



Studie

Klimaschutzteilkonzept für die Kläranlage Oberschleißheim

September 2013

Dr.-Ing. Ralf Mitsdoerffer

Marian Heimann, M.Sc.

Bearbeiter:
Dr.-Ing. Ralf Mitsdoerffer
Marian Heimann, M.Sc.
Version 1.0
Hauptbüro
Akademiestraße 7
80799 München
Telefon 089/380178-0
Fax 089/380178-30
info@gfm.com
<http://www.gfm.com>

Inhaltsverzeichnis

1	Inhalt und Zielsetzung	5
2	Zulaufsituation	5
2.1	Bestehende Kläranlage	5
2.1.1	Ausbaugröße und Ablaufanforderungen	5
2.1.2	Verfahrensbeschreibung	6
2.1.3	Bauwerke und Hauptaggregate	7
2.2	Aktuelle Belastung der Kläranlage	9
2.2.1	Abwasseranfall	9
2.2.2	Zulauffrachten	9
2.2.3	Schlamm- und Gasanfall	10
2.2.4	Ablaufwerte	11
2.3	Überrechnung der Kläranlage Oberschleißheim	12
2.4	Bestandsaufnahme und Einordnung des Stromverbrauchs	12
2.4.1	Gesamtstromverbrauch	13
2.4.2	Verteilung des Stromverbrauchs	13
2.4.3	Energieeigenerzeugung und Wärmebedarf	15
3	Maßnahmenkatalog	15
3.1	Einsparpotentiale durch verfahrenstechnische Umstellung	17
3.1.1	Umstellung auf eine mesophile Faulungsanlage	17
3.1.2	Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung	19
3.1.2.1	Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung bei thermophiler-mesophiler Faulung	20
3.1.2.2	Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung bei mesophiler Faulung	21
3.1.2.3	Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung bei mesophiler Faulung inkl. Primärschlammeindickung	22
3.1.3	Resümee und Empfehlung	23
3.2	Effizienzbewertung der vorhandenen Aggregate	23
3.2.1	Einsparpotential Zulaufpumpwerk – Aufstauung des Zulaufschachts	24
3.2.2	Einsparpotential Zulaufpumpwerk – Austausch des Zulaufpumpwerks	25
3.2.3	Einsparpotential Rücklaufschlammumpwerk	26
3.2.4	Einsparpotential Sandfangbelüftung	26
3.2.5	Einsparpotential Gebläse der Belebung	27
3.2.6	Einsparpotential Rührwerke der Belebung	28
3.2.7	Einsparpotential Faulbehälterumwälzung	29
3.2.8	Einsparpotential Faulbehälterbeschickung	29
3.2.9	Einsparpotential Beschickung des Schlammstapelspeichers	30
3.2.10	Optimierung der Infrastruktur	30
3.3	Einsparpotential Wärmebedarf und Eigenstromerzeugung	31
3.3.1	Faulbehälter- / Gebäudedämmung	31
3.3.2	Eigenstromerzeugung durch ein Klärgas-BHKW	32
3.3.3	Eigenstromerzeugung durch ein Klärgas-BHKW mit Erdgas Regelstrecke	32
3.3.4	Eigenstromerzeugung durch eine Photovoltaikanlage	33
3.4	Resümee zu den Maßnahmen	35

4	Weiteres Vorgehen, Ergebnisprüfung	40
5	Zusammenfassung	42
	Literatur.....	44

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: SPEZ. FAULGASPRODUKTION DEUTSCHER KLÄRANLAGEN NACH DWA [2].....	11
ABBILDUNG 2: ÜBERSICHT ÜBER DEN STROMVERBRAUCH DEUTSCHER KLÄRANLAGEN NACH DWA [2]	13
ABBILDUNG 3: PROZENTUALE VERTEILUNG DES STROMVERBRAUCHS DER KLÄRANLAGE OBERSCHLEIßHEIM IN DEN EINZELNEN VERFAHRENSSTUFEN, AUSWERTUNGSJAHR 2012.....	14
ABBILDUNG 4: WICKELFALZ-FAULBEHÄLTER ZUR ANAEROBEN SCHLAMMSTABILISIERUNG MIT INTEGRIERTEM GASSPEICHER (OPTIONAL).....	22
ABBILDUNG 5: EINFLUSS DER AUSRICHTUNG UND NEIGUNG DER PHOTOVOLTAIKANLAGE AUF DEN STROMERTRAG	34
ABBILDUNG 6: STROMVERBRAUCH IN ABHÄNGIGKEIT DER DURCHGEFÜHRTEN MAßNAHMEN	37
ABBILDUNG 7: STROMBEZUG IN ABHÄNGIGKEIT DER DURCHGEFÜHRTEN MAßNAHMEN (MIT K6.1: KLÄRGAS-BHKW, 30 KW)	38
ABBILDUNG 8: STROMBEZUG IN ABHÄNGIGKEIT DER DURCHGEFÜHRTEN MAßNAHMEN (MIT K6.2: KLÄRGAS-BHKW MIT ERDGASREGELSTRECKE, 50 KW)	39
ABBILDUNG 9: VORGESCHLAGENES VORGEHEN ZUR UMSETZUNG DER MAßNAHMEN	41

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: STOFFFRACHTEN IM ZULAUF ZUR KLÄRANLAGE OBERSCHLEIßHEIM IM AUSWERTUNGSJAHR 2012, ALLE TAGE.....	10
TABELLE 2: STATISTISCH AUSGEWERTETE ABLAUFWERTE DER KLÄRANLAGE OBERSCHLEIßHEIM IM AUSWERTUNGSJAHR 2012	12
TABELLE 3: WÄRMEBEDARF DER KLÄRANLAGE OBERSCHLEIßHEIM 2012	15
TABELLE 4: WÄRMEEINSPARUNGSPOTENTIAL BEI UMSTELLUNG AUF MESOPHILE FAULUNG	19
TABELLE 5: VERGLEICH DER STROMVERBRAUCHSWERTE DER KLÄRANLAGE OBERSCHLEIßHEIM MIT DEN BERECHNETEN MODELLWERTEN.....	24
TABELLE 6: VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ DURCH AUFSTAUUNG DES ZULAUFSCACHTS	25
TABELLE 7: VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ DURCH ERNEUERUNG DES ZULAUFPUMPWERKS	25
TABELLE 8: VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ DURCH ERNEUERUNG DES RÜCKLAUFSCHLAMPUMPWERKS	26
TABELLE 9: VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ DURCH ERNEUERUNG DER SANDFANGBELÜFTUNG	26
TABELLE 10: VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ DURCH ERNEUERUNG DER RÜHRWERKE DER BELEBUNG	27
TABELLE 11: VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ DURCH ERNEUERUNG DER RÜHRWERKE DER BELEBUNG	28
TABELLE 12: VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ DURCH ERNEUERUNG DER UMWÄLZPUMPEN DER FAULUNG	29
TABELLE 13: VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ DURCH ERNEUERUNG DER FAULBEHÄLTERBESCHICKUNG	30
TABELLE 14: VERBESSERUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ DURCH ERNEUERUNG DER BESCHICKUNGSPUMPEN DES SCHLAMMSTAPELSPEICHERS.....	30
TABELLE 15: MAßNAHMENTABELLE.....	36

1 **Inhalt und Zielsetzung**

Im Rahmen der Studie werden Maßnahmen zur energetischen Optimierung der Kläranlage Oberschleißheim unter Berücksichtigung des Anforderungskatalogs des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit beschrieben. Der Zuwendungsbescheid mit dem Förderkennzeichen FKZ 03KS4066 wurde am 10. Dezember 2012 von der Forschungszentrum Jülich GmbH erlassen. Die Anfertigung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Betriebspersonal der Kläranlage Oberschleißheim auf Grundlage des Arbeitsblatts DWA-A 216 [2].

Die ausführende Stelle ist die

Gemeinde Oberschleißheim - Bauamt
Freisinger Str. 15
85764 Oberschleißheim

2 **Zulaufsituation**

2.1 **Bestehende Kläranlage**

An die Kläranlage Oberschleißheim ist das Gebiet der Gemeinde Oberschleißheim angeschlossen. Die Entwässerung des Gemeindegebiets erfolgt im Trennsystem. Die aktuelle Einwohnerzahl beträgt 11.829 E (Stand: 26. August 2010). Im Gemeindegebiet sind verschiedene Gewerbe ausgewiesen. Abwasserintensive Betriebe wie Brauereien oder Molkereien sind nicht vorhanden.

2.1.1 **Ausbaugröße und Ablaufanforderungen**

Die Kläranlage Oberschleißheim ist ausgelegt auf eine BSB5-Fracht von 1.800 kg/d bzw. 30.000 E. Die Kläranlage ist somit der Größenklasse 4 entsprechend der Abwasserverordnung AbwV vom 15. Oktober 2002 (BGBl I, S. 4047), in der Fassung vom 17. Juni 2004 (BGBl I, S. 1106), zugeordnet.

Die vom Landratsamt München am 15.03.1994 erteilte Erlaubnis zum Einleiten von behandeltem Abwasser aus der Kläranlage Oberschleißheim über den Gänsbach in den Schwebelgraben legt den Umfang der erlaubten Gewässernutzung und die Anforderungen an den Kläranlagenablauf wie folgt fest (Auszug aus dem Bescheid):

Täglicher Abfluss bei Trockenwetter: $Q_{T,d,max} = 6.000 \text{ m}^3/\text{d}$

Maximaler stündlicher Abfluss bei Trockenwetter:

$Q_{T,h,max} = 380 \text{ m}^3/\text{h}$

Maximaler Mischwasserabfluss: $Q_{M,h} = 480 \text{ m}^3/\text{h}$

Die Jahresschmutzwassermenge ist mit den aktuellen Änderungen vom 14.07.1999 auf 500.000 m³ begrenzt.

Die aktuellen Grenzwerte der Stoffparameter der nicht abgesetzten, homogenisierten Zwei-Stunden-Mischprobe sind wie folgt festgelegt (letzte Änderung des Wasserrechtsbescheids am 22.04.2003):

Chemischer Sauerstoffbedarf CSB:	50 mg/l
Biochemischer Sauerstoffbedarf BSB ₅ :	20 mg/l
Gesamt-Phosphor P _{ges} :	1,0 mg/l

In der Zeit zwischen dem 1. Mai und dem 31. Oktober sind für die Stickstoffparameter Ammonium-Stickstoff und Gesamt-Stickstoff die folgenden Grenzwerte einzuhalten.

Ammonium-Stickstoff NH ₄ -N:	10 mg/l
Gesamt-Stickstoff N _{ges} :	14 mg/l

In der Zeit vom 1. November bis zum 30. April ist die Kläranlage so zu betreiben, dass die bestmögliche Nitrifikation und Denitrifikation erreicht werden.

Sowohl bei Trockenwetter- als auch bei Mischwasserabfluss muss der pH-Wert des eingeleiteten Abwassers zwischen 6,5 und 9,0 liegen.

2.1.2 *Verfahrensbeschreibung*

Die Kläranlage Oberschleißheim wird als einstufige Belebungsanlage mit anaerober Schlammstabilisierung betrieben. Die weitgehende Stickstoffelimination erfolgt nach dem Verfahren der alternierenden Denitrifikation.

Das auf der Kläranlage ankommende Abwasser gelangt über ein Zulaufhebewerk zunächst in die mechanische Reinigungsstufe mit Feinrechenanlage zur Abtrennung von Grobstoffen. Von dort fließt es in den belüfteten Rundsandfang zur Abtrennung mineralischer Bestandteile.

Danach gelangt das Abwasser über das Zwischenhebewerk in die Belebungsanlage. Die Stickstoffelimination erfolgt in 2 der vorhandenen 4 Belebungsbecken durch alternierende Denitrifikation. Eines der beiden außer Betrieb genommenen Becken wird als Prozesswasserspeicher verwendet. Das verbleibende Becken dient als Reserve für zukünftige Belastungssteigerungen. Die verbliebenen Phosphorverbindungen werden auf physikalisch-chemischem Weg durch Fällung abgetrennt. Nach der biologischen Reinigung sedimentiert der Belebtschlamm in dem Nachklärbecken. Das gereinigte Abwasser wird in den Gänsbach abgeleitet.

Der Überschussschlamm wird aus dem Rücklaufschlammstrom entnommen, in einem Scheibeneindicker entwässert und über einen Vorlagebehälter in die Faulung gepumpt. Die Faulungsanlage ist zweistufig mit einem ersten thermophilen Faulbehälter und einem anschließenden

mesophilen Faulbehälter ausgeführt. Der Faulschlamm wird im Schlammstapelbecken zwischengelagert und anschließend über Fremdfirmen maschinell entwässert und entsorgt. Das im Faulbehälter entstehende Faulgas wird im Gasbehälter gefasst und über ein BHKW und eine Heizung verwertet.

Ein Verfahrensfließbild ist in Anlage 5 beigefügt.

