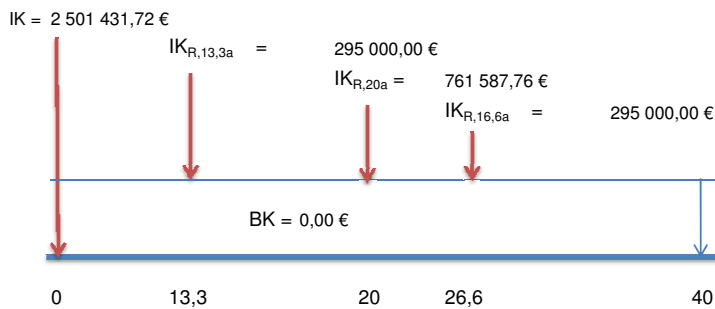
0 %/a	3 162 119,68	632,42	5 797 573,23	1 159,51
1 %/a	3 162 119,68	632,42	6 885 088,49	1 377,02
2 %/a	3 162 119,68	632,42	8 266 234,63	1 653,25
3 %/a	3 162 119,68	632,42	10 032 659,99	2 006,53
4 %/a	3 162 119,68	632,42	12 306 487,13	2 461,30
5 %/a	3 162 119,68	632,42	14 855 836,20	2 971,17

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

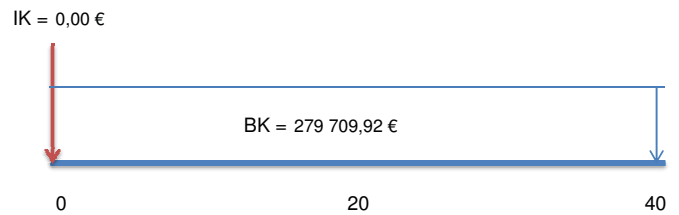
./.
27,4507
32,9573
40,0000
49,0657
59,2299 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 50.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 3\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	2 501 431,72			2 501 431,72
----	--------------	--	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	295 000,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	199 125,00
nach 20	761 587,76	DFAKE(3;20)	0,55368	421 675,91
nach 26,6	295 000,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	134 000,80
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(3;40)	23,1148	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung				3 256 233,44
---------------------------------	--	--	--	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	0,00			0,00
----	------	--	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(3;13,3)	0,67500	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(3;20)	0,55368	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(3;26,7)	0,45424	
Jahren				

Laufende Kosten	279 709,92	DFAKR(3;40)	23,1148	6 465 438,76
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung				6 465 438,76
---------------------------------	--	--	--	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

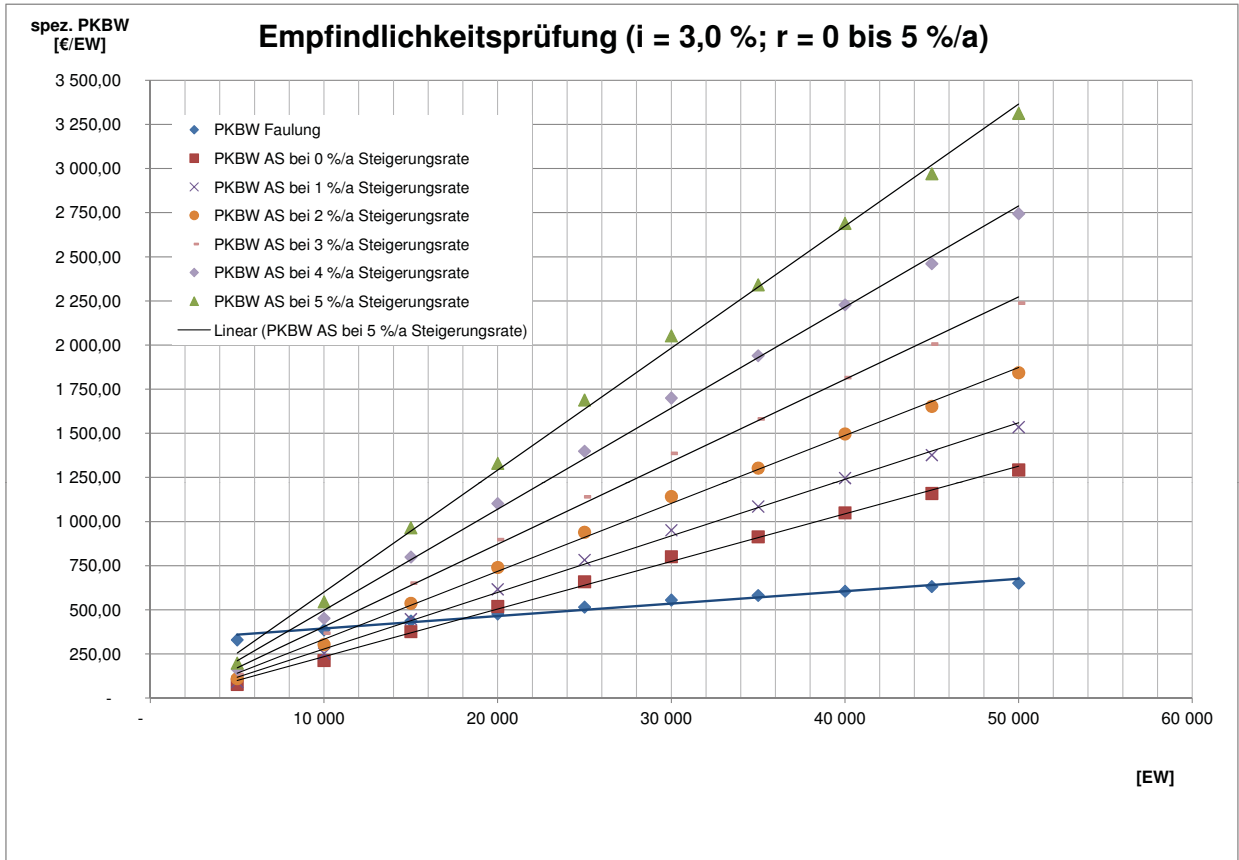
Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

0 %/a	3 256 233,44	651,25	6 465 438,76	1 293,09
1 %/a	3 256 233,44	651,25	7 678 232,98	1 535,65
2 %/a	3 256 233,44	651,25	9 218 483,61	1 843,70
3 %/a	3 256 233,44	651,25	11 188 396,63	2 237,68
4 %/a	3 256 233,44	651,25	13 724 162,81	2 744,83
5 %/a	3 256 233,44	651,25	16 567 190,34	3 313,44

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.
27,4507
32,9573
40,0000
49,0657
59,2299 (iterativ ermittelt)

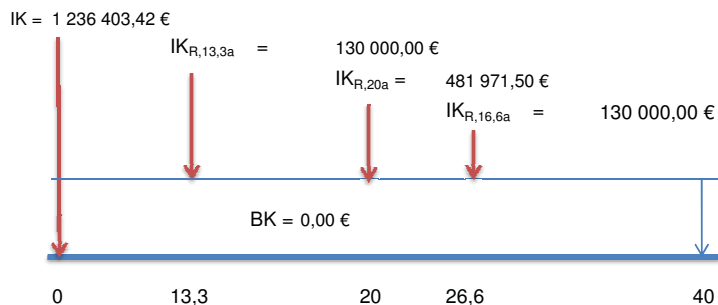
Empfindlichkeitsprüfung												
Entwicklung der Projektkostenbarwerte bei einer angenommenen Steigerung der Betriebskosteneinsparungen aufgrund steigender Energie- und Entsorgungskosten von x % pro Jahr bei einem Realzinssatz von 3,0 %												
Ausbaugröße	spezifische Projektkostenbarwerte [€/EW]											
	Steigerungsrate r = 0 %		Steigerungsrate r = 1 %		Steigerungsrate r = 2 %		Steigerungsrate r = 3 %		Steigerungsrate r = 4 %		Steigerungsrate r = 5 %	
[EW]	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS
5 000	330,01	77,47	330,01	92,01	330,01	110,46	330,01	134,07	330,01	164,45	330,01	198,52
10 000	386,77	212,92	386,77	252,86	386,77	303,58	386,77	368,45	386,77	451,96	386,77	545,59
15 000	437,40	376,79	437,40	447,47	437,40	537,23	437,40	652,03	437,40	799,81	437,40	965,49
20 000	476,48	519,26	476,48	616,66	476,48	740,37	476,48	898,58	476,48	1 102,23	476,48	1 330,56
25 000	515,72	659,11	515,72	782,75	515,72	939,77	515,72	1 140,59	515,72	1 399,10	515,72	1 688,92
30 000	556,10	801,17	556,10	951,45	556,10	1 142,32	556,10	1 386,42	556,10	1 700,64	556,10	2 052,94
35 000	581,74	913,97	581,74	1 085,41	581,74	1 303,15	581,74	1 581,62	581,74	1 940,08	581,74	2 341,98
40 000	605,87	1 049,83	605,87	1 246,76	605,87	1 496,86	605,87	1 816,73	605,87	2 228,47	605,87	2 690,11
45 000	632,42	1 159,51	632,42	1 377,02	632,42	1 653,25	632,42	2 006,53	632,42	2 461,30	632,42	2 971,17
50 000	651,25	1 293,09	651,25	1 535,65	651,25	1 843,70	651,25	2 237,68	651,25	2 744,83	651,25	3 313,44



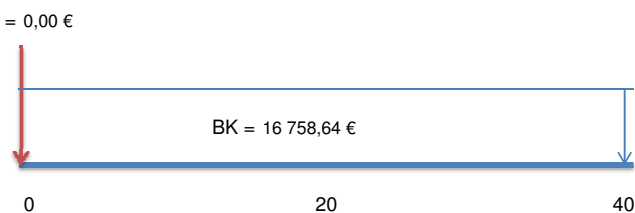
**Projektkostenbarwerte &
Empfindlichkeitsprüfung
Realzinssatz = 4 %**

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 5.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 4\%$)

Kostenstelle	Kosten [€ bzw. €/a]	Umrechnungsfaktor	Barwert [€]
--------------	------------------------	-------------------	----------------

IK	1 236 403,42		1 236 403,42
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	130 000,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	77 173,20
nach 20	481 971,50	DFAKE(4;20)	0,45639	219 966,97
nach 26,6	130 000,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	45 808,10
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(4;40)	19,7928	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	1 579 351,70
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten [€ bzw. €/a]	Umrechnungsfaktor	Barwert [€]
--------------	------------------------	-------------------	----------------

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(4;20)	0,45639	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	
Jahren				

Laufende Kosten	16 758,64	DFAKR(4;40)	19,7928	331 700,41
-----------------	-----------	-------------	---------	------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	331 700,41
---------------------------------	------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

0 %/a	1 579 351,70	315,87	331 700,41	66,34
1 %/a	1 579 351,70	315,87	389 239,52	77,85
2 %/a	1 579 351,70	315,87	461 610,04	92,32
3 %/a	1 579 351,70	315,87	553 320,02	110,66
4 %/a	1 579 351,70	315,87	670 345,60	134,07
5 %/a	1 579 351,70	315,87	799 248,03	159,85

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.

