

BMU – Umweltinnovationsprogramm

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

Energetische Optimierung der Kläranlage Isselburg

KfW-AZ-MBc3-001920

Fördernehmer

Stadt Isselburg

Laufzeit des Vorhabens

27.09.2011 bis 31.05.2018

Autoren

Bürgermeister Michael Carbanje (Stadt Isselburg)

Dipl.-Ing. Hilmar Klemm (Kommunal Agentur NRW)

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Stand der Bearbeitung: 27.11.2018

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA:KfW-AZ-MBc3	Projekt-Nr.:001920
TiteldesVorhabens: Energetische Optimierung der Kläranlage Isselburg	
Autor/-en (Name, Vorname): Bürgermeister Michael Carbanje Dipl.-Ing. Hilmar Klemm	Vorhabenbeginn: 09.2011 Vorhabenende: 30.05.2018
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): Stadt Isselburg Minervastr. 12, 46419 Isselburg	Veröffentlichungsdatum: 12.11.2018 Seitenzahl: 41
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit	
Kurzfassung: Die Kläranlage Isselburg wurde mit dem Ziel umgebaut, die Energie- und Betriebsmittelkosten zu senken und die Reinigungsleistung nach der Reduzierung der Überwachungswerte für das abzuleitende Abwasser mit der neuen Genehmigung zu verbessern. Der vollständige Umbau der biologischen Reinigungsstufe sowie der Ersatz verschiedener Zusatzaggregate hat es möglich gemacht, den spezifischen Stromverbrauch von 53,4 auf 31,36 kWh/(E * a) zu senken und die aktuellen Überwachungswerte einzuhalten.	
Schlagwörter: Reduzierung des Energieverbrauchs, CO2-Minimierung, Verbesserung der Reinigungsleistung, gleichbleibende Personalkosten, Optimierung der Anlagenbedienung	
Anzahl der gelieferten Berichte: 12 Papierform: 10 Elektronischer Datenträger: 2	Sonstige Medien: Nein Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite des UBA

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency:KfW-AZ-MBc3	Project-No.:001920
Report Title: Energetic Improvement of the Isselburg sewage treatment plant	
Author/Authors (Family Name, First Name): Mayor Michael Carbanje Graduate engineer Hilmar Klemm	Start of project: 09.2011 End of project: 30.05.2018
Performing Organisation (Name, Address): City of Isselburg Minervastr. 12, 46419 Isselburg	Publication Date: 12.11.2018
	No. of Pages: 41
Funded in the Environmental InnovationProgramme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.	
Summary: The sewage treatment plant of the city of Isselburg was modified with the aim to reduce the specific energy-consumption, operating costs and to increase the sewage cleaning performance after the decrement of the limit-values for the treated wastewater. The complete modification of the organic wastewater treatment and the replacement of several additional aggregates allowed to reduce the specific energy-consumption from 53,4 to 31,36 kWh/(E x a). At the same time it is possible to abide the new limit-values for treated wastewater.	
Keywords: Reducing the specific energy-consumption, no changes at the operating costs, increase the sewage cleaning performance, observance of the limit-values for treated wastewater	

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Erfolgskontrolle.....	1
1.2	Verwendungsnachweis.....	1
1.3	Empfänger der Fördermittel	1
1.4	Ausgangssituation.....	2
1.5	Hinweis zum spezifischen Stromverbrauch.....	3
2.	Vorhabensumsetzung	3
2.1	Ziele des Vorhabens.....	3
2.2	Betrachtung der Einzelkomponenten.....	4
2.2.1	Mechanische Abwasserreinigung.....	4
2.2.2	Biologische Abwasserreinigung	4
2.2.2.1	Außerbetriebnahmen	4
2.2.3	Schlammbehandlung	4
2.3	Darstellung der technischen Lösung.....	5
2.3.1	Abwasserbehandlung	5
2.3.2	Schlammbehandlung	5
2.4	Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	5
2.4.1	Maßnahmenübersicht	6
2.4.2	Umbau des Beckens zur Phosphorelimination zur Kaskade 1.....	6
2.4.3	Umbau des Denitrifikationsbeckens zur Kaskade zwei	7
2.4.4	Umbau des Nitrifikationsbeckens zur Kaskade 3.....	9
2.4.5	Umbau der Gebläsestation.....	11
2.4.5.1	Kranbahn in der Gebläsestation	14
2.4.5.2	Betriebliche Erfahrungen.....	14
2.4.6	Umbau des Rücklaufschlammumpwerks	15
2.4.7	Neubau einer Filtrationsanlage	16
2.4.7.1	Pumpwerk zur Beschickung der Filteranlage	16
2.4.7.2	Kontinuierlich gespülte Sand- Filteranlage.....	18
2.4.7.2.1	Restdenitrifikation.....	20
2.4.7.2.2	Feststoffabtrennung.....	20
2.4.7.2.3	Phosphorreduzierung.....	20
2.4.7.2.4	Sandfilteranlage	20
2.4.7.2.5	Ausblick	21
2.4.7.2.6	Differenzdruck.....	22
2.4.7.2.7	Rückspüleinrichtung.....	22
2.4.7.2.8	Bautechnik.....	23
2.4.8	Primärschlammumpwerk	23
2.4.9	Umbau des Überschussschlammabzuges.....	23