2.1.3 Bauwerke und Hauptaggregate

Die Kläranlage Oberschleißheim besteht im Wesentlichen aus folgenden Anlagenteilen:

Zulauf

- 1 Zulaufmengenmessung (Messprinzip MID)
- 1 Zulaufpumpwerk, bestehend aus 4 Pumpen, Nennleistung 2 x 7,5 kW und 2 x 4 kW

Mechanische Reinigung / Grobentschlammung

- 1 belüfteter Rundsandfang
- 1 Feinrechen
- 1 Sandpumpe, Nennleistung 1,5 kW
- 1 Kompressor, Nennleistung 0,75 kW
- 1 Sandklassierer, Nennleistung 1,1 kW
- 1 Siebrechen, Nennleistung 0,55 kW
- 1 Becken zur Grobentschlammung, Volumen 160 m³ (außer Betrieb)
- 1 Anaerobbecken, Volumen 455 m³

Biologische Reinigung

- 4 Belebungsbecken, Volumen je 1.980 m³, davon 1 Becken als Reservebecken und 1 Becken als Prozesswasserspeicher
- 1 Belebungspumpwerk, bestehend aus 4 Pumpen, Nennleistung 2 x 11 kW und 2 x 5,5 kW
- 8 Rührwerke, Nennleistung 4 kW
- 1 Gebläsestation, bestehend aus 2 Gebläsen, Nennleistung 75 und 22 kW

Schlammbehandlung ASTM 1

- 1 Schlammvorlagebehälter, Volumen 150 m³
- 1 Thermophiler Faulbehälter, Volumen 138 m³
- 2 Umwälzpumpen, Nennleistung 5,5 kW
- 1 Mazerator, Nennleistung 5,5 kW

- 2 Beschickungspumpen, Nennleistung 7,5 kW
- 2 Rohschlammumpen, Nennleistung 5,5 kW

Schlammbehandlung ASTM 2

- 1 Mesophiler Faulbehälter, Volumen 322 m³
- 2 Umwälzpumpen, Nennleistung 4 kW
- 2 Beschickungspumpen, Nennleistung 7,5 kW
- 2 Faulschlammumpen, Nennleistung 7,5 kW

Schlammspeicherung

- 1 Schlammstapelraum, Volumen 1.800 m³
- 1 Schlammzwichenspeicher, Volumen 500 m³ (außer Betrieb)
- 1 Schlammstapelspeicherpumpe, Nennleistung 5,5 kW
- 3 Rührwerke, Nennleistung 18,80 kW

Gasverwertung

- 1 Gasbehälter, Volumen 200 m³
- 1 Blockheizkraftwerk, Nennleistung 30 kW (außer Betrieb)

Überschussschlammeindickung

- 1 Dosieranlage, Nennleistung 0,55 kW
- 1 Dünnschlammpumpe, Nennleistung 7,5 kW
- 1 Fällmittel Dosierpumpe, Nennleistung 0,55 kW
- 1 Rührwerk, Nennleistung 0,18 kW
- 1 Scheibeneindicker, Nennleistung 0,66 kW
- 1 Dickschlammpumpe, Nennleistung 2,2 kW

Brauchwasser

- 1 Kompressor, Nennleistung 1,7 kW
- 2 Brauchwasserpumpen, Nennleistung 3,5 kW
- 1 Brunnenpumpe, Nennleistung 2,7 kW

Heizungsanlage

- 1 Kesselkreislaufpumpe, Nennleistung 0,2 kW
- 1 Betriebsgebäudepumpe, Nennleistung 7 kW
- 2 Wärmetauscher, Nennleistung 1,1 kW
- 1 Warmwasserbereiter, Nennleistung 75 kW

Nachklärung

- Nachklärbecken 1, ausgeführt als Rundbecken, Volumen 1.442 m³, mit 1 Räumeinrichtung (außer Betrieb)

- Nachklärbecken 2, ausgeführt aus Rundbecken, Volumen 1.442 m³, mit 1 Räumeinrichtung
- 1 Ablaufmengenmessung (Messprinzip Venturi)

2.2 Aktuelle Belastung der Kläranlage

Die aktuelle Belastung der Kläranlage Oberschleißheim wurde dem Betriebstagebuch des Jahres 2012 entnommen.

2.2.1 Abwasseranfall

Die statistische Auswertung der Daten aus dem Betriebstagebuch basiert auf den maßgeblichen Abwassermengen des Jahres 2012 unter Trockenwetterbedingungen. Als Trockenwettertage wurden die Tage ohne messbaren Niederschlag abzüglich der Regennachlaufftage gezählt. Regennachlaufftage sind ein zusätzlicher Tag nach Regenereignissen bzw. die im Betriebstagebuch entsprechend gekennzeichneten Tage.

Die Auswertung der täglichen Abwassermengen ist im Folgenden dargestellt:

Minimaler täglicher Zufluss	Q _{T,d,min}	=	1.468 m ³ /d
Maximaler täglicher Zufluss	Q _{T,d,max}	=	2.008 m ³ /d
Mittlerer täglicher Zufluss	Q _{T,dM}	=	1.753 m ³ /d
Bemessungswert (85%-Wert)	Q _{T,d}	=	1.850 m ³ /d

Die im Betriebstagebuch festgehaltenen pH-Werte entsprechen im Wesentlichen den pH-Werten kommunalen Abwassers.

2.2.2 Zulauffrachten

Die Belastung der Kläranlage Oberschleißheim wird nach ATV-DVWK Arbeitsblatt A 198 [1] über den 85 %-Wert der BSB₅-Frachten vorgeommen. Die Messwerte zeigen für das gewählte Auswertungsjahr 2012 eine Belastung von 968 kg/d bzw. 16.136 E. Der Auslastungsgrad bezogen auf die Ausbaugröße der Kläranlage von 30.000 E beträgt damit rund 54 %.

In der folgenden Tabelle sind die mittleren Tagesfrachten, die 85 %-Werte der Tagesfrachten und die zugehörigen Einwohnerwerte zusammengefasst.

Tabelle 1: Stofffrachten im Zulauf zur Kläranlage Oberschleißheim im Auswertungsjahr 2012, alle Tage

	Mittelwert kg/d	spez. Wert E	85%-Wert kg/d	spez. Wert E
BSB5	819	13.648	968	16.136
CSB	1.631	13.592	1.993	16.606
GesN	181	16.462	208	18.916
P _{ges}	25,4	14.101	29,0	16.124

Für die Energieanalyse ist nach DWA [2] die über das Jahr gemittelte CSB-Zulaufkraft der Anlage maßgebend. Die für das Jahr 2012 ermittelte CSB-Fracht von 1.631 kg/d entspricht 13.592 E und dient im Weiteren als Bezugsgröße bei der Berechnung von spezifischen Anlagenkennwerten.

2.2.3 Schlamm- und Gasanfall

Für das Jahr 2012 sind folgende Schlamm- und –kennwerte aus dem Betriebstagebuch entnommen bzw. errechnet worden:

- Rücklaufschlamm: 2.092 m³/d, TR 0,6 %
- Überschussschlamm zur Zentrifuge: 102 m³/d, TR 0,6 %
- Überschussschlamm zum Faulturm: 13,3 m³/d, TR 4,8 %
- Entwässerter Schlamm: 4.437 m³/a, TR 22,9 %

Die gesamte Faulgasproduktion lag im Jahr 2012 bei 66.690 m³ bzw. bei rund 183,7 m³/d im Jahresmittel. Umgerechnet auf Normkubikmeter ergibt sich eine mittlere tägliche Gasproduktion von etwa 165,3 Nm³/d. Die spezifische Gasproduktion errechnet sich bei einer mittleren Belastung der Kläranlage Oberschleißheim zu 12,1 NI/(Ed). Im Vergleich zu anderen deutschen Kläranlagen liegt die Gasproduktion im unteren Kurvenbereich und ist im nationalen Vergleich als sehr niedrig einzustufen (Abbildung 1).

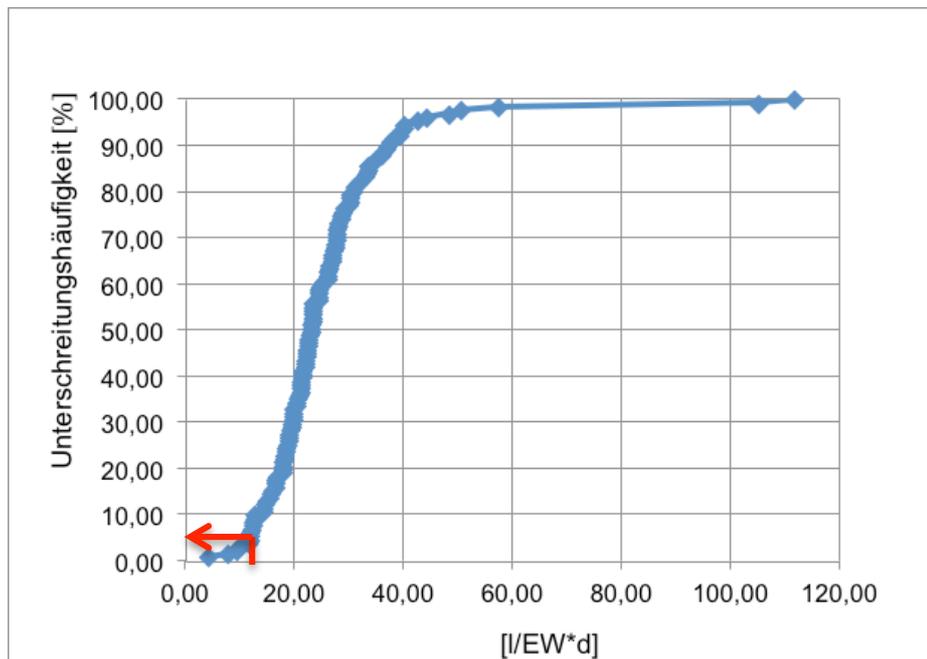


Abbildung 1: Spez. Faulgasproduktion deutscher Kläranlagen nach DWA [2]

2.2.4 Ablaufwerte

Zur Bestimmung der Reinigungsleistung der Kläranlage Oberschleißheim wurden die Ablaufwerte des Jahres 2012 aus der Eigenüberwachung statistisch ausgewertet. Ergänzt wurde die Auswertung um einen Vergleich der Ablaufwerte mit den Bescheidswerten.

Der derzeit gültige, vom Landratsamt München am 15.03.1994 erteilte Wasserrechtsbescheid (mit letzten Änderungen am 22.04.2003) enthält Grenzwerte von der nicht abgesetzten, homogenisierten Zwei-Stunden-Mischprobe für die Parameter BSB₅, CSB und P_{ges} ganzjährig und für die Stickstoffparameter NH₄-N und N_{ges} in der Zeit vom 1. Mai bis 31. Oktober jeden Jahres. Die folgende Tabelle zeigt die statistisch ausgewerteten Ablaufwerte der Kläranlage Oberschleißheim für das Jahr 2012.

Tabelle 2: Statistisch ausgewertete Ablaufwerte der Kläranlage Oberschleißheim im Auswertungsjahr 2012

	BSB5	CSB	P _{ges}	NH ₄ -N	N _{ges}
	ganzjährig			01.05. – 31.10	
Anzahl Messungen	81	95	97	52	51
Mittelwert	5,1	30,3	0,67	0,82	7,61
Minimum	1,0	16,5	0,06	0,04	1,24
Maximum	18,0	46,5	1,78	14,50	19,49
gültiger Bescheid	20,0	50,0	1,00	10,00	14,00
Überschreitungen	0	0	18	1	5
	0%	0%	18,6%	1,9%	9,8%

N_{ges} = NH₄-N + NO₃-N + NO₂-N
alle Konzentrationsangaben im mg/l

Die Überwachungswerte wurden im Jahr 2012 nicht durchgängig eingehalten. Die Phosphorgrenzwerte wurden bei 18,6 % der Messungen nicht eingehalten. Der Ammonium- bzw. Gesamtstickstoff wurde bei 1,9 %, bzw. 9,8 % der Messungen überschritten.

2.3 Überrechnung der Kläranlage Oberschleißheim

Auf der Grundlage der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen maßgebenden Belastung der Kläranlage Oberschleißheim wurde die Belebungsanlage entsprechend Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131 [4] überrechnet. Die Berechnungsergebnisse liegen als Anlage 2 bei.

Im Auswertungsjahr 2012 waren 2 von 4 Belebungsbecken in Betrieb. Die Überrechnung zeigte, dass das Volumen der betriebenen Belebungsbecken ($2 \times 1980 \text{ m}^3 = 3.960 \text{ m}^3$) ausreichend ist (erforderliches Beckenvolumen: 3.648 m^3).

2.4 Bestandsaufnahme und Einordnung des Stromverbrauchs

Bei der energetischen Bewertung einer Kläranlage ist zwischen dem Energieverbrauch aller Maschinen, Pumpen und Aggregate und dem gesamten Energiebezug der Kläranlage zu unterscheiden. Der Energiebezug einer Kläranlage ist die Differenz aus Stromverbrauch und Eigenstromerzeugung.

2.4.1 Gesamtstromverbrauch

In den Betriebsaufzeichnungen der Kläranlage Oberschleißheim wird der Gesamtstromverbrauch im Jahr 2012 mit 696.320 kWh angegeben. Daraus ergibt sich bei Ansatz der über das Jahr gemittelten Belastung von 13.592 E ein spezifischer Verbrauch von 51,23 kWh/(E*a). Abbildung 2 zeigt den Stromverbrauch deutscher Kläranlagen der Größenklassen 1-5.

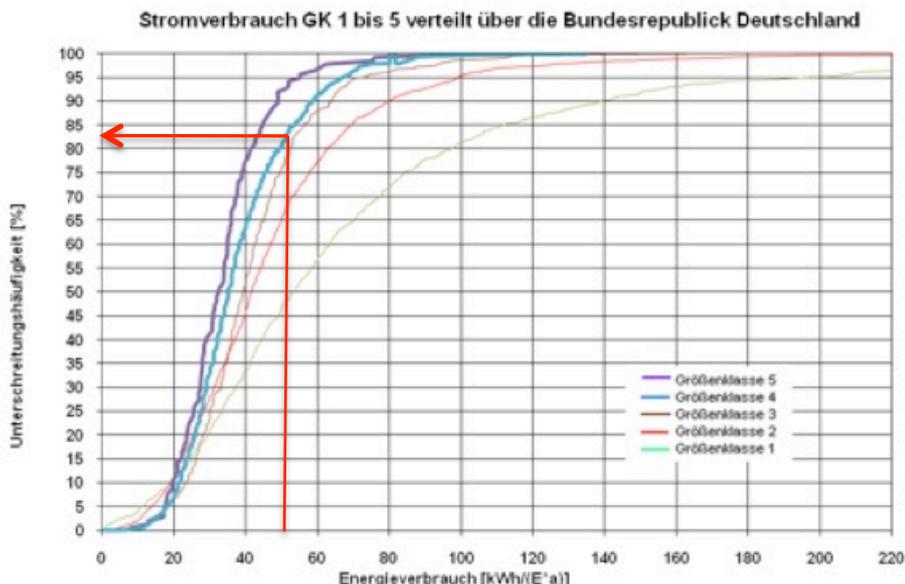


Abbildung 2: Übersicht über den Stromverbrauch deutscher Kläranlagen nach DWA [2]

Mit 51,23 kWh/(E*a) ist der Stromverbrauch der Kläranlage Oberschleißheim im Vergleich mit deutschen Kläranlagen der Größenklasse 4 (10.000 EW – 100.000 EW) als hoch einzustufen. Über 80 % der aufgeführten deutschen Kläranlagen dieser Größenklasse weisen einen niedrigeren spezifischen Stromverbrauch als die Kläranlage Oberschleißheim auf.