23,2262

27,5446

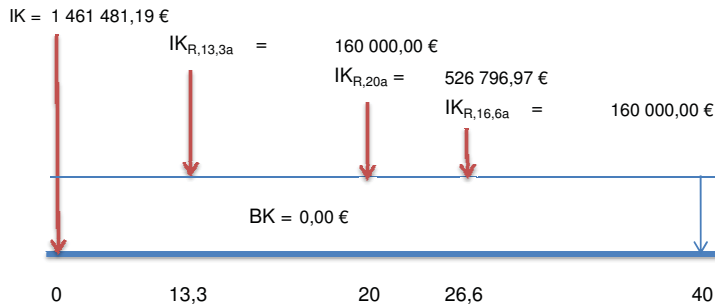
33,0170

40,0000

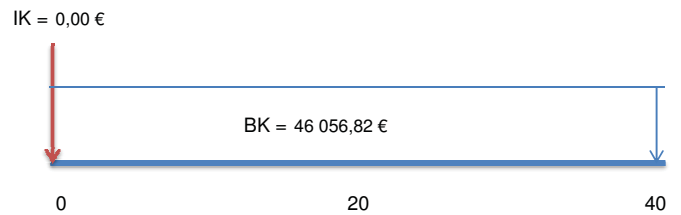
47,6917 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 10.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 4\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	1 461 481,19		1 461 481,19
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	160 000,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	94 982,40
nach 20	526 796,97	DFAKE(4;20)	0,45639	240 424,87
nach 26,6	160 000,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	56 379,20
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(4;40)	19,7928	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	1 853 267,66
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(4;20)	0,45639	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	
Jahren				

Laufende Kosten	46 056,82	DFAKR(4;40)	19,7928	911 593,41
-----------------	-----------	-------------	---------	------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	911 593,41
---------------------------------	------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

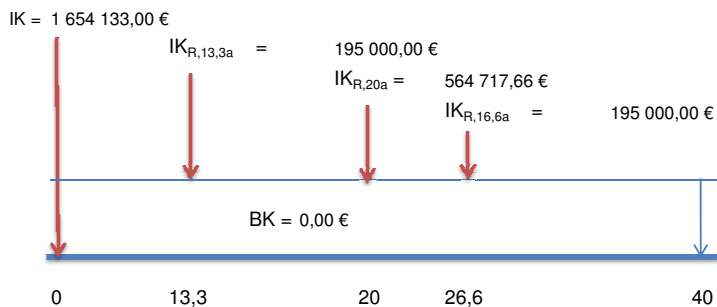
0 %/a	1 853 267,66	370,65	911 593,41	182,32
1 %/a	1 853 267,66	370,65	1 069 724,89	213,94
2 %/a	1 853 267,66	370,65	1 268 616,66	253,72
3 %/a	1 853 267,66	370,65	1 520 658,00	304,13
4 %/a	1 853 267,66	370,65	1 842 272,77	368,45
5 %/a	1 853 267,66	370,65	2 196 528,00	439,31

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.
23,2262
27,5446
33,0170
40,0000
47,6917 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 15.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz i = 4 %)

Kostenstelle	Kosten [€ bzw. €/a]	Umrechnungsfaktor	Barwert [€]
IK	1 654 133,00		1 654 133,00
Ersatzinvestitionen IK_R			
nach 13,3	195 000,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364
nach 20	564 717,66	DFAKE(4;20)	0,45639
nach 26,6	195 000,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237
Jahren			
Laufende Kosten	0,00	DFAKR(4;40)	19,7928
			0,00
PKBW bei Umstellung auf Faulung			2 096 336,44

Kostenstelle	Kosten [€ bzw. €/a]	Umrechnungsfaktor	Barwert [€]
IK	0,00		0,00
Ersatzinvestitionen IK_R			
nach 15	0,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364
nach 20	0,00	DFAKE(4;20)	0,45639
nach 26,6	0,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237
Jahren			
Laufende Kosten	81 503,83	DFAKR(4;40)	19,7928
			1 613 188,96
PKBW bei aerober Stabilisierung			1 613 188,96

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]
0 %/a	2 096 336,44	419,27	1 613 188,96	322,64
1 %/a	2 096 336,44	419,27	1 893 024,20	378,60
2 %/a	2 096 336,44	419,27	2 244 990,33	449,00
3 %/a	2 096 336,44	419,27	2 691 011,88	538,20
4 %/a	2 096 336,44	419,27	3 260 153,10	652,03
5 %/a	2 096 336,44	419,27	3 887 056,10	777,41

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.

23,2262

27,5446

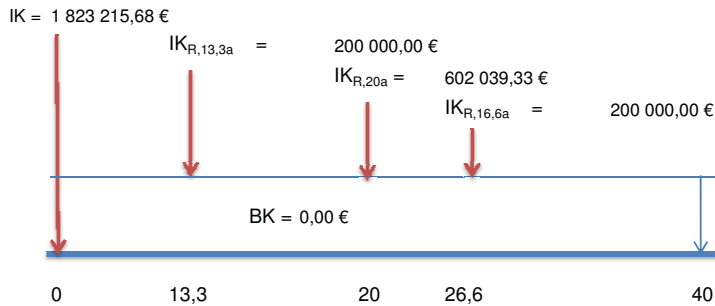
33,0170

40,0000

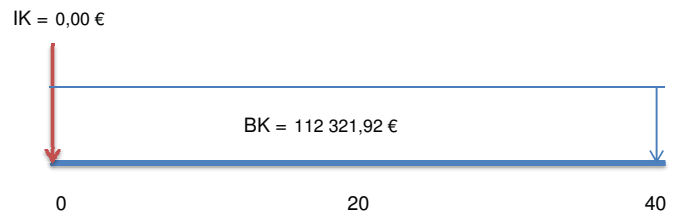
47,6917 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 20.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 4\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	1 823 215,68		1 823 215,68
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	200 000,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	118 728,00
nach 20	602 039,33	DFAKE(4;20)	0,45639	274 764,73
nach 26,6	200 000,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	70 474,00
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(4;40)	19,7928	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 287 182,41
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(4;20)	0,45639	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	
Jahren				

Laufende Kosten	112 321,92	DFAKR(4;40)	19,7928	2 223 165,30
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	2 223 165,30
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

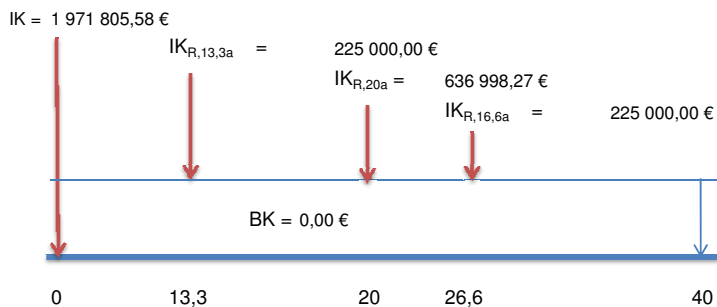
0 %/a	2 287 182,41	457,44	2 223 165,30	444,63
1 %/a	2 287 182,41	457,44	2 608 811,38	521,76
2 %/a	2 287 182,41	457,44	3 093 862,36	618,77
3 %/a	2 287 182,41	457,44	3 708 532,84	741,71
4 %/a	2 287 182,41	457,44	4 492 876,81	898,58
5 %/a	2 287 182,41	457,44	5 356 823,32	1 071,36

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.
23,2262
27,5446
33,0170
40,0000
47,6917 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 25.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 4\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	1 971 805,58		1 971 805,58
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	225 000,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	133 569,00
nach 20	636 998,27	DFAKE(4;20)	0,45639	290 719,64
nach 26,6	225 000,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	79 283,25
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(4;40)	19,7928	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 475 377,47
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(4;20)	0,45639	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	
Jahren				

Laufende Kosten	142 573,64	DFAKR(4;40)	19,7928	2 821 931,57
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	2 821 931,57
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

0 %/a	2 475 377,47	495,08	2 821 931,57	564,39
1 %/a	2 475 377,47	495,08	3 311 443,91	662,29
2 %/a	2 475 377,47	495,08	3 927 133,92	785,43
3 %/a	2 475 377,47	495,08	4 707 353,92	941,47
4 %/a	2 475 377,47	495,08	5 702 945,65	1 140,59
5 %/a	2 475 377,47	495,08	6 799 579,33	1 359,92

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.

23,2262

27,5446

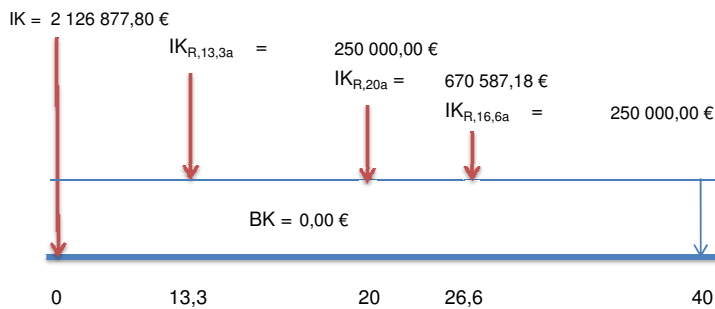
33,0170

40,0000

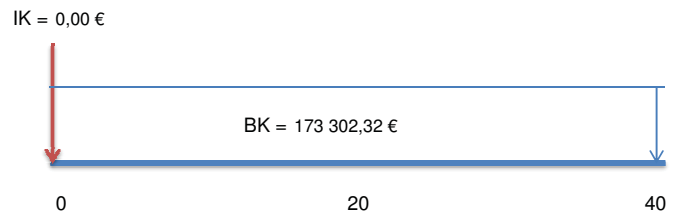
47,6917 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 30.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz i = 4 %)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	2 126 877,80		2 126 877,80
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK _R				
nach 13,3	250 000,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	148 410,00
nach 20	670 587,18	DFAKE(4;20)	0,45639	306 049,28
nach 26,6	250 000,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	88 092,50
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(4;40)	19,7928	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 669 429,58
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK _R				
nach 15	0,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(4;20)	0,45639	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	
Jahren				

Laufende Kosten	173 302,32	DFAKR(4;40)	19,7928	3 430 138,11
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	3 430 138,11
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

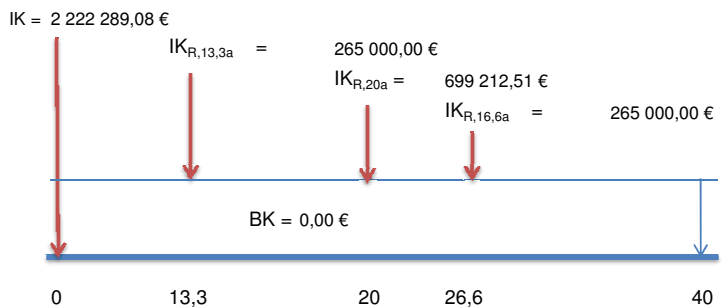
0 %/a	2 669 429,58	533,89	3 430 138,11	686,03
1 %/a	2 669 429,58	533,89	4 025 154,28	805,03
2 %/a	2 669 429,58	533,89	4 773 543,01	954,71
3 %/a	2 669 429,58	533,89	5 721 922,61	1 144,38
4 %/a	2 669 429,58	533,89	6 932 092,70	1 386,42
5 %/a	2 669 429,58	533,89	8 265 082,13	1 653,02

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.
23,2262
27,5446
33,0170
40,0000
47,6917 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 35.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 4\%$)

Kostenstelle	Kosten [€ bzw. €/a]	Umrechnungsfaktor	Barwert [€]
--------------	------------------------	-------------------	----------------

IK	2 222 289,08		2 222 289,08
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	265 000,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	157 314,60
nach 20	699 212,51	DFAKE(4;20)	0,45639	319 113,60
nach 26,6	265 000,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	93 378,05
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(4;40)	19,7928	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 792 095,33
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten [€ bzw. €/a]	Umrechnungsfaktor	Barwert [€]
--------------	------------------------	-------------------	----------------

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(4;20)	0,45639	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	
Jahren				

Laufende Kosten	197 702,53	DFAKR(4;40)	19,7928	3 913 086,62
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	3 913 086,62
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

0 %/a	2 792 095,33	558,42	3 913 086,62	782,62
1 %/a	2 792 095,33	558,42	4 591 878,48	918,38
2 %/a	2 792 095,33	558,42	5 445 637,08	1 089,13
3 %/a	2 792 095,33	558,42	6 527 544,40	1 305,51
4 %/a	2 792 095,33	558,42	7 908 101,16	1 581,62
5 %/a	2 792 095,33	558,42	9 428 769,71	1 885,75

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.

23,2262

27,5446

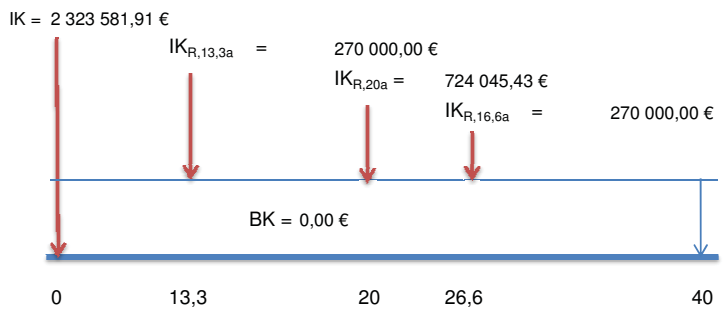
33,0170

40,0000

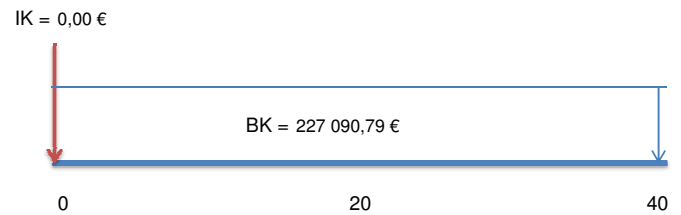
47,6917 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 40.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz i = 4 %)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	2 323 581,91		2 323 581,91
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK _R				
nach 13,3	270 000,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	160 282,80
nach 20	724 045,43	DFAKE(4;20)	0,45639	330 447,10
nach 26,6	270 000,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	95 139,90
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(4;40)	19,7928	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 909 451,71
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK _R				
nach 15	0,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(4;20)	0,45639	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	
Jahren				

Laufende Kosten	227 090,79	DFAKR(4;40)	19,7928	4 494 762,59
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	4 494 762,59
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

0 %/a	2 909 451,71	581,89	4 494 762,59	898,95
1 %/a	2 909 451,71	581,89	5 274 456,11	1 054,89
2 %/a	2 909 451,71	581,89	6 255 124,98	1 251,02
3 %/a	2 909 451,71	581,89	7 497 856,61	1 499,57
4 %/a	2 909 451,71	581,89	9 083 631,60	1 816,73
5 %/a	2 909 451,71	581,89	10 830 345,83	2 166,07

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.

23,2262

27,5446

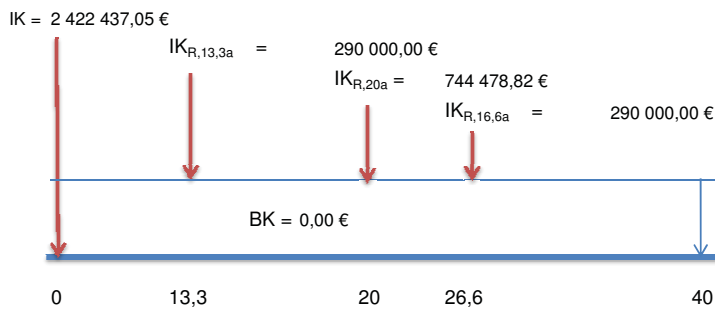
33,0170

40,0000

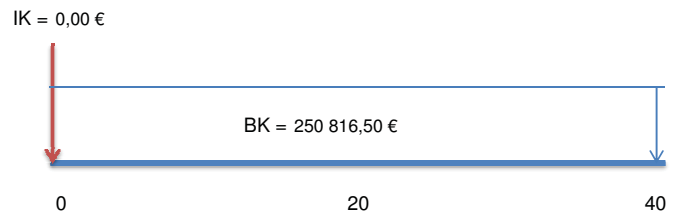
47,6917 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 45.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 4\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	2 422 437,05			2 422 437,05
----	--------------	--	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	290 000,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	172 155,60
nach 20	744 478,82	DFAKE(4;20)	0,45639	339 772,69
nach 26,6	290 000,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	102 187,30
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(4;40)	19,7928	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung				3 036 552,64
---------------------------------	--	--	--	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	0,00			0,00
----	------	--	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(4;20)	0,45639	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	
Jahren				

Laufende Kosten	250 816,50	DFAKR(4;40)	19,7928	4 964 360,82
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung				4 964 360,82
---------------------------------	--	--	--	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

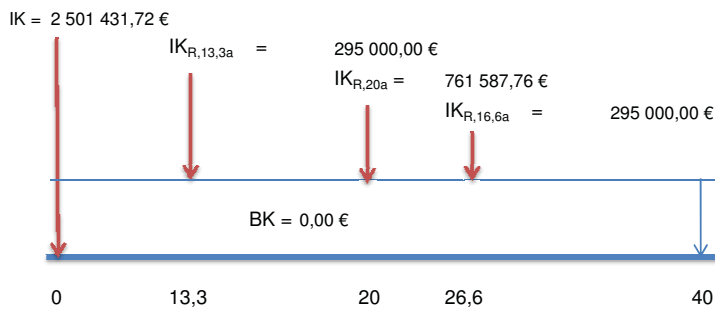
0 %/a	3 036 552,64	607,31	4 964 360,82	992,87
1 %/a	3 036 552,64	607,31	5 825 514,19	1 165,10
2 %/a	3 036 552,64	607,31	6 908 640,16	1 381,73
3 %/a	3 036 552,64	607,31	8 281 208,37	1 656,24
4 %/a	3 036 552,64	607,31	10 032 659,99	2 006,53
5 %/a	3 036 552,64	607,31	11 961 865,26	2 392,37

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

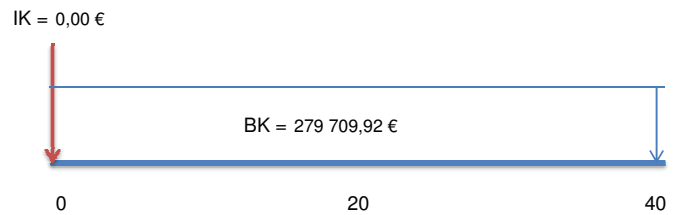
./.
23,2262
27,5446
33,0170
40,0000
47,6917 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 50.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 4\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	2 501 431,72			2 501 431,72
----	--------------	--	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	295 000,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	175 123,80
nach 20	761 587,76	DFAKE(4;20)	0,45639	347 581,04
nach 26,6	295 000,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	103 949,15
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(4;40)	19,7928	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung				3 128 085,71
---------------------------------	--	--	--	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	0,00			0,00
----	------	--	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(4;13,3)	0,59364	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(4;20)	0,45639	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(4;26,7)	0,35237	
Jahren				

Laufende Kosten	279 709,92	DFAKR(4;40)	19,7928	5 536 242,42
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung				5 536 242,42
---------------------------------	--	--	--	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

0 %/a	3 128 085,71	625,62	5 536 242,42	1 107,25
1 %/a	3 128 085,71	625,62	6 496 598,45	1 299,32
2 %/a	3 128 085,71	625,62	7 704 497,75	1 540,90
3 %/a	3 128 085,71	625,62	9 235 182,29	1 847,04
4 %/a	3 128 085,71	625,62	11 188 396,63	2 237,68
5 %/a	3 128 085,71	625,62	13 339 841,39	2 667,97

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.

23,2262

27,5446

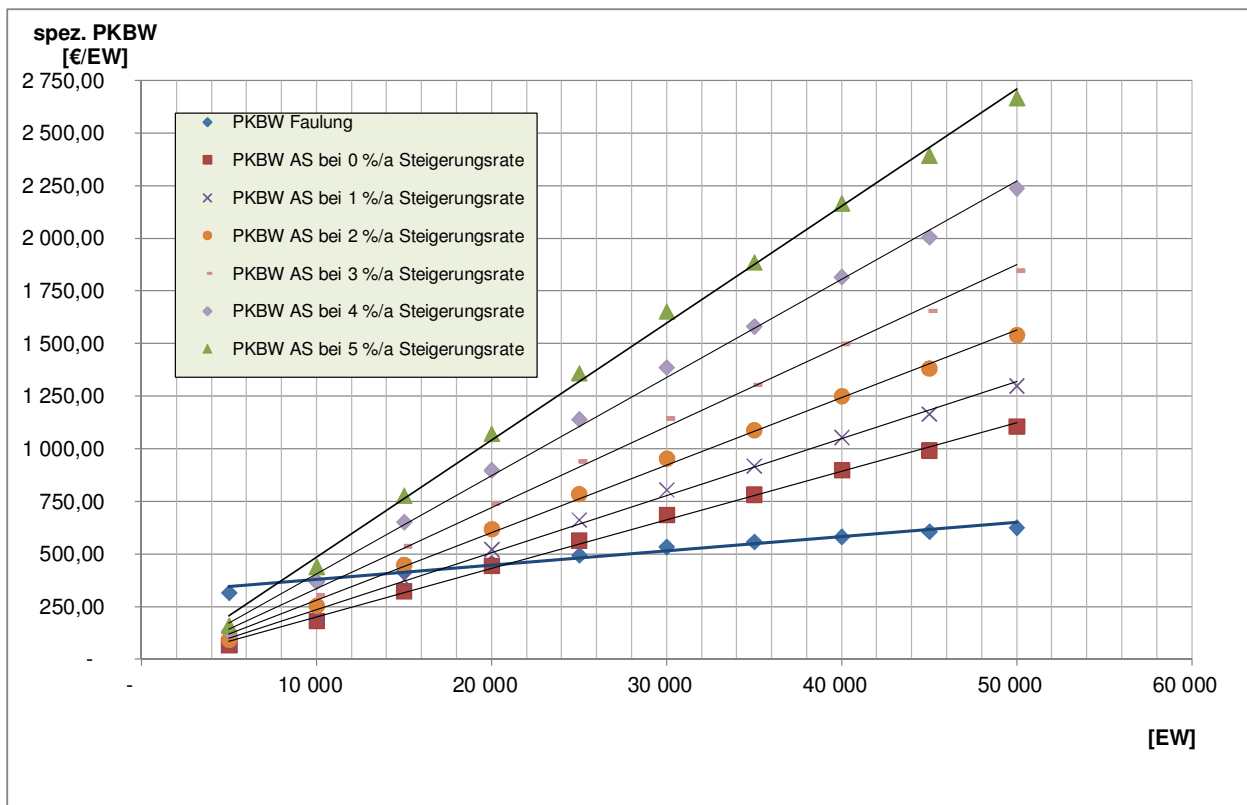
33,0170

40,0000

47,6917 (iterativ ermittelt)

Empfindlichkeitsprüfung
Entwicklung der Projektkostenbarwerte bei einer angenommenen Steigerung der Betriebskosteneinsparungen aufgrund steigender Energie- und Entsorgungskosten von x % pro Jahr bei einem Realzinssatz von 4,0 %