2.4.2 Verteilung des Stromverbrauchs

Das Hauptproblem bei der Energiedatenerfassung besteht darin, dass auf Kläranlagen die tatsächlich im Mittel aufgenommene Leistung (P1) eines Aggregates in der Regel nicht kontinuierlich erfasst wird, sondern nur Sammelmessungen für einzelne Verbrauchergruppen und für die gesamte Anlage vorliegen.

Im Betriebstagebuch der Kläranlage Oberschleißheim festgehalten werden der Gesamtverbrauch der Anlage und der Stromverbrauch der Biologie sowie der Schlammbehandlung. Zudem werden die Betriebsstunden der maßgeblichen Aggregate erfasst. Liegen keine Messwerte vor, so kann die Leistung P1 vor Ort stichprobenartig durch Ablesung der Anzeigen an den jeweiligen Schaltschränken und durch Messungen

mit einer „Messzange“ ermittelt werden. Die aufgenommene Leistung P_1 berechnet sich aus der Stromstärke über folgende Formel.

$$P_1 = U \times I \times \sqrt{3} \times \cos\varphi$$

Der Faktor $\cos\varphi$ wird überwiegend über die Nennangaben der Motoren („IN“ und „PN“) unter Berücksichtigung der abgeschätzten Motorwirkungsgrade ermittelt. Bei Motoren, die im Teillastbetrieb betrieben werden, werden sowohl beim Motorwirkungsgrad als auch beim Faktor $\cos\varphi$ Abminderungen vorgenommen. Bei den übrigen Aggregaten erfolgte die Ermittlung der aufgenommenen Leistungen über die Multiplikation der Nennleistungen (P_N) mit Korrekturfaktoren (K_F).

$$P_1 = K_F \times P_N$$

Die erforderlichen Korrekturfaktoren wurden in Abstimmung mit dem Betriebspersonal über Erfahrungswerte und pauschale Ansätze festgelegt. Der Jahresstromverbrauch der einzelnen Aggregate ergibt sich durch die Multiplikation von P_1 und der jährlichen Betriebszeit B_h . Die für die einzelnen Aggregate ermittelten Stromwerte sind der Anlage 3 zu entnehmen.

Der Stromverbrauch von 696.320 kWh im Jahr 2012 teilt sich in die in Abbildung 3 dargestellten Verfahrensstufen auf. Den Hauptverbraucher der Kläranlage Oberschleißheim stellt, wie auf anderen Kläranlagen, die biologische Stufe dar.

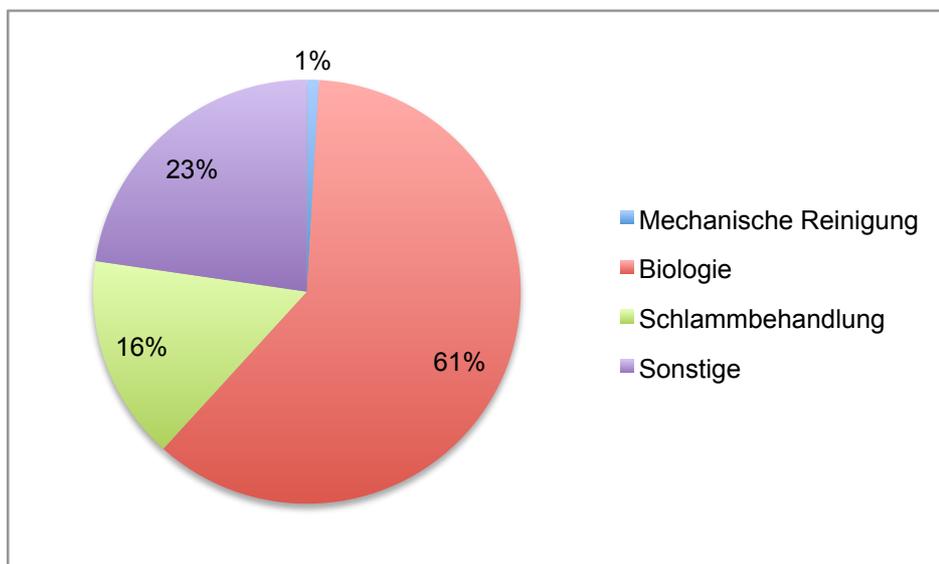


Abbildung 3: Prozentuale Verteilung des Stromverbrauchs der Kläranlage Oberschleißheim in den einzelnen Verfahrensstufen, Auswertungsjahr 2012

2.4.3 Energieeigenerzeugung und Wärmebedarf

Im Jahr 2012 fielen in der Faulungsanlage 66.690 m³ bzw. auf Normkubikmeter umgerechnet 59.792 Nm³ Faulgas an. Das entspricht einem mittleren Tagesanfall von 165 Nm³/d. Der Großteil des Faulgases wurde energetisch im vorhandenen BHKW und der Heizung verwertet. Seit Dezember 2012 ist das BHKW betriebsbedingt nicht mehr im Einsatz. Daher wird seitdem das gesamte Klärgas über die Heizung verwertet. Insgesamt wurden 2012 durch die energetische Verwertung des Klärgases 108.789 kWh/a Wärmeenergie durch das BHKW und 121.781 kWh/a Wärmeenergie durch die Heizung erzeugt. Zusätzlich wurden zum Heizen insgesamt 36.733 l Heizöl verbraucht. Bei einem angesetzten Wirkungsgrad von 75 % des Heizkessels entspricht dies einer Wärmeenergieerzeugung von 276.155 kWh.

Der Wärmebedarf der Kläranlage Oberschleißheim wurde getrennt nach Monaten unter Berücksichtigung der Aufheizung des Rohschlammes, der Abstrahlverluste des Faulbehälters und der Gebäudeheizung errechnet.

Da auf der Kläranlage Oberschleißheim keine gezielte Wärmemengenmessung vorhanden ist, wurde der Wärmebedarf der Gebäude über die zu heizende Grundfläche bestimmt. Die Verteilung der Wärme erfolgte gemäß VDI 2067. Die Ergebnisse der Wärmebedarfsberechnung sind in Tabelle 3 zusammengefasst und in Anlage 4 ausführlich dargestellt. Es wird empfohlen, auf der Kläranlage Oberschleißheim eine gezielte Wärmemengenmessung zu installieren, um den Wärmebedarf der Gebäude und des Faulturms differenziert bestimmen zu können.

Tabelle 3: Wärmebedarf der Kläranlage Oberschleißheim 2012

	Wärmebedarf in kWh/a
Faulturbetrieb	364.272
Gebäude	120.619
Summe	484.891

Bei einem Gesamtwärmebedarf der Kläranlage von 484.891 kWh/a und einer Wärmeenergieerzeugung von 276.155 kWh/a durch Heizöl betrug der regenerative Wärmeeigenversorgungsgrad durch Klärgas im Jahr 2012 ca. 43 %.

3 Maßnahmenkatalog

Die Erarbeitung des Maßnahmenkatalogs erfolgt in folgenden Schritten:

- Ermittlung des Einsparpotentials
- Ermittlung der Investitions-Jahreskosten

- Berechnung des Kosten-/Nutzenverhältnisses aus den Investitions-Jahreskosten und dem Einsparpotential unter Berücksichtigung weiterer Betriebskosten (z.B. Wartung, Personal).

Zur Ermittlung des Strom-Einsparpotentials ist eine detaillierte Betrachtung der einzelnen Stufen notwendig. Dazu wurden die ermittelten Stromverbräuche der einzelnen Verfahrensstufen (Pumpwerke, Belüftung usw.) genauer untergliedert und den erreichbaren Zielwerten gegenübergestellt. Die Ermittlung der Zielwerte erfolgte dabei nicht über Abschätzungen mit Literaturwerten, sondern über Berechnungen mit Ansatz der realen örtlichen Randbedingungen (z.B. Förderhöhen, Belastung, Reinigungsanforderungen) analog dem zukünftigen Arbeitsblatt der DWA A-216 [2]. Sie werden deshalb als anlagenspezifische Modellwerte bezeichnet. Die jährlich mögliche Stromeinsparung ergibt sich dann jeweils aus der Differenz von anlagenspezifischem Modellwert und Ist-Verbrauch.

Das Wärme-Einsparpotential wird aus der Berechnung der erforderlichen Wärme für Schlammaufheizung, Faulturm- und Gebäudeheizung (siehe Kapitel 3.3) bestimmt.

Die Ermittlung der Investitions-Jahreskosten erfolgt dynamisch nach den Leitlinien der LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) [3] unter Berücksichtigung von Zinsen und Betriebsaufwand. Es ist darauf hinzuweisen, dass als Grundlage der Wirtschaftlichkeitsberechnung in dieser Studie die Energiepreise aus dem Jahr 2012 zugrunde gelegt sind und keine zu erwartende Energiepreissteigerung in die Betrachtung eingerechnet wurde. Die Kapitalzinsen werden als „reale“ Werte ohne Berücksichtigung der Inflation angesetzt.

Als Basis der Berechnungen wurden folgende Kenndaten verwendet:

- Realer Zinssatz: 3 % p.a.
- Grundstrompreis: 18,37 Cent/kWh
- Reale Strompreissteigerungsrate: 0 % p.a.
- Reale Energiepreissteigerungsrate: 0 % p.a.
- Nutzungsdauer Bauwerke: 30 Jahre
- Nutzungsdauer Anlagentechnik: 15 Jahre

Die Berechnung des Kosten-/Nutzenverhältnisses erfolgt aus den Investitions-Jahreskosten, dem Kapitaldienst und dem Einsparpotential unter Berücksichtigung weiterer Betriebskosten (z.B. Wartung, Personal). Das Kosten-/Nutzenverhältnis ist ein maßgeblicher Kennwert zur Bewertung und zur Einordnung der Energiesparmaßnahme in die jeweilige Maßnahmengruppe.

Bezüglich der Maßnahmengruppen ist zwischen Sofortmaßnahmen (S), kurzfristigen (K) und abhängigen (A) Maßnahmen zu unterscheiden.

Die drei Maßnahmengruppen sind wie folgt definiert:

S – Sofortmaßnahmen

- sofort zu realisieren, Zeithorizont ca. 0 – 2 Jahre,
- keine oder geringe Investitionskosten,
- niedriges Kosten-/Nutzenverhältnis oder dringende Anpassung an heutige Anforderungen oder Schadensbehebung zur Verminderung von Substanzverlusten,
- verursachen keine Folgeprobleme in Bezug auf spätere Maßnahmen,
- bewirken keine betrieblichen, abwassertechnischen, bauphysikalischen oder technischen Probleme.

K – Kurzfristige Maßnahmen

- wirtschaftliche Maßnahmen mit einem Kosten-/Nutzenverhältnis < 1 ,
- im Rahmen einer energetischen Sanierung oder Erweiterung zu realisieren, Zeithorizont ca. 2 – 3 Jahre.
- Die Maßnahmen werden im Rahmen einer Planung genauer untersucht

A – Abhängige Maßnahmen

- im Rahmen eines allgemeinen Umbaus oder einer Erweiterung zu realisieren,
- Zeithorizont ca. 1 – 10 Jahre
- Maßnahmen, die wegen eines ungünstigen Kosten-/Nutzenverhältnisses oder anderer Abhängigkeiten nur im Zusammenhang mit allgemeinen Sanierungs-, Unterhalts- oder Erneuerungsarbeiten ausgeführt werden können

3.1 Einsparpotentiale durch verfahrenstechnische Umstellung

3.1.1 Umstellung auf eine mesophile Faulungsanlage

Wie in 2.1.2 beschrieben, ist die Kläranlage Oberschleißheim mit einer zweistufigen thermophil-mesophilen Faulung ausgeführt.

Dabei wird der anfallende Rohschlamm über einen Spiralwärmetauscher sowie einen Schlamm-/Wasser Wärmetauscher auf ca. 55 °C erhitzt und in den thermophilen Faulbehälter gepumpt. Nach einer Aufenthaltszeit von idealerweise 2-3 Tagen wird der Schlamm über den Spiralwärmetauscher auf 35 °C abgekühlt und in den mesophilen Faulbehälter gepumpt, wo dieser weitere 10 Tage ausfällt. Die entnommene Wärmeenergie im Spiralwärmetauscher wird wiederum dem frischen Rohschlamm zugeführt.

Das Verfahren der thermophil-mesophilen Faulung hat den Vorteil einer erhöhten Gasausbeute sowie einer geringeren Aufenthaltszeit des

Schlamm im Faulbehälter im Vergleich zur mesophilen Faulung. Außerdem kann eine höhere Keimabtötung erzielt werden. In der Praxis zeigten sich bei diesem Verfahren jedoch grundlegend Betriebsprobleme, was dazu führte, dass es heutzutage kaum, bzw. gar nicht mehr angewendet wird und zahlreiche Kläranlagen mit thermophil-mesophiler Schlammfäulung bereits umgerüstet wurden.

Als Hauptprobleme wurden zum einen eine verstärkte Schaumbildung in den Faulbehältern durch das vermehrte Auftreten von Fadenbakterien sowie Betriebsprobleme des Spiralwärmetauschers identifiziert.