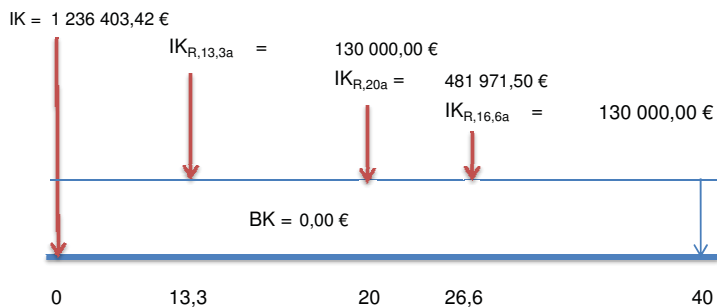
Ausbaugröße [EW]	spezifische Projektkostenbarwerte [€/EW]											
	Steigerungsrate r = 0 %		Steigerungsrate r = 1 %		Steigerungsrate r = 2 %		Steigerungsrate r = 3 %		Steigerungsrate r = 4 %		Steigerungsrate r = 5 %	
	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS
5 000	315,87	66,34	315,87	77,85	315,87	92,32	315,87	110,66	315,87	134,07	315,87	159,85
10 000	370,65	182,32	370,65	213,94	370,65	253,72	370,65	304,13	370,65	368,45	370,65	439,31
15 000	419,27	322,64	419,27	378,60	419,27	449,00	419,27	538,20	419,27	652,03	419,27	777,41
20 000	457,44	444,63	457,44	521,76	457,44	618,77	457,44	741,71	457,44	898,58	457,44	1 071,36
25 000	495,08	564,39	495,08	662,29	495,08	785,43	495,08	941,47	495,08	1 140,59	495,08	1 359,92
30 000	533,89	686,03	533,89	805,03	533,89	954,71	533,89	1 144,38	533,89	1 386,42	533,89	1 653,02
35 000	558,42	782,62	558,42	918,38	558,42	1 089,13	558,42	1 305,51	558,42	1 581,62	558,42	1 885,75
40 000	581,89	898,95	581,89	1 054,89	581,89	1 251,02	581,89	1 499,57	581,89	1 816,73	581,89	2 166,07
45 000	607,31	992,87	607,31	1 165,10	607,31	1 381,73	607,31	1 656,24	607,31	2 006,53	607,31	2 392,37
50 000	625,62	1 107,25	625,62	1 299,32	625,62	1 540,90	625,62	1 847,04	625,62	2 237,68	625,62	2 667,97



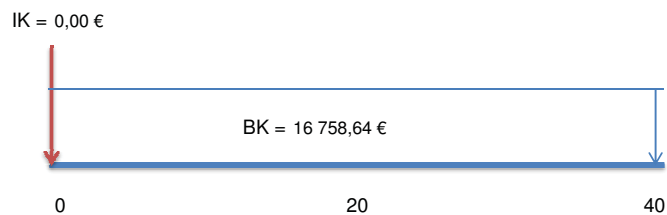
**Projektkostenbarwerte &
Empfindlichkeitsprüfung
Realzinssatz = 5 %**

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 5.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 5\%$)

Kostenstelle	Kosten [€ bzw. €/a]	Umrechnungsfaktor	Barwert [€]
IK	1 236 403,42		1 236 403,42
Ersatzinvestitionen IK_R			
nach 13,3	130 000,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275
nach 20	481 971,50	DFAKE(5;20)	0,37689
nach 26,6	130 000,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321
Jahren			
Laufende Kosten	0,00	DFAKR(5;40)	17,1591
			0,00
PKBW bei Umstellung auf Faulung			1 521 528,46

Kostenstelle	Kosten [€ bzw. €/a]	Umrechnungsfaktor	Barwert [€]
IK	0,00		0,00
Ersatzinvestitionen IK_R			
nach 15	0,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275
nach 20	0,00	DFAKE(5;20)	0,37689
nach 26,6	0,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321
Jahren			
Laufende Kosten	16 758,64	DFAKR(5;40)	17,1591
			287 563,18
PKBW bei aerober Stabilisierung			287 563,18

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

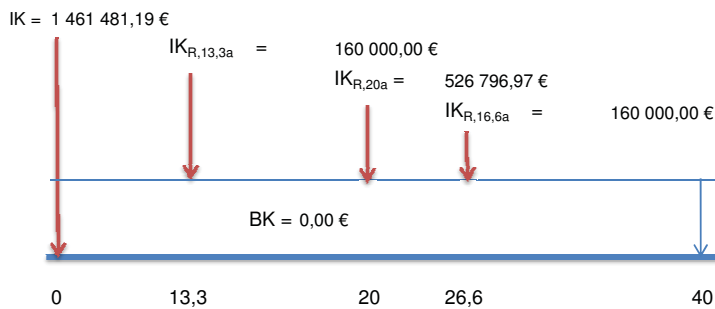
Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut [€]	spez. [€/EW]	absolut [€]	spez. [€/EW]
0 %/a	1 521 528,46	304,31	287 563,18	57,51
1 %/a	1 521 528,46	304,31	333 664,52	66,73
2 %/a	1 521 528,46	304,31	391 082,97	78,22
3 %/a	1 521 528,46	304,31	463 158,53	92,63
4 %/a	1 521 528,46	304,31	554 303,75	110,86
5 %/a	1 521 528,46	304,31	653 286,98	130,66

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

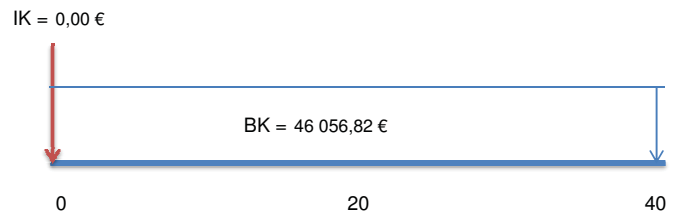
./.
19,9100
23,3362
27,6370
33,0757
38,9821 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 10.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 5\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	1 461 481,19		1 461 481,19
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	160 000,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	83 640,00
nach 20	526 796,97	DFAKE(5;20)	0,37689	198 544,51
nach 26,6	160 000,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	43 713,60
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(5;40)	17,1591	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	1 787 379,31
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(5;20)	0,37689	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	
Jahren				

Laufende Kosten	46 056,82	DFAKR(5;40)	17,1591	790 293,57
-----------------	-----------	-------------	---------	------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	790 293,57
---------------------------------	------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

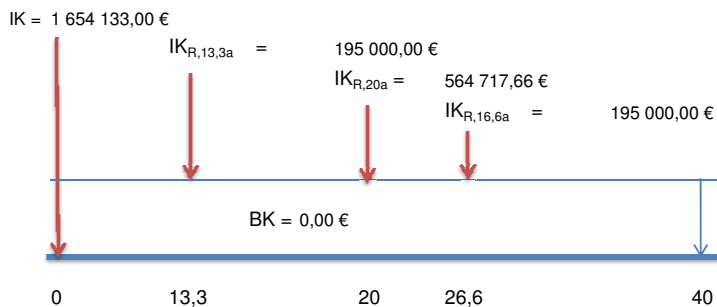
0 %/a	1 787 379,31	357,48	790 293,57	158,06
1 %/a	1 787 379,31	357,48	916 991,27	183,40
2 %/a	1 787 379,31	357,48	1 074 791,14	214,96
3 %/a	1 787 379,31	357,48	1 272 872,31	254,57
4 %/a	1 787 379,31	357,48	1 523 361,53	304,67
5 %/a	1 787 379,31	357,48	1 795 391,53	359,08

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.
19,9100
23,3362
27,6370
33,0757
38,9821 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 15.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfaulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 5\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	1 654 133,00			1 654 133,00
----	--------------	--	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R		Umrechnungsfaktor		Barwert
nach 13,3	195 000,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	101 936,25
nach 20	564 717,66	DFAKE(5;20)	0,37689	212 836,44
nach 26,6	195 000,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	53 275,95
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(5;40)	17,1591	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung				2 022 181,64
---------------------------------	--	--	--	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor		Barwert
	[€ bzw. €/a]			[€]

IK	0,00			0,00
----	------	--	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R		Umrechnungsfaktor		Barwert
nach 15	0,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(5;20)	0,37689	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	
Jahren				

Laufende Kosten	81 503,83	DFAKR(5;40)	17,1591	1 398 532,33
-----------------	-----------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung				1 398 532,33
---------------------------------	--	--	--	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

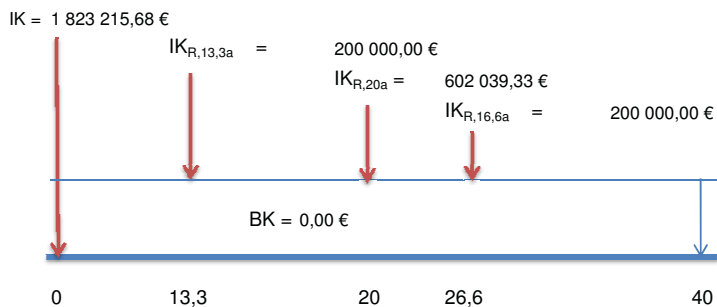
0 %/a	2 022 181,64	404,44	1 398 532,33	279,71
1 %/a	2 022 181,64	404,44	1 622 741,21	324,55
2 %/a	2 022 181,64	404,44	1 901 989,62	380,40
3 %/a	2 022 181,64	404,44	2 252 521,28	450,50
4 %/a	2 022 181,64	404,44	2 695 796,15	539,16
5 %/a	2 022 181,64	404,44	3 177 190,36	635,44

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.
19,9100
23,3362
27,6370
33,0757
38,9821 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 20.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 5\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	1 823 215,68		1 823 215,68
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	200 000,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	104 550,00
nach 20	602 039,33	DFAKE(5;20)	0,37689	226 902,60
nach 26,6	200 000,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	54 642,00
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(5;40)	17,1591	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 209 310,29
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(5;20)	0,37689	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	
Jahren				

Laufende Kosten	112 321,92	DFAKR(5;40)	17,1591	1 927 343,06
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	1 927 343,06
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

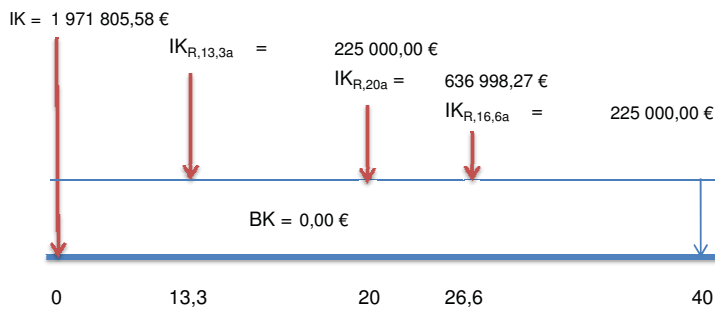
0 %/a	2 209 310,29	441,86	1 927 343,06	385,47
1 %/a	2 209 310,29	441,86	2 236 329,43	447,27
2 %/a	2 209 310,29	441,86	2 621 166,79	524,23
3 %/a	2 209 310,29	441,86	3 104 240,91	620,85
4 %/a	2 209 310,29	441,86	3 715 126,13	743,03
5 %/a	2 209 310,29	441,86	4 378 544,32	875,71

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

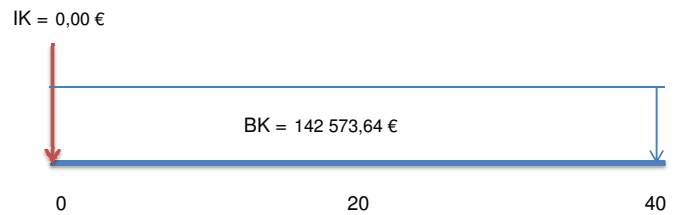
./.
19,9100
23,3362
27,6370
33,0757
38,9821 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 25.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 5\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	1 971 805,58		1 971 805,58
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	225 000,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	117 618,75
nach 20	636 998,27	DFAKE(5;20)	0,37689	240 078,28
nach 26,6	225 000,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	61 472,25
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(5;40)	17,1591	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 390 974,86
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(5;20)	0,37689	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	
Jahren				

Laufende Kosten	142 573,64	DFAKR(5;40)	17,1591	2 446 435,37
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	2 446 435,37
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

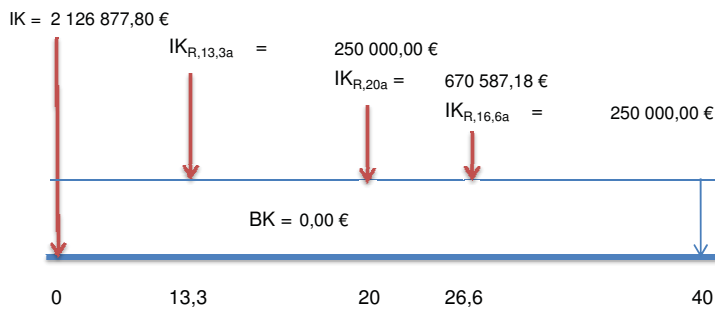
0 %/a	2 390 974,86	478,19	2 446 435,37	489,29
1 %/a	2 390 974,86	478,19	2 838 641,20	567,73
2 %/a	2 390 974,86	478,19	3 327 127,01	665,43
3 %/a	2 390 974,86	478,19	3 940 307,73	788,06
4 %/a	2 390 974,86	478,19	4 715 722,99	943,14
5 %/a	2 390 974,86	478,19	5 557 819,94	1 111,56

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

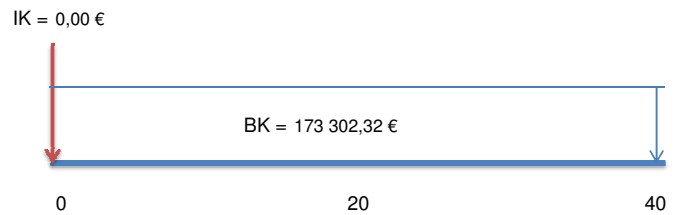
./.
19,9100
23,3362
27,6370
33,0757
38,9821 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 30.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz i = 5 %)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	2 126 877,80		2 126 877,80
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK _R				
nach 13,3	250 000,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	130 687,50
nach 20	670 587,18	DFAKE(5;20)	0,37689	252 737,60
nach 26,6	250 000,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	68 302,50
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(5;40)	17,1591	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 578 605,40
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK _R				
nach 15	0,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(5;20)	0,37689	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	
Jahren				

Laufende Kosten	173 302,32	DFAKR(5;40)	17,1591	2 973 711,79
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	2 973 711,79
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

0 %/a	2 578 605,40	515,72	2 973 711,79	594,74
1 %/a	2 578 605,40	515,72	3 450 449,14	690,09
2 %/a	2 578 605,40	515,72	4 044 217,54	808,84
3 %/a	2 578 605,40	515,72	4 789 556,15	957,91
4 %/a	2 578 605,40	515,72	5 732 095,46	1 146,42
5 %/a	2 578 605,40	515,72	6 755 688,27	1 351,14

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.

19,9100

23,3362

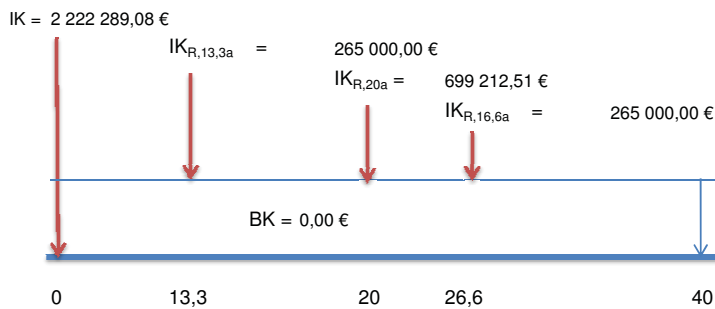
27,6370

33,0757

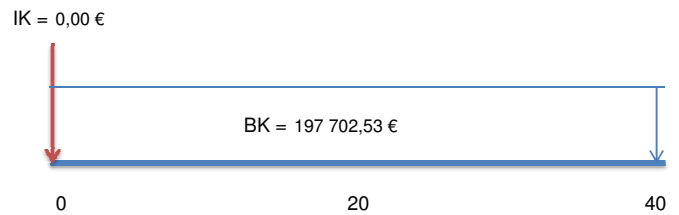
38,9821 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 35.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 5\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	2 222 289,08		2 222 289,08
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	265 000,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	138 528,75
nach 20	699 212,51	DFAKE(5;20)	0,37689	263 526,20
nach 26,6	265 000,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	72 400,65
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(5;40)	17,1591	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 696 744,68
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(5;20)	0,37689	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	
Jahren				

Laufende Kosten	197 702,53	DFAKR(5;40)	17,1591	3 392 397,47
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	3 392 397,47
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

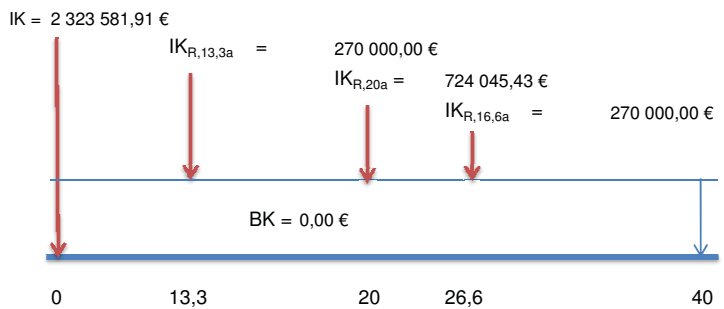
0 %/a	2 696 744,68	539,35	3 392 397,47	678,48
1 %/a	2 696 744,68	539,35	3 936 257,35	787,25
2 %/a	2 696 744,68	539,35	4 613 625,76	922,73
3 %/a	2 696 744,68	539,35	5 463 904,80	1 092,78
4 %/a	2 696 744,68	539,35	6 539 149,54	1 307,83
5 %/a	2 696 744,68	539,35	7 706 859,76	1 541,37

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

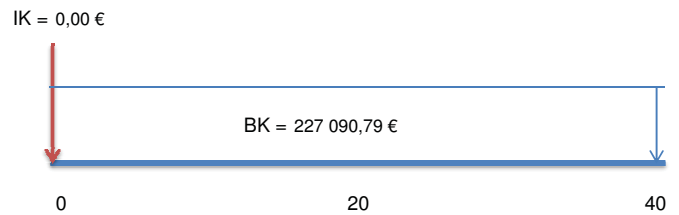
./.
19,9100
23,3362
27,6370
33,0757
38,9821 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 40.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 5\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	2 323 581,91		2 323 581,91
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	270 000,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	141 142,50
nach 20	724 045,43	DFAKE(5;20)	0,37689	272 885,48
nach 26,6	270 000,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	73 766,70
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(5;40)	17,1591	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 811 376,60
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(5;20)	0,37689	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	
Jahren				

Laufende Kosten	227 090,79	DFAKR(5;40)	17,1591	3 896 673,58
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	3 896 673,58
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

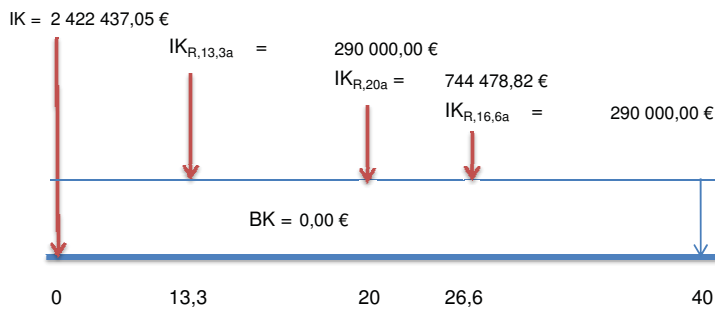
0 %/a	2 811 376,60	562,28	3 896 673,58	779,33
1 %/a	2 811 376,60	562,28	4 521 377,63	904,28
2 %/a	2 811 376,60	562,28	5 299 436,09	1 059,89
3 %/a	2 811 376,60	562,28	6 276 108,16	1 255,22
4 %/a	2 811 376,60	562,28	7 511 186,84	1 502,24
5 %/a	2 811 376,60	562,28	8 852 475,89	1 770,50

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

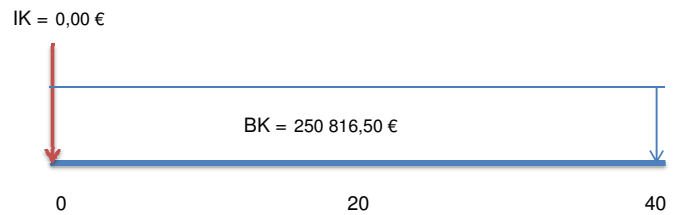
./.
19,9100
23,3362
27,6370
33,0757
38,9821 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 45.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz $i = 5\%$)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	2 422 437,05		2 422 437,05
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 13,3	290 000,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	151 597,50
nach 20	744 478,82	DFAKE(5;20)	0,37689	280 586,62
nach 26,6	290 000,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	79 230,90
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(5;40)	17,1591	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	2 933 852,07
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK_R				
nach 15	0,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(5;20)	0,37689	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	
Jahren				

Laufende Kosten	250 816,50	DFAKR(5;40)	17,1591	4 303 785,40
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	4 303 785,40
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

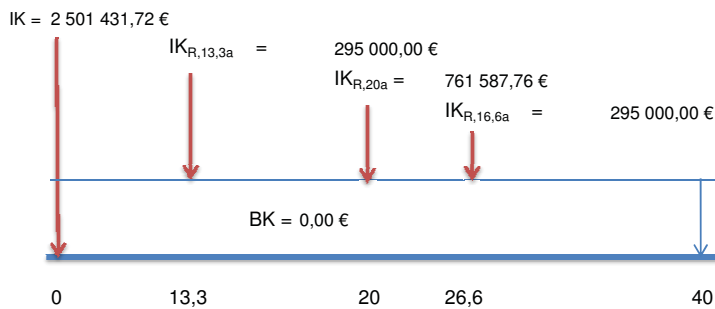
0 %/a	2 933 852,07	586,77	4 303 785,40	860,76
1 %/a	2 933 852,07	586,77	4 993 756,51	998,75
2 %/a	2 933 852,07	586,77	5 853 104,00	1 170,62
3 %/a	2 933 852,07	586,77	6 931 815,60	1 386,36
4 %/a	2 933 852,07	586,77	8 295 931,30	1 659,19
5 %/a	2 933 852,07	586,77	9 777 353,87	1 955,47

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

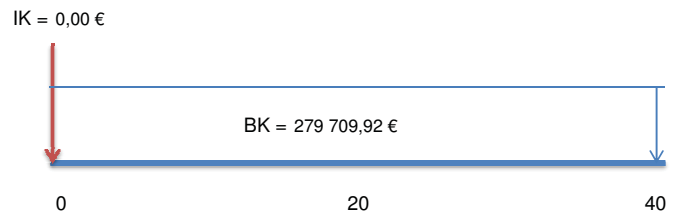
./.
19,9100
23,3362
27,6370
33,0757
38,9821 (iterativ ermittelt)

Vergleich der Projektkostenbarwerte bei Umstellung der Verfahrensführung auf einer KA mit einer Ausbaugröße von 50.000 EW

Faulung



Aerobe Stabilisierung



Anmerkung:

Bei den Betriebskosten wurden nur die Kostenstellen berücksichtigt, die sich bei einer Verfahrensumstellung von aerober Stabilisierung auf Schlammfäulung verändern. Für die Berechnung der Projektkostenbarwerte werden die Betriebskostenvorteile der Faulung der aeroben Stabilisierung als "Negativkosten" angelastet.