Auf der Kläranlage Oberschleißheim konnte das Problem der Schaumbildung in den Faulbehältern weitestgehend gelöst werden. In den vergangenen Jahren kam es nur vereinzelt zu einem Übersäumen der Faulbehälter. Das größere Problem zeigte sich beim Spiralwärmetauscher. Da die Rohre des Spiralwärmetauschers verstopften, musste dieser außer Betrieb genommen werden. Als Folge konnte die Wärmeenergie des Faulschlammes der thermophilen Stufe nicht zur Erwärmung des Rohschlammes genutzt werden, was durch die Verbrennung von zusätzlichem Öl in der Heizungsanlage kompensiert werden musste. Dies führte dazu, dass die Kläranlage Oberschleißheim 2012 fast 37.000 l Heizöl beziehen musste. Bei einem Ölpreis von 88 Cent/l entspricht dies Kosten von 32.417 €.

Hinzu kommt, dass durch den fehlenden Spiralwärmetauscher eine Abkühlung des Faulschlammes von 55 °C in der thermophilen Stufe auf die anzustrebenden 35 °C in der mesophilen Stufe nicht möglich war. Folglich lag 2012 die Durchschnittstemperatur im mesophilen Faulbehälter bei 43,5 °C. Bei diesen Temperaturen ist die Biozönose gestört, was zu Einbußen bei der Biogasproduktion führt.

Es wird daher vorgeschlagen, die thermophil-mesophile Schlammfäulung zu einer einstufigen mesophilen Schlammfäulung umzubauen. Der Vorteil der mesophilen Schlammfäulung besteht darin, dass der Rohschlamm nicht mehr auf 55 °C, sondern nur noch auf 35 °C aufgeheizt werden muss und kein Spiralwärmetauscher gebraucht wird. Durch diese Maßnahme kann der Gesamtwärmebedarf der Kläranlage von 484.891 kWh/a im Bezugsjahr 2012 auf 347.991 kWh/a reduziert werden. Die Kapazitätsreserven der Kläranlage Oberschleißheim reichen rechnerisch für die Umstellung auf eine mesophile Faulung aus. Die mögliche Aufenthaltszeit des Rohschlammes in den Faulbehältern beträgt dann 21 Tage. Dieser Wert liegt über den notwendigen Aufenthaltszeiten nach Imhoff [5] von 18 Tagen. Verfahrenstechnische Änderungen bezüglich des Betriebs der Kläranlage Oberschleißheim, die zu einer Erhöhung des Rohschlammmanfalls führen, sind aber auf deren Machbarkeit zu überprüfen (vgl. 3.1.2).

Tabelle 4: Wärmeeinsparungspotential bei Umstellung auf mesophile Faulung

	Wärmebedarf kWh/a
Wärmebedarf derzeit	484.891
Wärmebedarf nach Umstellung	347.991
Einsparung Wärmebedarf	136.900

Die Einsparung des Wärmebedarfs von 136.900 kWh/a entspricht einer Reduzierung der Heizölkosten um ca. 15.059 €/a. Dem stehen Kosten von insgesamt ca. 107.100 € gegenüber (inkl. Baunebenkosten). Somit ergibt sich ein Kosten-/Nutzenverhältnis von 0,6 (Anlage 6.1).

Die Maßnahme ist daher als kurzfristige Maßnahme zu betrachten.

3.1.2 Reduzierung des Schlammalters und Wiedereinbetriebnahme der Grobentschlammung

Wie in 2.2.3 beschrieben, beträgt der Klärgasanfall in der Faulung der Kläranlage Oberschleißheim 12,1 NI/(E*d). Dieser ist im deutschen Vergleich als sehr gering einzustufen und deutet auf ein Schlammalter von >15 Tagen in der Belebung und somit eine aerobe Schlammstabilisierung hin. Dabei wird ein Teil der organischen Feststoffe bereits in der Belebung abgebaut und steht somit für die Biogasproduktion in der Faulung der Kläranlage nicht mehr zur Verfügung. Die in den Betriebsstagebüchern aufgeführten Werte der täglich aus der Belebung abgezogenen Überschussschlammmenge sowie der entsprechenden Trockenrückstände bestätigen diese Annahme.

Es wird daher empfohlen, das Schlammalter in der Biologie auf ca. 13-15 Tage zu reduzieren. Durch diese Maßnahme kann ein Abbau der für die Biogasproduktion notwendigen organischen Reststoffe in der Belebung vermieden und die Klärgasproduktion gesteigert werden. Da Überschussschlamm in der Faulung deutlich schlechter abbaubar ist als Primärschlamm wird zudem empfohlen, die Grobentschlammung wieder in Betrieb zu nehmen.

Durch die Reduzierung des Schlammalters sowie die Wiedereinbetriebnahme der Grobentschlammung kann die Biogasproduktion rechnerisch um insgesamt 100 % gesteigert werden kann.

Nach der Schlammliste von Imhoff [5] beträgt der spezifische Schlammanfall (ohne aerobe Schlammstabilisierung) 90 g/(E*d). Bei einer mittleren Belastung im Jahr 2012 von 13.592 E ergibt sich insgesamt ein gesamter Feststoffgehalt im Schlamm von ca. 1.223 kg/d. Bei Belebungsanlagen mit Vorklärung entfallen davon 45 g/(E*d) auf den Primärschlamm, 30 g/(E*d) auf den Überschussschlammfall und 10 g/(E*d) auf den Schlamm aus der Phosphatelimination. Bei Betrieb einer Grobentschlammung reduziert sich der spezifischer Primärschlammfall um 15 g/(E*d). Damit ergibt sich ein spezifischer Primär-

schlammanfall von 30 g/(E*d) und ein spezifischer Überschuss-
schlammanfall einschließlich des Schlammes aus der Phosphatelimina-
tion von 60 g/(E*d).

Bei Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung werden also ca.
1/3 der im Abwasser enthaltenden Feststoffe bereits als Primärschlamm
in der Grobentschlammung abgetrennt. Dadurch sinkt der Luftbedarf in
den Belebungsbecken und der Stromverbrauch der Belebung reduziert
sich um ca. 20 %.

Es ist zu beachten, dass sich durch die Reduzierung des Schlammal-
ters sowie die Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung bei ei-
nem TS-Gehalt des Primärschlammes von 4 % und einem TS-Gehalt
des Überschussschlammes von 5,5 % der Rohschlammanfall um ca. 86
% steigert, wodurch entsprechend der Wärmebedarf in den Faulbehäl-
tern steigt. Außerdem fallen ca. 4.900 € Mehrkosten für die Über-
schussschlammeindickung an.

Im Folgenden wird eine Kosten-/Nutzen Analyse dieser Maßnahme ge-
trennt für die zweistufige thermophil-mesophile Faulung sowie die ein-
stufige mesophile Faulung untersucht.

3.1.2.1 Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung bei thermophiler-mesophiler Faulung

Bei einer Zunahme des Rohschlammanfalls von 86 % beträgt die ma-
ximal mögliche Aufenthaltszeit 5,6 d im thermophilen Faulbehälter und
13,2 d im mesophilen Faulbehälter (TS-Gehalt Primärschlamm: 4 %;
TS-Gehalt Überschussschlamm: 5,5 %). Die minimalen Aufenthaltszei-
ten nach Imhoff [5] von 2-3 Tagen in der thermophilen und 10 Tagen in
der mesophilen Stufe werden somit sicher eingehalten. Mögliche Spit-
zenbelastungen können durch eine Vorlagerung im Vorlagebehälter
sowie eine verstärkte Eindickung des Überschussschlammes gepuffert
werden.

Durch eine Reduzierung des Schlammalters sowie die Wiederinbe-
triebnahme der Grobentschlammung ergibt sich eine Stromersparnis
von 45.000 kWh/a durch reduzierten Luftbedarf in der Belebung. Dar-
über hinaus können durch den erhöhten Biogasertrag 141.761 kWh/a
mehr Eigenstrom und 138.310 kWh/a mehr Wärmeenergie produziert
werden. Diesen Einsparungen steht ein zusätzlicher Wärmebedarf der
Kläranlage von 253.563 kWh/a gegenüber.

Für die Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung fallen zudem
Kosten für die Erneuerung der Trennwand im Grobschlammbecken in
Höhe von 10.000 € sowie für Betonuntersuchungen des Beckens in
Höhe von 7.500 € an. Die notwendigen Pumpen und Rohrleitungen
sind nach Information des Betriebspersonals noch vorhanden und be-
triebsbereit. Außerdem ergeben sich durch die Zunahme des Roh-
schlammanfalls Mehrkosten für die Überschussschlammeindickung in
Höhe von 4.900 €/a. Insgesamt ergibt sich somit ein Kosten-
/Nutzenverhältnis von 0,27 (Anlage 6.2).

Diese Maßnahme ist daher als kurzfristige Maßnahme einzustufen.

3.1.2.2 Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung bei mesophiler Faulung

Bei einer Zunahme des Rohschlammmanfalls von 86 % beträgt die maximal mögliche Aufenthaltszeit bei Umstellung der bestehenden Faulbehälter (vgl. 3.1.1) auf mesophile Faulung 18,6 Tage (TS-Gehalt Primärschlamm: 4 %; TS-Gehalt Überschussschlamm: 5,5 %). Die minimale Aufenthaltszeit nach Imhoff [5] von 18 Tagen in der mesophilen Stufe wird somit nur knapp eingehalten.

Durch eine Reduzierung des Schlammalters sowie die Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung ergibt sich eine Stromersparnis von 45.000 kWh/a durch reduzierten Luftbedarf in der Belebung. Darüber hinaus können durch den erhöhten Biogasertrag 141.761 kWh/a mehr Eigenstrom und 138.310 kWh/a mehr Wärmeenergie produziert werden. Diesen Einsparungen steht ein zusätzlicher Wärmebedarf der Kläranlage von 154.172 kWh/a gegenüber.

Für die Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung fallen zudem Kosten für die Erneuerung der Trennwand im Grobschlammbecken in Höhe von 10.000 € sowie für Betonuntersuchungen des Beckens in Höhe von 7.500 € an. Die notwendigen Pumpen und Rohrleitungen sind nach Information des Betriebspersonals noch vorhanden und betriebsbereit. Außerdem ergeben sich durch die Zunahme des Rohschlammmanfalls Mehrkosten für die Überschussschlammeindickung in Höhe von 4.900 €/a. Insgesamt ergibt sich somit ein Kosten-/Nutzenverhältnis von 0,22 (Anlage 6.3).

Diese Maßnahme ist daher als kurzfristige Maßnahme einzustufen

Hinweis: Da nach Umsetzung der beschriebener Maßnahme die Aufenthaltszeiten des Faulschlammes in den Faulbehältern nur knapp über den minimal notwendigen Aufenthaltszeiten liegen, wird aus Gründen der Betriebssicherheit der Neubau eines zusätzlichen Faulturms auf dem Gelände der Kläranlage Oberschleißheim empfohlen. Durch den Neubau eines Faulbehälters ist der in 3.1.1 beschriebene Umbau der bestehenden thermophil-mesophilen Faulung auf eine einstufige mesophile Faulung nicht notwendig. Der bestehende mesophile Faulbehälter kann zusammen mit dem neuen Faulbehälter weiterhin betrieben werden, während der kleinere, thermophile Faulturm als Schlamm Speicher genutzt werden kann.

Anstelle eines konventionellen Faulbehälters, der in der Regel in Ort beton ausgeführt ist, bietet es sich an, einen speziell für die Ansprüche von Kläranlagen ausgelegten Wickelfalz-Faulbehälter mit einem Volumen von 400 m³ zu installieren. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft einen solchen Behälter mit optionalem, integriertem Gasspeicher.



Abbildung 4: Wickelfalz-Faulbehälter zur anaeroben Schlammstabilisierung mit integriertem Gasspeicher (optional)

Wickelfalz-Faulbehälter werden im Vergleich zu konventionellen Faulbehältern in kleineren Einheiten mehrstraßig ausgeführt. Entsprechend ist eine spätere Anlagenerweiterung durch einen zusätzlichen Reaktor technisch einfacher zu gestalten und wirtschaftlich zu vertreten. Darüber hinaus sind die Behälter sehr kompakt und haben einen vergleichsweise geringen Platzbedarf.

Die Kosten für einen solchen Behälter belaufen sich inklusive Baunebenkosten auf insgesamt ca. 450.000 – 500.000 €.

3.1.2.3 Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung bei mesophiler Faulung inkl. Primärschlamm-eindickung

Durch die Umstellung auf eine mesophile Faulung reduzieren sich, wie beschrieben, die Kapazitätsreserven in den Faultürmen der Kläranlage Oberschleißheim im Vergleich zur thermophil-mesophilen Faulung. Um bei einer zukünftigen Steigerung der Belastung der Kläranlage auch ohne Neubau eines Faulbehälters Kapazitätsengpässen in der Faulung entgegenzuwirken, muss der Primärschlamm maschinell eingedickt werden. Bei der Eindickung des Primärschlammes auf einen TS-Gehalt von 5,5 % beträgt die mögliche Aufenthaltszeit des Rohschlammes in der Faulung 22 Tage, wodurch ein sicheres Ausfaulen des Schlammes gewährleistet werden kann. Die Kapazitätsreserven sind damit ausreichend.

Es wird vorgeschlagen, die Primärschlammeindickung mittels Scheibeneindicker durchzuführen, welcher in einem eigenen Containerbauwerk inklusive Abluftreinigung untergebracht ist. Es bietet sich an, zur Heizung des Gebäudes die Abwärme des BHKWs zu nutzen. Insgesamt

samt belaufen sich die Kosten für diese Maßnahme auf 242.000 €. Somit ergibt sich ein Kosten-/Nutzenverhältnis von 0,8 (Anlage 6.4).

Die Maßnahme ist daher als kurzfristige Maßnahme einzustufen.

3.1.3 *Resümee und Empfehlung*

Aus energetischer Sicht wird empfohlen, die Maßnahme 3.1.2.2 „Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung bei mesophiler Faulung“ bevorzugt durchzuführen. Diese Maßnahme setzt die Umstellung der bestehenden zweistufigen thermophil-mesophilen Faulung auf eine einstufige mesophile Faulung voraus. Aus den in 3.1.2.2 beschriebenen Gründen wird empfohlen, auf dem Gelände der Kläranlage Oberschleißheim einen neuen Faulbehälter zu errichten, anstatt wie in 3.1.1 beschrieben, die bestehende thermophil-mesophile Faulung auf eine einstufige mesophile Faulung umzubauen. Es bietet sich an, einen speziell für die Ansprüche von Kläranlagen ausgelegten Wickelfalz-Faulbehälter mit einem Volumen von 400 m³ zu installieren.

3.2 **Effizienzbewertung der vorhandenen Aggregate**

Tabelle 5 zeigt eine Übersicht, in der die Stromverbräuche der einzelnen Verfahrensstufen der Kläranlage Oberschleißheim den berechneten anlagenspezifischen Modellwerten gegenübergestellt sind. Die Verfahrensstufen, bei denen ein Einsparpotential vorhanden ist, sind rot gekennzeichnet. Bei den anderen Verfahrensstufen ist von einem für die Randbedingungen der Kläranlage Oberschleißheim optimalen Betrieb auszugehen. Eine detaillierte Übersicht über alle Aggregate mit zugehörigem Stromverbrauch sowie eine Gegenüberstellung mit den Modellwerten ist in Anlage 3 beigelegt.

Tabelle 5: Vergleich der Stromverbrauchswerte der Kläranlage Oberschleißheim mit den berechneten Modellwerten

	spezifischer Stromverbrauch kWh/(E*a) Ist-Zustand	spezifischer Stromverbrauch kWh/(E*a) Modellanlage
Zulaufpumpwerk	1,71	0,79
Rücklaufschlammumpwerk	5,60	0,98
Sandfanggebläse	0,43	0,22
Gebläse der Belebung	17,29	15,00
Rührwerke Denitrifikation	8,26	2,04
Umwälzung Faulbehälter 1	2,12	0,60
Umwälzung Faulbehälter 2	0,71	0,64
Mazeration Faulbehälter 1	0,73	0,73
Beschickung Faulbehälter 1	1,00	0,01
Beschickung Faulbehälter 2	0,82	0,01
Beschickung Schlammstapelsp.	0,23	0,01
Überschussschlammeindickung	1,01	1,01
Schlammspeicherpumpe	0,01	0,01
Rührwerke Schlammspeicher	0,65	0,06
Summe	51,23	32,69

Bei Ausschöpfung aller Einsparpotentiale ist ein spezifischer Stromverbrauchswert der Kläranlage Oberschleißheim von 32,69 kWh/(E*a) erreichbar. Inwieweit die einzelnen Maßnahmen wirtschaftlich umzusetzen sind, d. h. in Sofort- oder kurzfristigen Maßnahmen, wird in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben.

3.2.1 Einsparpotential Zulaufpumpwerk – Aufstauung des Zulaufschachts

Das auf der Kläranlage Oberschleißheim anfallende Abwasser wird durch das Zulaufpumpwerk von Zulaufschacht in die mechanische Reinigungsstufe gehoben. Die geodätische Förderhöhe beträgt ca. 4 m. Durch Aufstauung des Zulaufschachts um ca. 1 m kann der Stromverbrauch um 22 % reduziert werden. Somit ergibt sich ein Einsparpotential von 923 €/a.

Tabelle 6: Verbesserung der Energieeffizienz durch Aufstauung des Zulaufschachts

	Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/a	spezifischer Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/(E*a)
Stromverbrauch derzeit	23.202	1,71
Stromverbrauch optimiert	18.178	1,34
Einsparung Strombezug	5.024	0,37

Da für diese Maßnahmen keine Investitionen anfallen, ist diese als Sofortmaßnahme anzusehen.

3.2.2 Einsparpotential Zulaufpumpwerk – Austausch des Zulaufpumpwerks

Das Zulaufpumpwerk der Kläranlage Oberschleißheim wurde nach Angaben des Betriebspersonals vor knapp 20 Jahren installiert und besteht aus 4 Pumpen, von denen 2012 alle Pumpen in Betrieb waren. Im Jahr 2012 verbrauchten diese bei einer Fördermenge von 1.786 m³/d insgesamt 23.202 kWh/a, bzw. 1,71 kWh/(E*a). Durch die Aufstauung des Zulaufschachts kann der Stromverbrauch, wie in 3.2.1 beschrieben, auf 18.178 kWh/a, bzw. 1,34 kWh/(E*a) reduziert werden. Der anlagenspezifische Modellwert berechnet sich bei reduzierter Förderhöhe zu 10.724 kWh/a, bzw. 0,79 kWh/(E*a). Somit ergibt sich bedingt durch das hohe Alter des Pumpwerks ein Einsparpotential von 7.440 kWh/a.

Tabelle 7: Verbesserung der Energieeffizienz durch Erneuerung des Zulaufpumpwerks

	Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/a	spezifischer Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/(E*a)
Stromverbrauch nach Aufstauung	18.178	1,34
Stromverbrauch optimiert	10.724	0,79
Einsparung Strombezug	7.440	0,55

Den Stromeinsparungskosten von 1.342 €/a stehen bei Austausch des Zulaufpumpwerks Investitionskosten von 41.400 € entgegen. Folglich ergibt sich ein Kosten-/Nutzen Verhältnis von 2,5 (Anlage 6.5).

Die Maßnahme ist daher als abhängige Maßnahme zu betrachten.

3.2.3 Einsparpotential Rücklaufschlammumpwerk

Das Rücklaufschlammumpwerk der Kläranlage Oberschleißheim wurde nach Angaben des Betriebspersonals vor knapp 20 Jahren installiert und besteht aus 4 Pumpen, von denen 2012 alle Pumpen in Betrieb waren. Der Betrieb des Rücklaufschlammumpwerks (Belebtschlammumpwerk) verbrauchte im Jahr 2012 bei einer Fördermenge von 2.092 m³/d insgesamt 76.143 kWh/a, bzw. 5,6 kWh/(E*a). Der anlagenspezifische Modellwert berechnet sich zu 13.305 kWh/a, bzw. 0,98 kWh/(E*a). Somit ergibt sich bedingt durch das hohe Alter des Pumpwerks ein Einsparpotential von 62.838 kWh/a.

Tabelle 8: Verbesserung der Energieeffizienz durch Erneuerung des Rücklaufschlammumpwerks

	Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/a	spezifischer Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/(E*a)
Stromverbrauch derzeit	76.143	5,6
Stromverbrauch optimiert	13.305	0,98
Einsparung Strombezug	62.838	4,62

Den Stromeinsparungskosten von 11.499 €/a stehen bei Austausch des Belebtschlammumpwerks Investitionskosten von 70.700 € entgegen. Folglich ergibt sich ein Kosten-/Nutzen Verhältnis von 0,5 (Anlage 6.6).

Die Maßnahme ist daher als kurzfristige Maßnahme zu betrachten.

3.2.4 Einsparpotential Sandfangbelüftung

Der Betrieb der Sandfangbelüftung verbrauchte im Jahr 2012 insgesamt 5.798 kWh/a, bzw. 0,43 kWh/(E*a). Der anlagenspezifische Modellwert berechnet sich zu 3.058 kWh/a, bzw. 0,22 kWh/(E*a). Somit ergibt sich ein Einsparpotential von 2.740 kWh/a.

Tabelle 9: Verbesserung der Energieeffizienz durch Erneuerung der Sandfangbelüftung

	Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/a	spezifischer Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/(E*a)
Stromverbrauch derzeit	5.798	0,43
Stromverbrauch optimiert	3.057	0,22
Einsparung Strombezug	2.740	0,21

Den Stromeinsparungskosten von 501 €/a stehen bei Austausch der Sandfanggebläse Investitionskosten von 19.300 € entgegen. Folglich ergibt sich ein Kosten-/Nutzen Verhältnis von 3,2 (Anlage 6.7).

Die Maßnahme ist daher als abhängige Maßnahme zu betrachten.

3.2.5 Einsparpotential Gebläse der Belebung

Die Gebläsestation der Kläranlage Oberschleißheim besteht aus 2 Gebläsen mit 75 kW und 22 kW Nennleistung. Beide Gebläse sind mit Frequenzumformern ausgestattet. Das Gebläse mit der Nennleistung von 75 kW dient zur Grundlastabdeckung und wies 2012 ca. 5.780 Betriebsstunden auf. Das Gebläse mit der Nennleistung von 22 kW wurde 2007 nachgerüstet und dient zur Abdeckung von Spitzenlasten (ca. 1.650 Betriebsstunden). Insgesamt verbrauchte der Betrieb beider Gebläse im Jahr 2012 234.962 kWh/a, bzw. 17,29 kWh/(E*a).

Da die bestehende Gebläsestation lediglich aus einer Grundlast- sowie einer Spitzenlastmaschine besteht, ist eine stufenlose Regelung der Luftmenge nicht möglich. Dies führt zu unnötig hohen Lufteinträgen in der Belebung und damit zu einem erhöhten Stromverbrauch. Es wird daher vorgeschlagen, ein Mittellastgebläse nachzurüsten, um eine stufenlose Regelung des Luftbedarfs zu ermöglichen. Eine Anschlussmöglichkeit für ein drittes Gebläse ist im Gebläseraum der Kläranlage bereits vorgehalten. Darüber hinaus sollte die Grundlastmaschine bei Nachrüsten eines Mittellastgebläses durch eine kleinere Maschine ersetzt werden. Die Spitzenlast- sowie die Grundlastgebläse würden dann mit Festdrehzahl, das Mittellastgebläse mit Frequenzumrichter betrieben.

Durch den stufenlosen Betrieb der Gebläse können bezüglich des Referenzjahres 2012 ca. 31.082 kWh/a Strom eingespart werden.

Tabelle 10: Verbesserung der Energieeffizienz durch Erneuerung der Rührwerke der Belebung

	Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/a	spezifischer Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/(E*a)
Stromverbrauch derzeit	234.962	17,29
Stromverbrauch optimiert	203.880	15,00
Einsparung Strombezug	31.082	2,29

Den Stromeinsparungskosten von 5.688 €/a stehen bei Neuanschaffung eines Mittellast- und eines Grundlastgebläses Investitionskosten in einer Höhe von ca. 42.800 € gegenüber. Somit ergibt sich ein Kosten-/Nutzenfaktor von 0,6.

Die Maßnahme ist daher als kurzfristige Maßnahme anzusehen.

Hinweis: Die Bemessung der neuen Gebläse sollte erst erfolgen, wenn entschieden wurde, ob bzw. in welchem Umfang die in 3.1 beschriebenen Maßnahmen zur verfahrenstechnischen Umstellungen der Kläranlage Oberschleißheim durchgeführt werden. Durch Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung reduziert sich beispielsweise der Luftbedarf in der Belebung, was bei der Bemessung des Gebläses berücksichtigt werden sollte.

3.2.6 Einsparpotential Rührwerke der Belebung

Der Betrieb der Rührwerke der Belebung verbrauchte im Jahr 2012 bei einer Laufzeit von 24 h/d insgesamt 112.314 kWh/a, bzw. 8,26 kWh/(E*a). Bei einem Beckenvolumen von 2 x 1.980 m³ ergibt sich ein anlagenspezifischer Modellwert von 27.752 kWh/a, bzw. 2,04 kWh/(E*a). Somit ergibt sich ein Einsparpotential bei Betrieb der zwei Belebungsbecken von 84.562 kWh/a.

Tabelle 11: Verbesserung der Energieeffizienz durch Erneuerung der Rührwerke der Belebung

	Stromverbrauch/ Stromeinsparung	spezifischer Stromverbrauch/ Stromeinsparung
	kWh/a	kWh/(E*a)
Stromverbrauch derzeit	112.314	8,26
Stromverbrauch optimiert	27.752	2,04
Einsparung Strombezug	84.562	6,22

Den Stromeinsparungskosten von 15.475 €/a stehen bei Austausch der Rührwerke Investitionskosten von 79.100 € entgegen. Folglich ergibt sich ein Kosten-/Nutzen Verhältnis von 0,4 (Anlage 6.9).

Die Maßnahme ist daher als kurzfristige Maßnahme zu betrachten.

Hinweis: Es wird vorgeschlagen, vor Austausch der Rührwerke der Belebung zunächst den Einsatz einer Zeit-/Pausensteuerung der Rührwerke zu untersuchen. Aus den Betriebstagebüchern geht hervor, dass die Rührwerke im Jahr 2012 durchgängig gelaufen sind. Bei einer Reduzierung der Laufzeit um 7,5 - 10 % (4,5 - 6 min/h) ergeben sich bereits Einsparungen beim Strombezug in Höhe von 8.456 - 11.231 kWh/a, bzw. 1.547 - 2055 €/a. Da mit dieser Maßnahme sehr geringe Investitionskosten einhergehen, ist diese als Sofortmaßnahme einzustufen.

3.2.7 Einsparpotential Faulbehälterumwälzung

Die Faulbehälterumwälzung der Kläranlage Oberschleißheim wurde nach Angaben des Betriebspersonals vor knapp 20 Jahren installiert und besteht aus 4 Pumpen, von denen 2012 alle Pumpen in Betrieb waren. Der Betrieb der Umwälzpumpen der beiden Faulbehälter verbrauchte im Jahr 2012 insgesamt 38.465 kWh/a, bzw. 2,83 kWh/(E*a). Der anlagenspezifische Modellwert berechnet sich bei einem Volumen der beiden Faulbehälter von 460 m³ zu 16.735 kWh/a, bzw. 1,23 kWh/(E*a). Somit ergibt sich bedingt durch das hohe Alter des Pumpwerks ein Einsparpotential von 21.730 kWh/a.