Die Reinvestitionen bei der Variante Aerobe Stabilisierung werden nicht berücksichtigt!

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei gleichbleibenden Betriebskosten (Realzinssatz i = 5 %)

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	2 501 431,72		2 501 431,72
----	--------------	--	--------------

Ersatzinvestitionen IK _R				
nach 13,3	295 000,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	154 211,25
nach 20	761 587,76	DFAKE(5;20)	0,37689	287 034,81
nach 26,6	295 000,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	80 596,95
Jahren				

Laufende Kosten	0,00	DFAKR(5;40)	17,1591	0,00
-----------------	------	-------------	---------	------

PKBW bei Umstellung auf Faulung	3 023 274,74
---------------------------------	--------------

Kostenstelle	Kosten	Umrechnungsfaktor	Barwert
	[€ bzw. €/a]		[€]

IK	0,00		0,00
----	------	--	------

Ersatzinvestitionen IK _R				
nach 15	0,00	DFAKE(5;13,3)	0,52275	0,00
nach 20	0,00	DFAKE(5;20)	0,37689	0,00
nach 26,6	0,00	DFAKE(5;26,7)	0,27321	
Jahren				

Laufende Kosten	279 709,92	DFAKR(5;40)	17,1591	4 799 570,42
-----------------	------------	-------------	---------	--------------

PKBW bei aerober Stabilisierung	4 799 570,42
---------------------------------	--------------

Berechnung der Projektkostenbarwerte bei jährlicher Erhöhung der Betriebskostenvorteile durch steigende Energie- und Entgungskosten

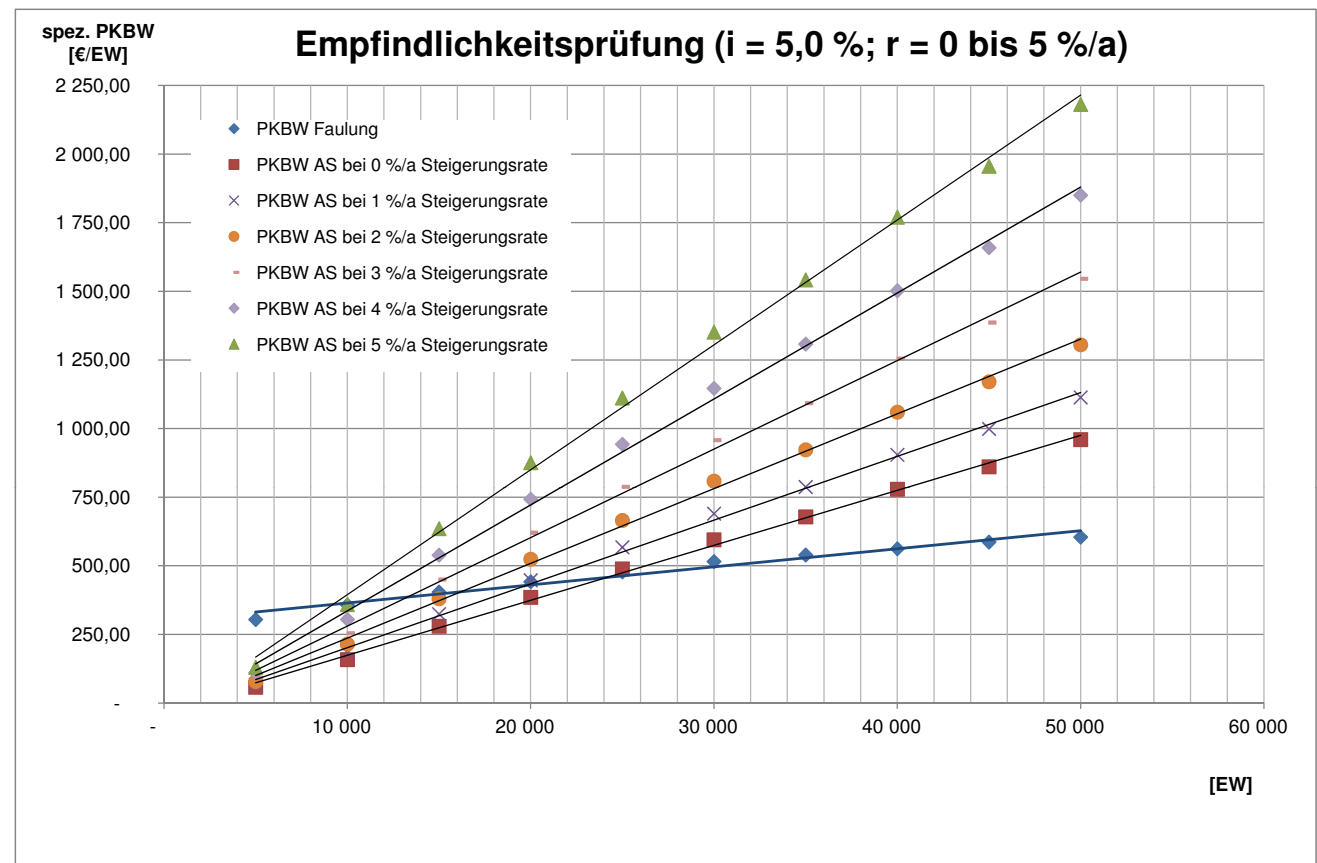
Steigerung	Projektkostenbarwerte			
	Faulung		Aerobe Stabilisierung	
	absolut	spez.	absolut	spez.
	[€]	[€/EW]	[€]	[€/EW]

0 %/a	3 023 274,74	604,65	4 799 570,42	959,91
1 %/a	3 023 274,74	604,65	5 569 024,42	1 113,80
2 %/a	3 023 274,74	604,65	6 527 366,54	1 305,47
3 %/a	3 023 274,74	604,65	7 730 342,94	1 546,07
4 %/a	3 023 274,74	604,65	9 251 601,26	1 850,32
5 %/a	3 023 274,74	604,65	10 903 679,91	2 180,74

DFAKRP (Diskontierungsfaktor für progressiv steigende Kostenreihen)

./.
19,9100
23,3362
27,6370
33,0757
38,9821 (iterativ ermittelt)

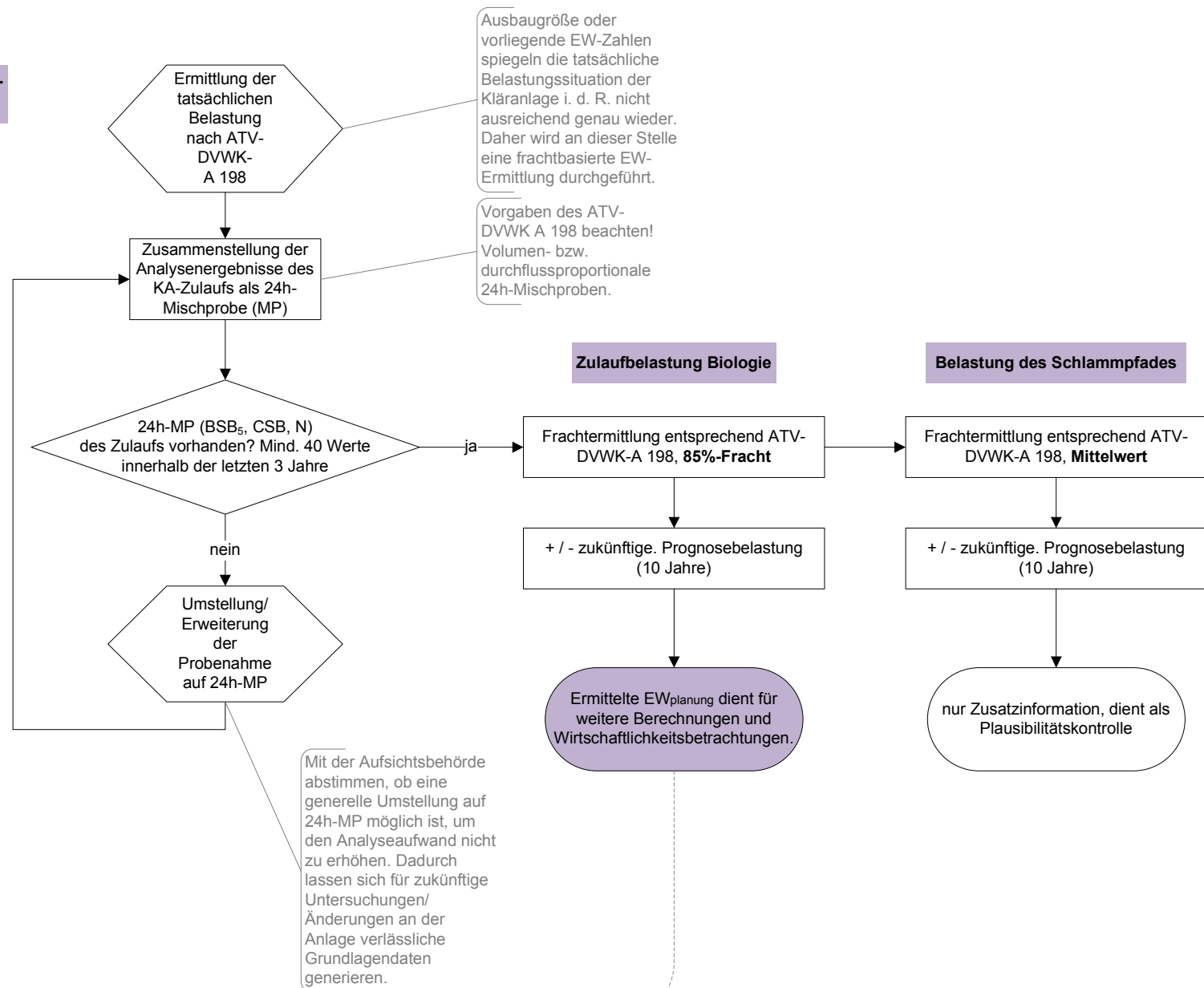
Empfindlichkeitsprüfung												
Entwicklung der Projektkostenbarwerte bei einer angenommenen Steigerung der Betriebskosteneinsparungen aufgrund steigender Energie- und Entsorgungskosten von x % pro Jahr bei einem Realzinssatz von 5,0 %												
Ausbaugröße [EW]	spezifische Projektkostenbarwerte [€/EW]											
	Steigerungsrate r = 0 %		Steigerungsrate r = 1 %		Steigerungsrate r = 2 %		Steigerungsrate r = 3 %		Steigerungsrate r = 4 %		Steigerungsrate r = 5 %	
	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS	Faulung	AS
5 000	304,31	57,51	304,31	66,73	304,31	78,22	304,31	92,63	304,31	110,86	304,31	130,66
10 000	357,48	158,06	357,48	183,40	357,48	214,96	357,48	254,57	357,48	304,67	357,48	359,08
15 000	404,44	279,71	404,44	324,55	404,44	380,40	404,44	450,50	404,44	539,16	404,44	635,44
20 000	441,86	385,47	441,86	447,27	441,86	524,23	441,86	620,85	441,86	743,03	441,86	875,71
25 000	478,19	489,29	478,19	567,73	478,19	665,43	478,19	788,06	478,19	943,14	478,19	1 111,56
30 000	515,72	594,74	515,72	690,09	515,72	808,84	515,72	957,91	515,72	1 146,42	515,72	1 351,14
35 000	539,35	678,48	539,35	787,25	539,35	922,73	539,35	1 092,78	539,35	1 307,83	539,35	1 541,37
40 000	562,28	779,33	562,28	904,28	562,28	1 059,89	562,28	1 255,22	562,28	1 502,24	562,28	1 770,50
45 000	586,77	860,76	586,77	998,75	586,77	1 170,62	586,77	1 386,36	586,77	1 659,19	586,77	1 955,47
50 000	604,65	959,91	604,65	1 113,80	604,65	1 305,47	604,65	1 546,07	604,65	1 850,32	604,65	2 180,74



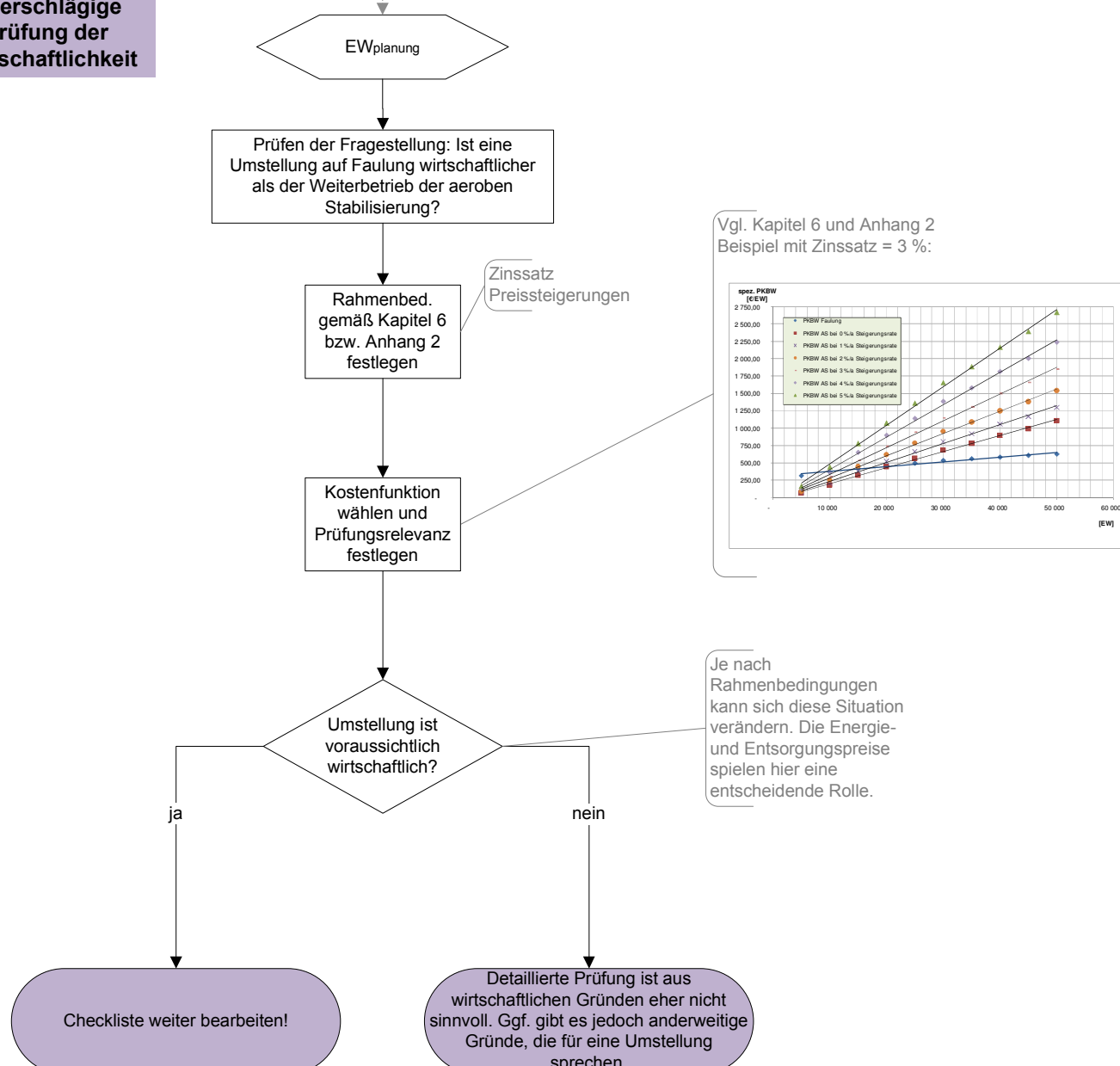
Anhang 3

Checkliste zur Prüfung der Umstellung auf Faulung

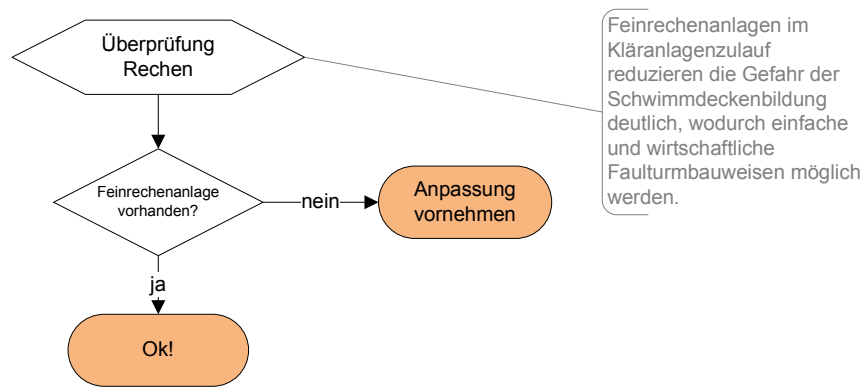
Angeschlossene EW - Belastung der KA



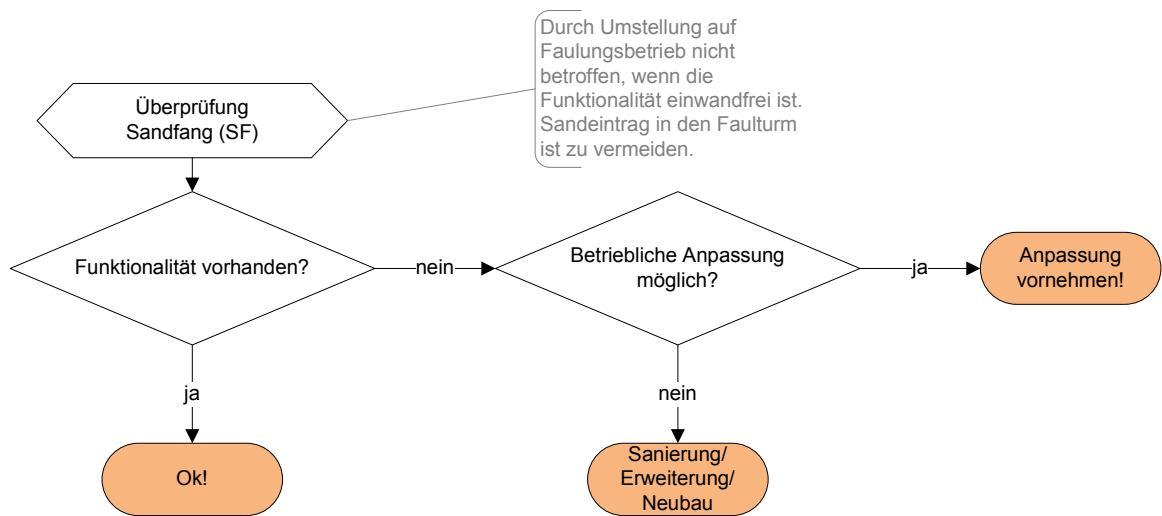
Überschlägige Prüfung der Wirtschaftlichkeit