Tabelle 12: Verbesserung der Energieeffizienz durch Erneuerung der Umwälzpumpen der Faulung

	Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/a	spezifischer Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/(E*a)
Stromverbrauch derzeit	38.465	2,83
Stromverbrauch optimiert	16.735	1,23
Einsparung Strombezug	21.730	1,60

Den Stromeinsparungskosten von 3.977 €/a stehen bei Austausch der Umwälzpumpen Investitionskosten von 70.700 € entgegen. Folglich ergibt sich ein Kosten-/Nutzen Verhältnis von 1,5 (Anlage 6.10).

Die Maßnahme ist daher als abhängige Maßnahme zu betrachten.

3.2.8 Einsparpotential Faulbehälterbeschickung

Die Faulbehälterbeschickung der Kläranlage Oberschleißheim wurde nach Angaben des Betriebspersonals vor knapp 20 Jahren installiert und besteht aus 4 Pumpen, von denen 2012 alle Pumpen in Betrieb waren. Der Betrieb der Beschickungspumpen der beiden Faulbehälter verbrauchte im Jahr 2012 insgesamt 24.681 kWh/a, bzw. 1,82 kWh/(E*a). Der anlagenspezifische Modellwert berechnet sich zu 265 kWh/a, bzw. 0,02 kWh/(E*a). Somit ergibt sich ein Einsparpotential von 24.416 kWh/a. Der hohe Stromverbrauch im Jahr 2012 ist unter anderem durch das hohe Alter der Pumpen begründet.

Tabelle 13: Verbesserung der Energieeffizienz durch Erneuerung der Faulbehälterbeschickung

	Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/a	spezifischer Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/(E*a)
Stromverbrauch derzeit	24.681	1,82
Stromverbrauch optimiert	265	0,02
Einsparung Strombezug	24.416	1,80

Den Stromeinsparungskosten von 4.468 €/a stehen bei Austausch der Beschickungspumpen Investitionskosten von 43.600 € entgegen. Folglich ergibt sich ein Kosten-/Nutzen Verhältnis von 0,8 (Anlage 6.11).

Die Maßnahme ist daher als kurzfristige Maßnahme zu betrachten.

3.2.9 Einsparpotential Beschickung des Schlammstapelspeichers

Der Betrieb der Beschickungspumpen des Schlammstapelspeichers verbrauchte im Jahr 2012 insgesamt 3.151 kWh/a, bzw. 0,23 kWh/(E*a). Der anlagenspezifische Modellwert berechnet sich zu 163 kWh/a, bzw. 0,01 kWh/(E*a). Somit ergibt sich ein Einsparpotential von 2.988 kWh/a.

Tabelle 14: Verbesserung der Energieeffizienz durch Erneuerung der Beschickungspumpen des Schlammstapelspeichers

	Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/a	spezifischer Stromverbrauch/ Stromeinsparung kWh/(E*a)
Stromverbrauch derzeit	3.151	0,23
Stromverbrauch optimiert	163	0,01
Einsparung Strombezug	2.998	0,22

Den Stromeinsparungskosten von 547 €/a stehen bei Austausch der Beschickungspumpen Investitionskosten von 27.800 € entgegen. Folglich ergibt sich ein Kosten-/Nutzen Verhältnis von >> 1 (Anlage 6.12).

Die Maßnahme ist daher als abhängige Maßnahme zu betrachten

3.2.10 Optimierung der Infrastruktur

Bei den elektrischen Energieverbrauchern für die betriebstechnischen Einrichtungen (Beleuchtung, Belüftung, Heizung usw.) zeigte sich im

Vergleich zu den Erfahrungswerten aus der Literatur kein erhöhter Stromverbrauch. Eine genaue Analyse der einzelnen Verbraucher war im Rahmen dieser Studie nicht möglich, zumal keine detaillierten Aufzeichnungen der Kläranlage vorhanden sind.

Ein einzelner Verbraucher oder eine Verbrauchergruppe mit deutlich erhöhtem Verbrauch konnte nicht lokalisiert werden. Grundsätzlich können folgende allgemeine Empfehlungen gegeben werden (s. Müller et al., 1999):

1) Abluftanlage

- Abluftabsaugung nur soviel wie nötig, Bereiche lokal begrenzen
- Kühlung der Räume nur soweit erforderlich
- Ausrüstung der Ventilatoren mit Frequenzumrichtern

2) Infrastruktur

- Optimierung der Brauchwasseranlage durch Vermeidung von Verlusten und optimierten Aggregaten
- Überprüfung der Druckluftanlage hinsichtlich Leckageverlusten und Wirkungsgrad der Aggregate

3) Betriebsgebäude

- Optimierung der Beleuchtung durch Überprüfung des Bedarfs (Raum, Tätigkeit), Einsatz von energieeffizienten Lampen, tageslicht- und bedarfsabhängige Beleuchtungssteuerung
- Optimierung von Raumlüftungs- und Raumkühlungsanlagen (z.B. Reduktion der Einschaltdauer, Erhöhung der Raumtemperatur im Sommer)
- Einsatz von Geräten mit niedrigem Energieverbrauch
- Konsequentes Abschalten von Geräten (Vermeidung von Stand by-Betrieb)

3.3 *Einsparpotential Wärmebedarf und Eigenstromerzeugung*

Auf der Kläranlage Oberschleißheim wird Wärme für die anaerobe Schlammbehandlung (Faulbehälter) und für die Heizung der Gebäude benötigt. Diese wurde im Bezugsjahr 2012 durch die Verwertung des Faulgases über das bestehende BHKW (bis Dezember 2012) sowie durch die Verbrennung von Heizöl erzeugt. Im Folgenden werden die Einsparpotentiale des Wärmebedarfs sowie Möglichkeiten zur Eigenstromerzeugung untersucht.

3.3.1 *Faulbehälter- / Gebäudedämmung*

Die Faulbehälter der Kläranlage Oberschleißheim besitzen eine Dämmung, welche in einem guten Zustand ist. Zudem stehen die Faulbehälter in einem Gebäude, wodurch deren Abstrahlverluste zur Heizung des Gebäudes genutzt werden können. Eine Erneuerung der Dämmung der Faulbehälter wird als nicht notwendig angesehen.

In Anlage 4 sind verschiedene Dämmungsmaßnahmen (Gebäude-
dämmung; Gebäudedämmung und neue Fenster) beschrieben, durch
die zwischen 36.186 kWh/a und 42.217 kWh/a Wärmeenergie einge-
spart werden können. Dies entspricht Ölkosteneinsparungen zwischen
3.980 €/a und 4.644 €/a. Bei der überschlägigen Überrechnung der In-
vestitionskosten für die Dämmungsmaßnahmen ergaben sich Kosten-
/Nutzen Faktoren von $\gg 1$. Die Maßnahmen zur Gebäudedämmung
sind aus wirtschaftlicher Sicht daher nicht sinnvoll.

Die Maßnahmen zur Gebäudedämmung werden folglich als abhängige
Maßnahmen betrachtet.

3.3.2 *Eigenstromerzeugung durch ein Klärgas-BHKW*

Auf der Kläranlage Oberschleißheim war bis Dezember 2012 ein
BHKW zur Eigenstromerzeugung vorhanden, über welches das Faul-
gas verwertet wurde. Das BHKW wies zuletzt einen elektrischen Wir-
kungsgrad von 21 % sowie einen thermischen Wirkungsgrad von 49 %
auf, welche als sehr niedrig einzustufen sind. Die Gründe dafür lagen
vor allem im hohen Alter des BHKWs.

Durch ein neues effizientes BHKW mit einem Gasverbrauch von 15,3
m³/h sowie 55 kW thermischer Leistung und 30 kW elektrischer Lei-
stung, können bezüglich des Gasanfalls 2012 insgesamt 117.688 kWh/a
Strom und 215.762 kWh/a Wärmeenergie erzeugt werden. Darüber
hinaus fördert das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
(BAFA) bei Nutzung der Abwärme jede erzeugte Kilowattstunde mit
5,41 Cent über einen Zeitraum von 10 Jahren. Entsprechend ist mit ei-
nem Gesamtzuschuss von etwa 63.669 € zu rechnen. Die Kosten für
den Betrieb der Anlage belaufen sich auf ca. 5.500 €/a.

Insgesamt ergeben sich Investitionskosten für die BHKW-Anlage inklu-
sive einem BHKW-Container von rund 235.600 €. Das Kosten-
/Nutzenverhältnis beträgt somit 0,5 (Anlage 6.13).

Daher ist diese Maßnahme als kurzfristige Maßnahme anzusehen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass durch die in 3.1 beschriebenen Maß-
nahmen der Klärgasanfall erhöht werden kann, wodurch sich eine wei-
tere Verbesserung des Kosten-/Nutzenverhältnisses ergibt.

3.3.3 *Eigenstromerzeugung durch ein Klärgas-BHKW mit Erdgas Regelstrecke*

Durch die Nähe zum Erdgasnetz bietet es sich auf der Kläranlage
Oberschleißheim an, ein Klärgas-BHKW mit Erdgas Regelstrecke zu
installieren. Den Berechnungen wurde ein BHKW mit 50 kW elektri-
scher und 79 kW thermischer Leistung sowie einem Klärgasverbrauch
von 23,1 m³/h und einem Erdgasverbrauch von 14,3 m³/h zugrunde ge-
legt.

Es wird das gesamte Klärgas über das BHKW verwertet. Da die damit
erzeugte Wärmeenergie nicht ausreicht, um den gesamten Wärmebe-

darf der Kläranlage zu decken, wird zusätzlich Erdgas bezogen und ebenfalls über das BHKW verwertet. Sofern die Wärme, welche über das BHKW durch die Verbrennung von Erdgas erzeugt wurde, auf der Kläranlage verwertet wird, entfällt für den Bezug des Erdgases die Mineralölsteuer. Spitzen des Wärmebedarfs, die nicht durch das BHKW abgedeckt werden können, werden durch die Ölheizung ausgeglichen.

Bei einem Gesamtwärmebedarf der Kläranlage Oberschleißheim im Jahr 2012 von insgesamt 484.891 kWh/a und einem Klärgasanfall von 59.792 Nm³/a ergibt sich ein Erdgasbedarf von 47.381 m³/a. Dies entspricht Erdgaskosten von 30.798 €/a. Über das BHKW können so insgesamt 295.583 kWh/a Eigenstrom und 467.022 kWh/a Wärmeenergie produziert werden. Um die Spitzen des Wärmebedarfs abzudecken, sind zusätzlich 2.234 l/a Heizöl (Heizölkosten 2.010 €/a) notwendig.

Das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) fördert bei Nutzung der Abwärme jede erzeugte Kilowattstunde mit 5,41 Cent über einen Zeitraum von 10 Jahren. Entsprechend ist mit einem Gesamtzuschuss von etwa 159.910 € zu rechnen. Die Investitionskosten für die BHKW-Anlage inklusive BHKW-Container sowie für das Verlegen von ca. 450 m Erdgasleitung belaufen sich auf insgesamt 457.000 €. Somit ergibt sich ein Kosten-/Nutzenverhältnis von 0,7.

Daher ist diese Maßnahme als kurzfristige Maßnahme anzusehen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass durch die in 3.1 beschriebenen Maßnahmen der Klärgasanfall erhöht werden kann, wodurch sich eine weitere Verbesserung des Kosten-/Nutzenverhältnisses ergibt.

3.3.4 *Eigenstromerzeugung durch eine Photovoltaikanlage*

Unter einer Photovoltaikanlage versteht man eine Solarstromanlage, in der mittels Solarzellen die Sonnenstrahlung direkt in elektrische Energie umgewandelt wird. Diese kann entweder vor Ort genutzt oder ins Stromnetz eingespeist werden. Die Einspeisung wird entsprechend der im EEG geregelten Förderungen vergütet.

Vergleicht man die aktuellen Einspeisevergütungen mit den Strombezugskosten der Kläranlage Oberschleißheim im Jahr 2012 (18,3 Cent/kWh), so fällt auf, dass die Einspeisevergütung deutlich unter den Strombezugskosten liegen. Vor allem in Anbetracht der zu erwartenden Strompreissteigerung ist aus wirtschaftlicher Sicht daher anzustreben, einen möglichst großen Teil des durch die Photovoltaikanlage erzeugten Stroms selbst zu verbrauchen. Kläranlagen weisen durch den durchgehenden Betrieb von elektrischen Anlagen dafür im Allgemeinen sehr gute Voraussetzungen auf.

Auf der Kläranlage Oberschleißheim gibt es verschiedene Möglichkeiten, eine Photovoltaikanlage zu installieren. Voraussetzung für eine hohe Ertragserwartung ist eine möglichst geringe Verschattung der Anlage durch beispielsweise Gebäude, Bäume oder Schnee. Darüber hinaus haben sowohl die Neigung als auch die Ausrichtung der Anlage einen Einfluss auf den Stromertrag (siehe folgende Abbildung)

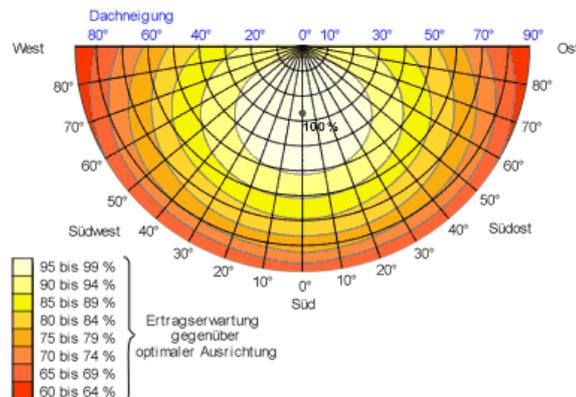


Abbildung 5: Einfluss der Ausrichtung und Neigung der Photovoltaikanlage auf den Stromertrag

Das Satteldach des Betriebsgebäudes der Kläranlage Oberschleißheim bietet bei einer Neigung von 18° beispielsweise eine ausreichende Fläche für die Installation einer Photovoltaikanlage. Da die Dachflächen nach Osten und Westen ausgerichtet sind, ist mit einer Ertragsminderung von ca. 10 % zu rechnen.

Außerdem ist das Dach des Betriebsgebäudes nicht eben. Daher kommt es auf dem Dach zu Verschattungen. Diese Bereiche sollten für die Installation einer Photovoltaikanlage ausgeschlossen werden.

Es wird vorgeschlagen, die für die Installation einer Photovoltaikanlage nutzbare Dachfläche zeitnah zu analysieren. Durch die Installation einer Photovoltaikanlage kann der Eigenstromerzeugungsgrad zusammen mit der Inbetriebnahme eines neuen BHKWs signifikant gesteigert werden.

Bei einer nutzbaren Dachfläche von beispielsweise 300 m², was ca. 1/3 der gesamten Dachfläche entspricht, können 30.213 kWh/a Eigenstrom produziert werden. Dies entspricht Einsparungen beim Strombezug in einer Höhe von 5.530 €/a. Dem stehen Investitionskosten von ca. 66.900 € entgegen. Somit ergibt sich ein Kosten-/Nutzenverhältnis von 0,8.

Die Installation einer Photovoltaikanlage ist daher als kurzfristige Maßnahme einzustufen.

Es sollte darauf hingewiesen werden, dass der eigenproduzierte Strom möglichst für den Eigenverbrauch genutzt wird. Übersteigt der Stromertrag den Eigenbedarf, muss der überschüssige Strom eingespeist werden, was zu einer Verschlechterung des Kosten-/Nutzenverhältnisses führt. Es ist daher empfehlenswert, die Photovoltaikanlage auf die zu erwartende Eigenstromproduktion des BHKWs abzustimmen, um ein optimales wirtschaftliches Ergebnis zu erzielen.

3.4 Resümee zu den Maßnahmen

In der folgenden Tabelle sind die Maßnahmen, die zu Einsparungen beim Strombezug führen, zusammengefasst.

Tabelle 15: Maßnahmentabelle

Nr.	Maßnahmen	Einsparung Strombezug/ Substitution	Schätz- Kosten	Kosten/ Nutzen- verhältnis
		kWh/a	€	-
S1	Aufstauung des Zulaufschachts	5.024	0	-
S2	Zeit-Pausensteuerung der Rührwerke der Denitrifikation	8.456	0	-
K1.1	Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung bei thermophil-mesophiler Faulung	186.761	28.600	0,2
K1.2	Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung bei mesophiler Faulung	186.761	28.600	0,2
K1.3	Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung bei mesophiler Faulung mit Primärschlammeindickung	186.761	242.000	0,8
K2	Erneuerung Rücklaufschlamm-pumpwerk	62.838	70.700	0,5
K3	Erneuerung Gebläse der Belebung	31.082	42.800	0,6
K4	Erneuerung Rührwerke der Belebung	84.562	79.100	0,4
K5	Erneuerung der Beschickungspumpen der Faulung	24.416	43.600	0,8
K6.1	Anschaffung eines Klärgas-BHKWs (30 kW)	117.688	235.600	0,5
K6.2	Anschaffung eines Klärgas-BHKWs mit Erdgasregelstrecke (50 kW)	295.583	457.000	0,7
K7	Installation einer Photovoltaikanlage	30.213	66.900	0,8

A1	Erneuerung Sandfangbelüftung	2.740	19.300	3,2
A2	Erneuerung Zulaufpumpwerk	7.440	41.400	2,5
A3	Erneuerung Umwälzpumpen der Faulung	21.730	70.700	1,5
A4	Erneuerung der Beschickungspumpen des Schlammstapelspeichers	2.998	27.800	>>1

Insgesamt ist mit den vorgeschlagenen kurzfristigen Maßnahmen zum Austausch der energetisch ineffizienten Aggregate (K2 – K5) eine Reduzierung des Stromverbrauchs um 216.378 kWh/a auf 479.942 kWh/a bzw. 35,3 kWh/(E*a) zu erreichen. Dies entspricht einer Reduzierung von ca. 31 % im Vergleich zum Stromverbrauch im Bezugsjahr 2012. Unter zusätzlicher Berücksichtigung aller abhängigen Maßnahmen kann der Stromverbrauch auf 444.257 bzw. 32,7 kWh/(E*a) reduziert werden. Die folgende Abbildung zeigt den Stromverbrauch der Kläranlage Oberschleißheim in Abhängigkeit der beschriebenen Maßnahmen.

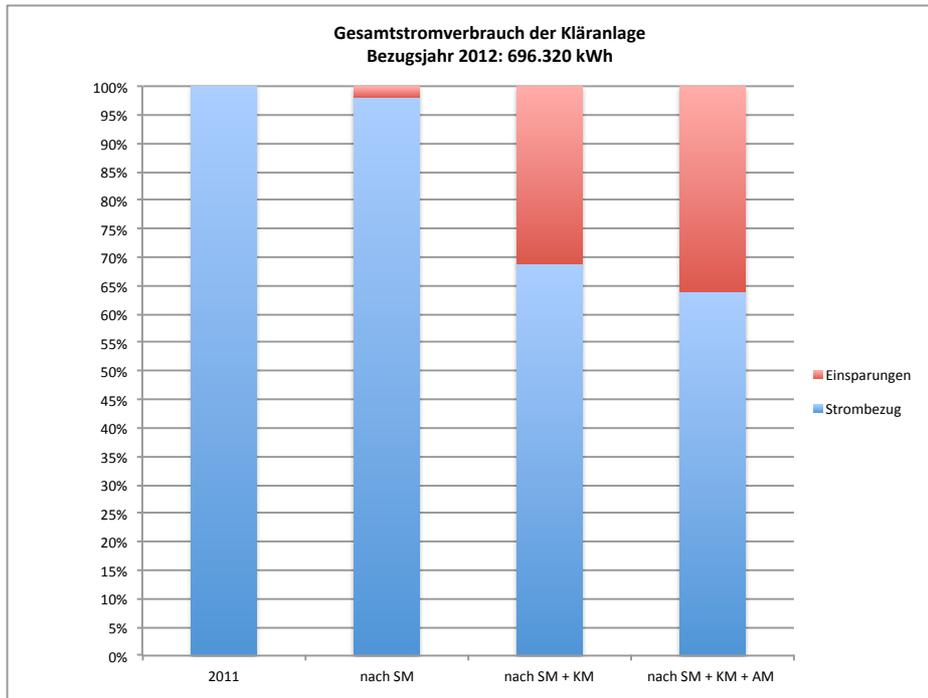


Abbildung 6: Stromverbrauch in Abhängigkeit der durchgeführten Maßnahmen

Zudem kann durch die Anschaffung eines BHKWs mit 30 kW elektrischer Leistung bezüglich des Klärgasanfalls 2012 insgesamt 117.688 kWh/a Eigenstrom produziert werden. Darüber hinaus kann durch die

unter K1 zusammengefassten verfahrenstechnischen Umstellungen der Kläranlage Oberschleißheim der Strombedarf in der Belebung um 45.000 kWh/a reduziert und der Klärgasertrag signifikant gesteigert werden, was bei Verwertung des Klärgases durch das BHKW einer zusätzlichen Eigenstromerzeugung von 141.761 kWh/a entspricht. Zusammen mit der Installation einer Photovoltaikanlage mit 300 m² Fläche kann somit der Strombezug um weitere 334.662 kWh/a gesenkt werden. Bezieht man die Einsparungen und die Energiesubstitution auf den Strombezug, so ergibt sich nachfolgendes Bild.

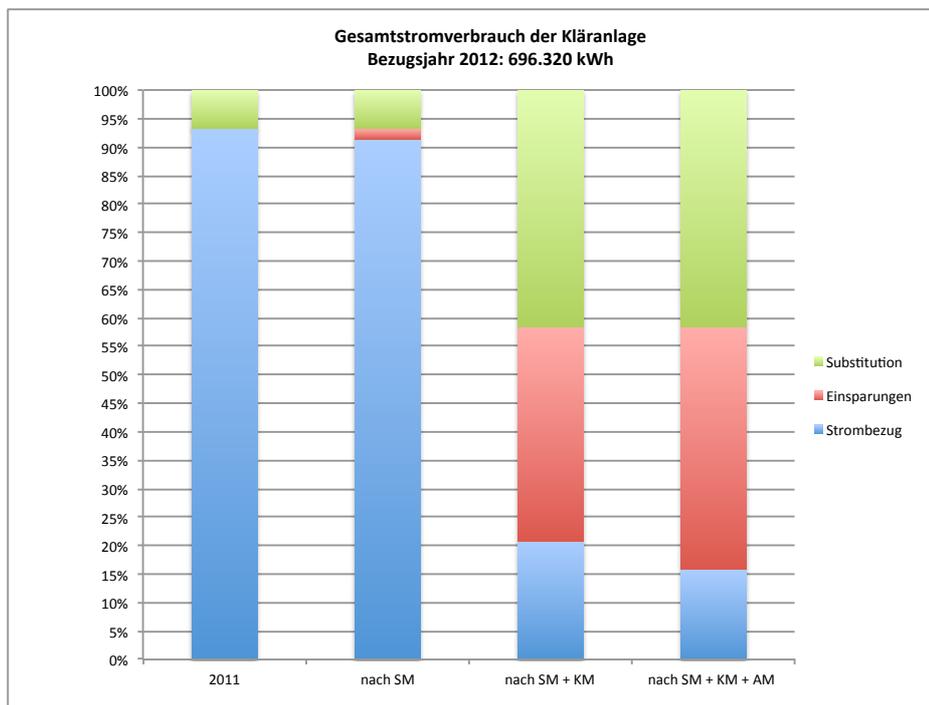


Abbildung 7: Strombezug in Abhängigkeit der durchgeführten Maßnahmen (mit K6.1: Klärgas-BHKW, 30 kW)

Wie in der Abbildung ersichtlich, kann der Strombezug von 93 % im Jahr 2012 bei Durchführung aller Sofort- und kurzfristigen Maßnahmen auf 21 % und bei zusätzlicher Durchführung der abhängigen Maßnahmen auf 16 % reduziert werden.

Wie in 3.3.3 beschrieben, bietet sich aufgrund der Nähe der Kläranlage Oberschleißheim zum Erdgasnetz (ca. 450 m) die Installation eines Klärgas-BHKWs mit 50 kW elektrischer Leistung und einer Erdgasregelstrecke an. Bezüglich des Referenzjahres 2012 (Klärgasanfall und Wärmebedarf der Kläranlage) können durch ein Erdgas BHKW bei Verwertung des gesamten Klärgases sowie 47.381 m³/a Erdgas fast der gesamte Wärmebedarf der Kläranlage Oberschleißheim abgedeckt werden. Zur Abdeckung der Spitzen des Wärmebedarfs, beispielsweise im Winter, sind insgesamt nur noch 2.234 l/a Heizöl erforderlich. Wie in 3.3.3 gezeigt, kann mit der Installation eines Klärgas BHKWs mit Erd-

gasregelstrecke insgesamt 295.583 kWh/a Eigenstrom erzeugt werden. Bezieht man die Einsparungen und die Energiesubstitution auf den Strombezug, so ergibt sich nachfolgendes Bild.

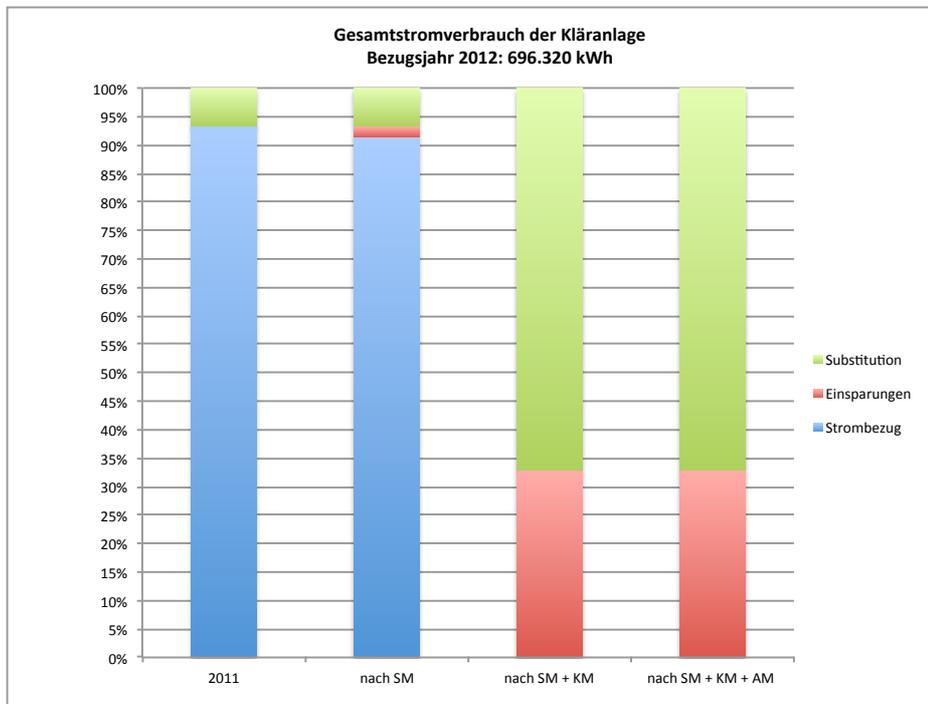


Abbildung 8: Strombezug in Abhängigkeit der durchgeführten Maßnahmen (mit K6.2: Klärgas-BHKW mit Erdgasregelstrecke, 50 kW)

Wie in Abbildung 8 ersichtlich, kann der Strombezug somit bei Durchführung aller Sofort- und kurzfristigen Maßnahmen auf 0% reduziert werden. Die Kläranlage wäre folglich stromautonom.