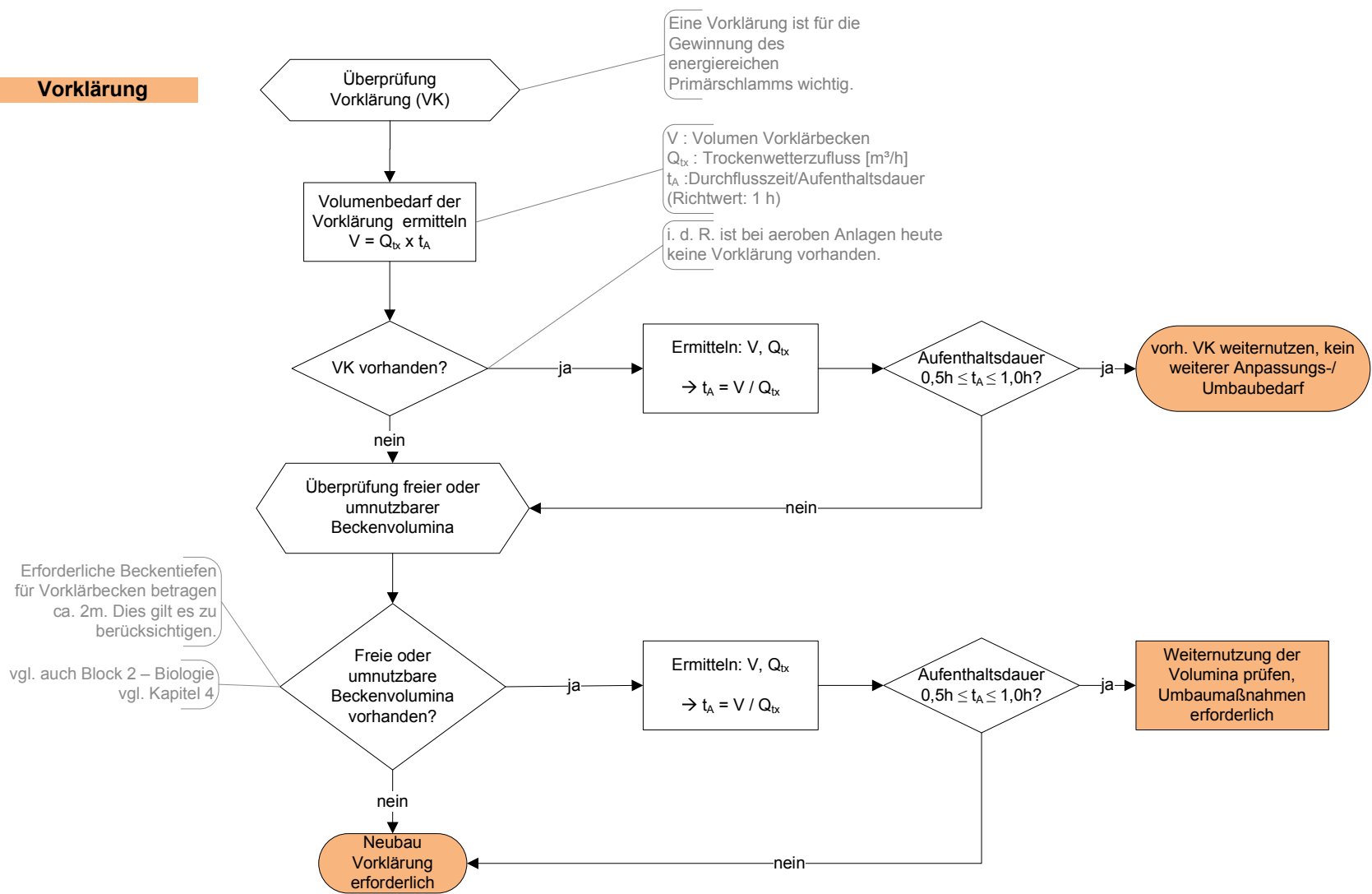
Rechen



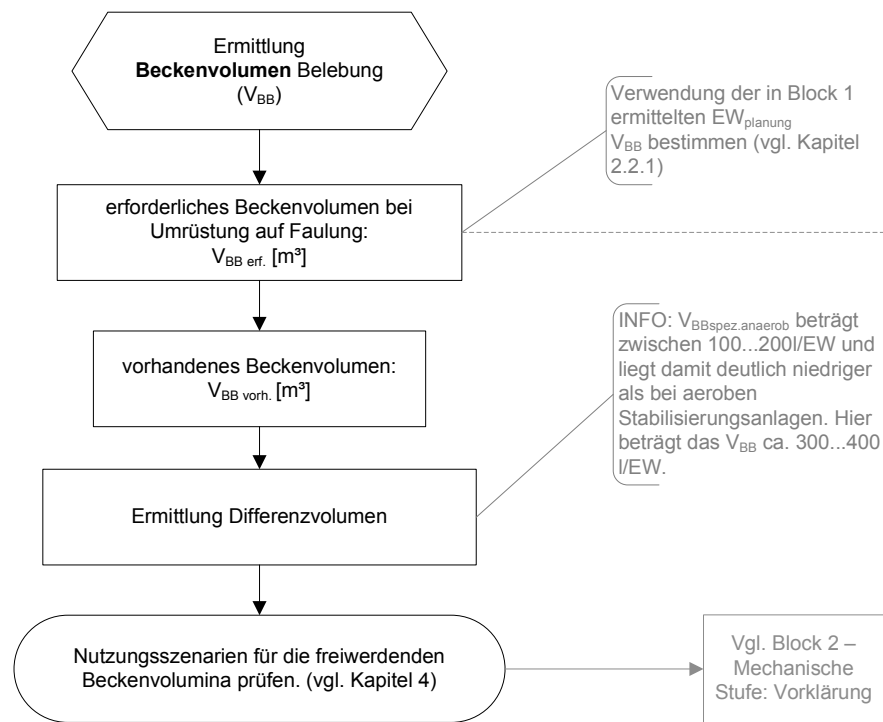
Sandfang



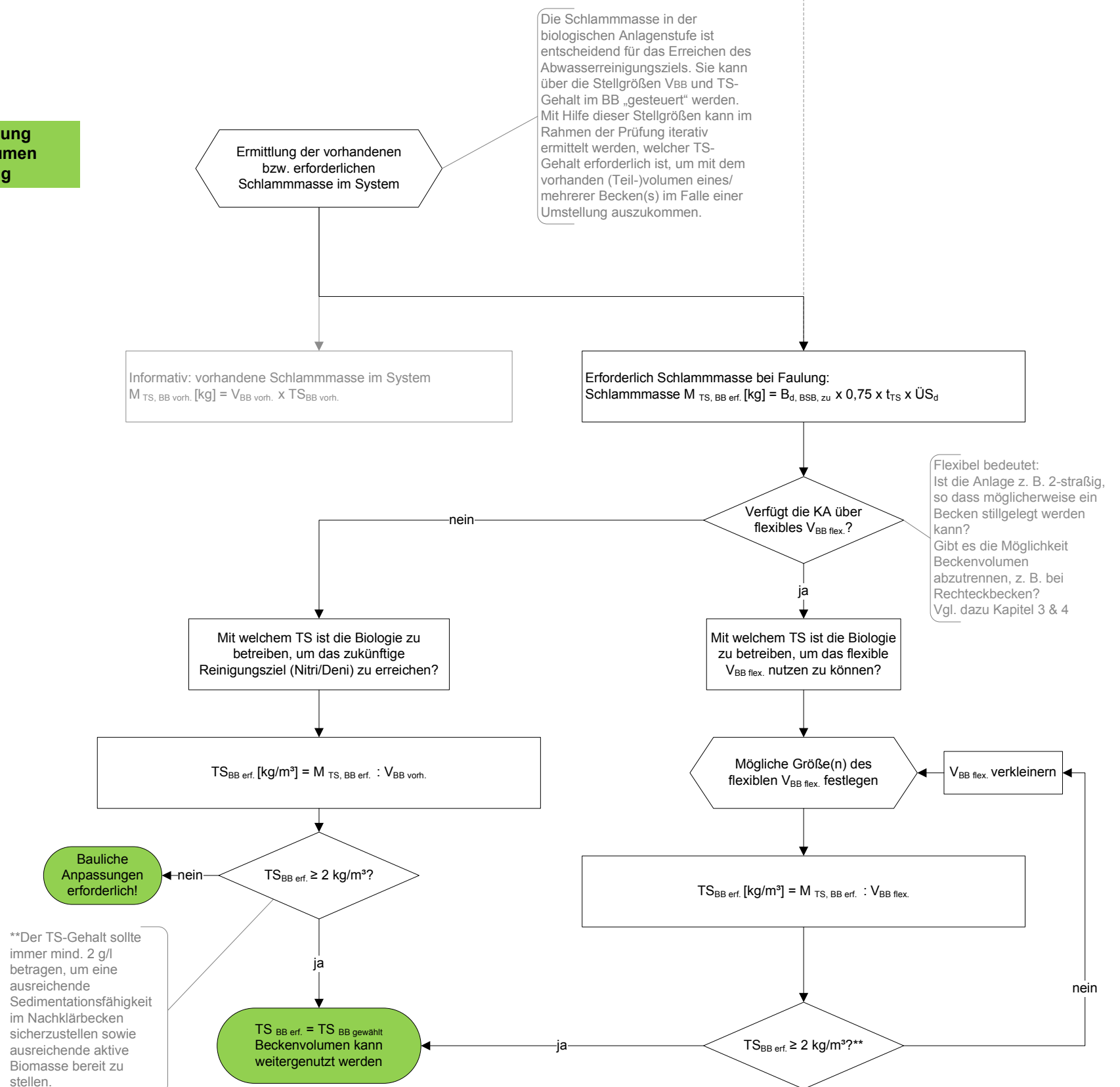
Vorklärung

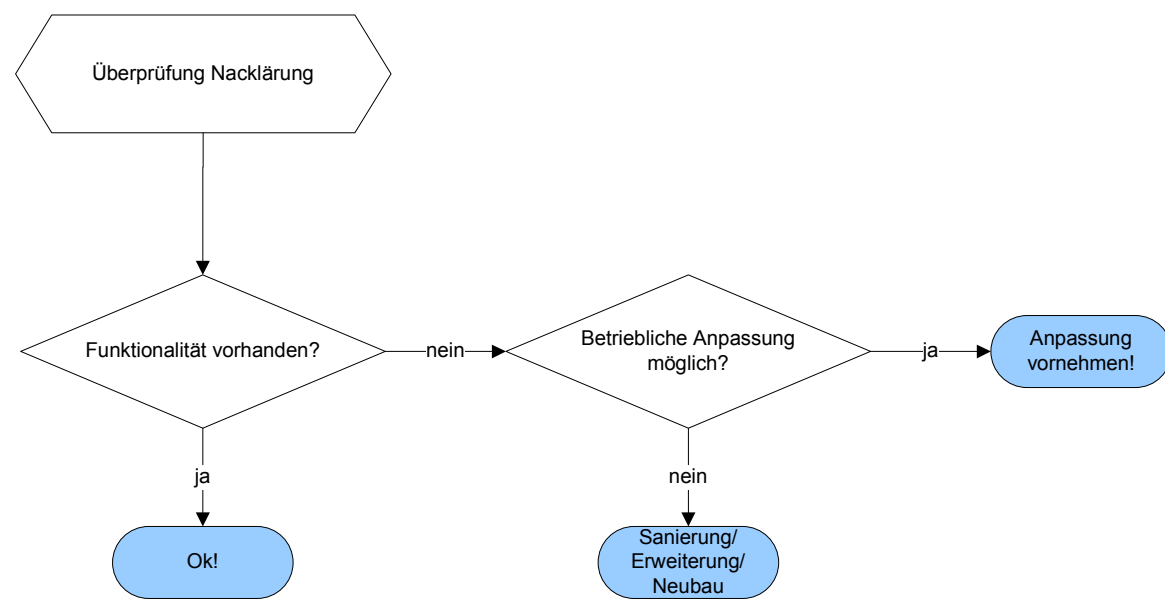


Beckenvolumen
Belegung -
Vergleich

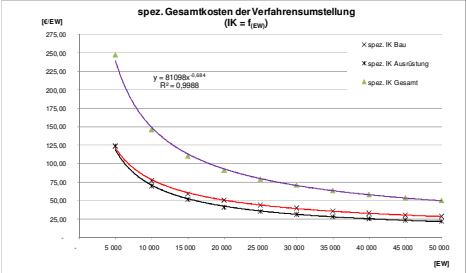
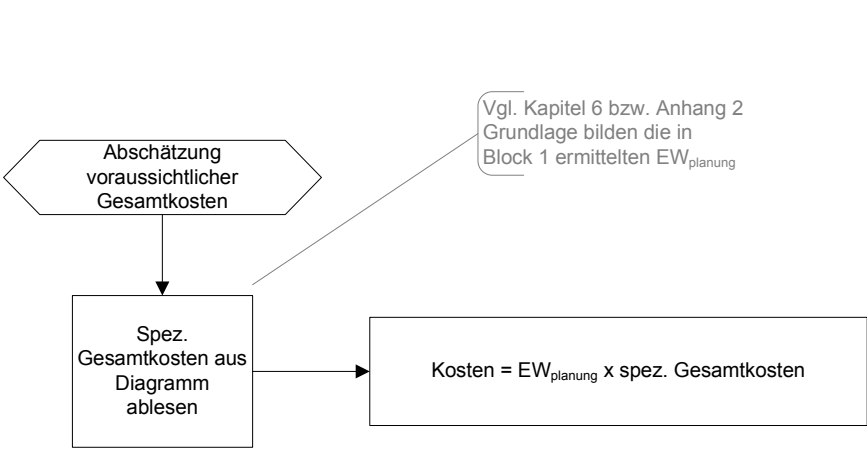


Weiternutzung
Beckenvolumen
Belegung





Abschätzung der voraussichtlichen Investitionskosten



Abschätzung voraussichtlicher Einzelkosten

Vgl. Kapitel 6 bzw. Anhang 2
„Kostenfunktionen“

Kosten der Vorklärung	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten für Faulbehälter	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Zwischenpumpwerk	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Rohschlammbehälter	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Primärschlammumpwerk	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten maschinelle Voreindickung	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Technikgebäude	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Gasspeicher u. Gasfackel	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten Blockheizkraftwerk	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Kosten sonstige Bauwerke & Anlagen	Spez. Kosten = ____ €/EW	x	EW_{planung}	=	_____ €
Summe der Einzelpositionen:					_____ €