Neben den Maßnahmen zur Stromeinsparung können durch Umstellung der Faulung von thermophil-mesophiler Faulung auf mesophile Faulung bezüglich des Referenzjahres 2012 insgesamt 136.900 kWh/a Wärmeenergie eingespart werden. Die Maßnahmen zur Gebäudedämmung erwiesen sich als nicht wirtschaftlich.

3 Weiteres Vorgehen, Ergebnisprüfung

Es wird folgendes Vorgehen zur Umsetzung der Maßnahmen vorgeschlagen:

Zunächst sollten die Sofortmaßnahmen zeitnah ausgeführt werden. Diese beinhalten die Aufstauung des Zulaufsschachts, um die Förderhöhe der Zulaufpumpen zu reduzieren sowie die Installation einer Zeit-Pausensteuerung der Rührwerke der Belebung.

Darüber hinaus wird empfohlen, die zweistufige thermophil-mesophile Faulung auf eine einstufige mesophile Faulung umzustellen. Dies kann wie in 3.1.1 durch den Umbau der bestehenden Faulungsanlage erfolgen. Aus Gründen der Betriebssicherheit wird aber der Neubau eines Faulbehälters in Form eines speziell für Kläranlagen ausgelegten Wickelfalz-Faulbehälters mit einem Volumen von 400 m³ empfohlen (vgl. 3.1.2.2). Dieser kann zusammen mit dem bereits vorhandenen mesophilen Faulbehälter betrieben werden.

Zudem sollte die Maßnahme K1.2 schnellstmöglich umgesetzt werden. Diese besteht zum einen aus der Reduzierung des Schlammalters in der Belebung und der Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung. Durch die Reduzierung des Schlammalters sowie die Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung kann der Biogasertag rechnerisch verdoppelt werden.

Außerdem sollte das defekte BHKW zeitnah ersetzt werden. Durch die Nähe zum Erdgasnetz und den zu erwartenden Preissteigerungen des Heizöls wird vorgeschlagen, ein 50 kW BHKW mit Erdgasregelstrecke zu installieren.

Zudem wird empfohlen, aufgrund der vergangenen und noch zu erwartenden Strompreissteigerungen, eine Photovoltaikanlage zur Eigenstromproduktion auf der Kläranlage Oberschleißheim zu installieren.

Die in den Maßnahmen K2 – K5 dargestellten Aggregate sollten zeitnah erneuert werden. Die Effektivität dieser Maßnahmen sollte durch das Betriebspersonal der Kläranlage Oberschleißheim überprüft und dokumentiert werden. Es wird empfohlen, die Überprüfung entsprechend des Arbeitsblatts DWA-A 216 [2] durchzuführen. Dazu sollten an allen ausgetauschten Aggregaten gezielt Strommessgeräte installiert werden, um den jährlichen Stromverbrauch der Aggregate einzeln messen zu können. Im nächsten Schritt ist auf Grundlage der maßgebenden mittleren CSB-Fracht des entsprechenden Jahres der zugehörige Einwohnerwert zu ermitteln. Durch Division des jährlichen Stromverbrauchs eines Aggregats durch den Einwohnerwert ergibt sich der spezifische Stromverbrauch des Aggregats mit der Einheit kWh/(E*a). Dieser Wert dient als Kennwert zur Überprüfung der Effizienz der durchgeführten Maßnahme und kann mit den Modell- bzw. Zielwerten verglichen werden. In Abbildung 9 ist die vorgeschlagene Vorgehensweise graphisch dargestellt.

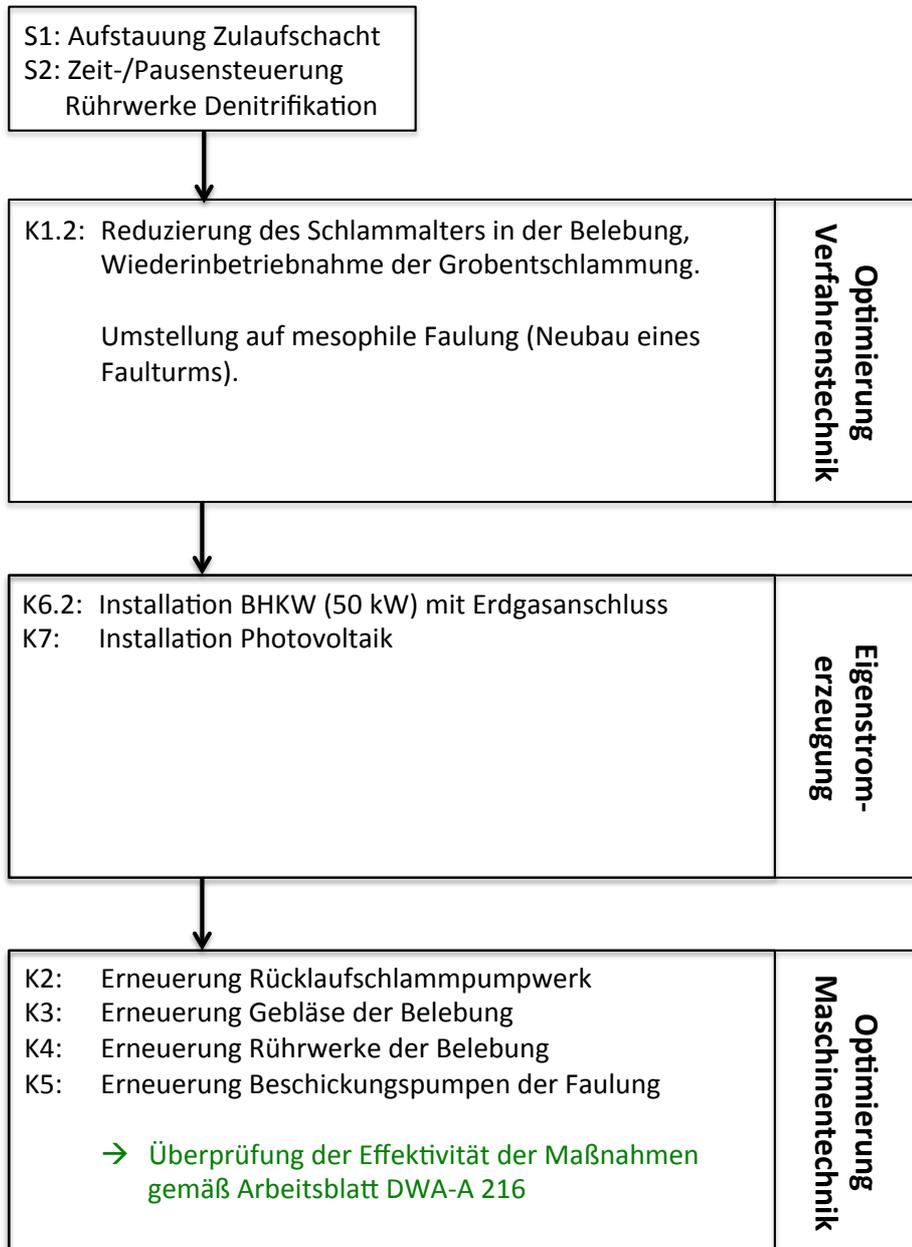


Abbildung 9: Vorgeschlagenes Vorgehen zur Umsetzung der Maßnahmen

Um die bestmöglichen Ergebnisse zu erreichen, wird die GFM Beratende Ingenieure GmbH eine Schulung des Betriebspersonals der Kläranlage Oberschleißheim vornehmen und die Durchführung der Maßnahmen sowie das zukünftige Vorgehen zur Überprüfung der Effektivität der Ergebnisse detailliert erläutern. Darüber hinaus werden die Ergebnisse dieser Studie zur allgemeinen Einsicht entsprechend der Vorgaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Internet veröffentlicht.

4 Zusammenfassung

Die Studie zur energetischen Optimierung der Kläranlage Oberschleißheim wurde unter Berücksichtigung des Anforderungskataloges des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit durchgeführt. Im Rahmen der Studie erfolgten eine umfassende Bestandsaufnahme sowie eine detaillierte energetische und verfahrenstechnische Untersuchung der Kläranlage. Daraus wurden konkrete Energiesparmaßnahmen sowie verfahrenstechnische Umstellungen zur Reduzierung des Strombezugs oder des Ankaufs anderer fossiler Energieträger wie Erdöl ausgearbeitet.

Der Stromverbrauch der Kläranlage Oberschleißheim betrug im Jahr 2011 rund 696.320 kWh. Daraus ergibt sich bei Ansatz der mittleren Belastung von 13.592 E ein spezifischer Verbrauch von 51,23 kWh/(E*a). Dieser Wert wird von 80 % der deutschen Kläranlagen unterschritten und ist als hoch einzustufen.

Die einzelnen ausgearbeiteten Maßnahmen wurden in verschiedene Maßnahmengruppen (Sofort- (S), kurzfristige (K) und abhängige (A) Maßnahmen) eingeteilt. Die betroffenen Anlagenteile bzw. Aggregate sind in Tabelle 14 dargestellt.

Insgesamt ist mit den vorgeschlagenen kurzfristigen Maßnahmen zum Austausch der energetisch ineffizienten Aggregate (K2 – K5) eine Reduzierung des Stromverbrauchs um 216.378 kWh/a auf 479.942 kWh/a bzw. 35,3 kWh/(E*a) zu erreichen. Dies entspricht einer Reduzierung von ca. 31 % im Vergleich zum Stromverbrauch im Bezugsjahr 2012. Unter zusätzlicher Berücksichtigung aller abhängigen Maßnahmen kann der Stromverbrauch auf 444.257 bzw. 32,7 kWh/(E*a) reduziert werden.

Zudem kann durch die Anschaffung eines BHKWs mit 30 kW elektrischer Leistung bezüglich des Klärgasanfalls 2012 insgesamt 117.688 kWh/a Eigenstrom produziert werden. Darüber hinaus kann durch die unter K1 zusammengefassten verfahrenstechnischen Umstellungen (Reduzierung des Schlammalters und Wiederinbetriebnahme der Grobentschlammung) der Kläranlage Oberschleißheim der Strombedarf in der Belebung rechnerisch um 45.000 kWh/a reduziert und der Klärgasertrag signifikant gesteigert werden, was bei Verwertung des Klärgases durch das BHKW einer zusätzlichen Eigenstromerzeugung von 141.761 kWh/a entspricht. Zusammen mit der Installation einer Photovoltaikanlage mit 300 m² Fläche kann somit der Strombezug um weitere 334.662 kWh/a gesenkt werden.

Wie in der Abbildung 7 ersichtlich, kann der Strombezug somit bei Durchführung aller Sofort- und kurzfristigen Maßnahmen und bei Installation eines Klärgas-BHKWs mit 30 kW elektrischer Leistung (K6.1) auf 21 % und bei zusätzlicher Durchführung der abhängigen Maßnahmen auf 16 % reduziert werden.

Wie in 3.3.3 beschrieben, bietet sich aufgrund der Nähe der Kläranlage Oberschleißheim zum Erdgasnetz (ca. 450 m) die Installation eines

Klärgas-BHKWs mit 50 kW elektrischer Leistung und einer Erdgasregelstrecke an. Bezüglich des Referenzjahres 2012 (Klärgasanfall und Wärmebedarf der Kläranlage) können durch ein Erdgas BHKW bei Verwertung des gesamten Klärgases sowie 47.381 m³/a Erdgas fast der gesamte Wärmebedarf der Kläranlage Oberschleißheim abgedeckt werden. Zur Abdeckung der Spitzen des Wärmebedarfs, beispielsweise im Winter, sind insgesamt nur noch 2.234 l/a Heizöl erforderlich. Durch Installation eines Klärgas BHKWs mit Erdgasregelstrecke können insgesamt 295.583 kWh/a Eigenstrom erzeugt werden.

Wie in der Abbildung 8 ersichtlich, kann der Strombezug somit bei Durchführung aller Sofort- und kurzfristigen Maßnahmen und bei Installation eines Klärgas-BHKWs mit Erdgasregelstrecke und 50 kW elektrischer Leistung (K6.2) auf 0% reduziert werden. Die Kläranlage wäre folglich stromautonom.

Derzeit ist die Kläranlage Oberschleißheim mit einer zweistufigen thermophil-mesophilen Faulung ausgeführt. Aufgrund der in 3.1.1 beschriebenen Gründe, sollte die Faulung von thermophil-mesophiler Faulung auf mesophile Faulung umgestellt werden. Bezüglich des Referenzjahres 2012 können durch die Umstellung insgesamt 136.900 kWh/a Wärmeenergie bzw. 17.113 l Heizöl eingespart werden. Da durch den Umbau der bestehenden Faulung auf eine mesophile Faulung die Aufenthaltszeiten des Faulschlammes in den Faulbehältern nur knapp über den minimal notwendigen Aufenthaltszeiten liegen, wird aus Gründen der Betriebssicherheit der Neubau eines zusätzlichen Faulturms auf dem Gelände der Kläranlage Oberschleißheim empfohlen. Durch den Neubau eines Faulbehälters ist der in 3.1.1 beschriebene Umbau der bestehenden thermophil-mesophilen Faulung auf eine einstufige mesophile Faulung nicht notwendig. Der bestehende mesophile Faulbehälter kann zusammen mit dem neuen Faulbehälter weiterhin betrieben werden, während der kleinere, thermophile Faulturm als Schlamm-speicher genutzt werden kann.

Literatur

- [1] ATV-DVWK-A 198; Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen; April 2003
- [2] DWA; Arbeitsgruppe A-216, Gelbdruck des A-216
- [3] LAWA; Länderarbeitsgemeinschaft Wasser: Kostenvergleichsrechnung (KVR) nach der Leitlinie zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (7. Auflage 2005)
- [4] DWA; Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131, Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen
- [5] Taschenbuch der Stadtentwässerung, Karl und Klaus R. Imhoff, 28. Auflage, Oldenbourg 1993. ISBN 3-486-26332-3