2.4.10	Neubau der maschinellen Schlammwässerung	24
2.4.11	Flockungshilfsmittelanlage (Siebbandpresse)	25
2.4.12	Umbau der gesamten Faulung einschließlich der Faulturmsanierung.....	26
2.4.12.1	Beschickung der Faulbehälter und Faulschlammabzug	26
2.4.12.2	Optimierung der Durchmischung durch interne Umwälzung	29
2.4.12.3	Optimierung des Heizenergiebedarfes durch Wärmedämmung	29
2.4.13	Eigenenergiepotential durch Klärgasnutzung.....	29
2.4.13.1	Gasbehälter	29
2.4.13.2	Gasfackel.....	30
2.4.13.3	Neubau eines BHKW.....	30
2.4.13.4	Nutzung der Abwärme zur Kälteerzeugung	31
2.4.14	Entwässerungszentrifuge	31
2.4.15	Vorlagebehälter	32
2.4.16	Umbau des Fäkalien- und Filtratspeichers zum Trübwasserbehälters.....	33
2.4.17	Anpassung des Betriebsgebäudes und der Elektrotechnik	34
2.4.17.1	Sanitäre Bereiche.....	34
2.4.17.2	Liegeraum	35
2.4.17.3	Niederspannungsunterverteilung	35
2.4.17.4	Zentrale Warte.....	35
2.4.17.5	Pumpen- und Ersatzteillager	35
2.5	Behördliche Anforderungen	36
2.6	Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	37
3.	Ergebnisse / Empfehlungen	37
3.1	Bewertung der Vorhabensdurchführung	37
3.2	Energiebilanz.....	37
3.3	Umweltbilanz.....	37
3.4	Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms	38
3.4.1	Durchführung.....	38
3.4.2	Ergebnisse des Messprogramms	38
3.4.3	Geplanter Zielwert des Stromverbrauches für die Kläranlage Isselburg.....	38
3.4.4	Mischwasserbehandlung	39
3.4.5	Gesamtstromverbrauch.....	39
3.4.6	Vergleichende Betrachtung	39
3.4.7	Fazit der Feinanalyse	39
3.5	Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	40
3.5.1	Verwendung der Fördermittel.....	40
3.6	Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren.....	40
3.7	Eigenenergieversorgung	40
3.8	Maßnahmenbegleitung/Projektsteuerung/sachverständige Überwachung	41
4.	Zusammenfassung	42
5.	Summary	44
6.	Literatur	VI
7.	Abkürzungsverzeichnis.....	VII
8.	Anhang.....	IX

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.	Luftbild der Kläranlage Isselburg vor der Sanierung.....	2
Abb. 2.	Luftbild der Kläranlage nach dem Umbau	3
Abb. 3.	Kaskade eins, nördliche Straße, nach dem Umbau	6
Abb. 4.	Kaskade eins, südliche Straße, nach dem Umbau	6
Abb. 5.	Kaskade zwei, Blickrichtung Gebläsestation, Faulturm, nach dem Umbau	7
Abb. 6.	Kaskade 2, Rücklaufschlammleitung zur Kaskade eins.....	8
Abb. 7.	Kaskade drei nach dem Umbau	9
Abb. 8.	Detailaufnahme der Kaskade drei	9
Abb. 9.	Kaskade drei nach dem Umbau, Leitungsverlauf	10
Abb. 10.	Kaskade drei, Leitungs- und Bedienungsbrücken	10
Abb. 11.	Kaskade drei, Leitungsbrücke	10
Abb. 12.	Gebläsestation, nach dem Umbau	12
Abb. 13.	Bedienfeld der Gebläsestation nach dem Umbau.....	13
Abb. 14.	Gebläsestation nach dem Umbau Detailaufnahme Bedienfeld Kompressor	13
Abb. 15.	Gebläsestation, Kranbahnschiene für den Kompressorentransport.....	14
Abb. 16.	Rücklaufschlammumpwerk im Maschinenhaus nach dem Umbau	15
Abb. 17.	Lage des Rücklaufschlammumpwerks im Maschinenkeller	15
Abb. 18.	Filterzellensystem	17
Abb. 19.	Kompressorraum für die Filterzellen	17
Abb. 20.	Planausschnitt Filteranlage, Beschickungspumpwerk.....	18
Abb. 21.	Aufgang zu den Filterzellenköpfen	19
Abb. 22.	Filterzellenköpfe	19
Abb. 23.	Ablaufleitungen aus den Filterbetten.....	21
Abb. 24.	Kompressoren für die Filterspülung	22
Abb. 25.	Bandeindicker	24
Abb. 26.	Bandeindicker im Maschinenkeller	24
Abb. 27.	Flockungshilfsmittelanlage (Polymerzusatz) Zugabestation	25
Abb. 28.	Station zur Zugabe des Flockungshilfsmittels.....	26
Abb. 29.	Faulbehälter mit neuer Bekleidung	26
Abb. 30.	Rohrkeller, Faulturm.....	27
Abb. 31.	Fermanox-Anlage zur Brauchwasseraufbereitung	27
Abb. 32.	Druckwasserbehälter	28
Abb. 33.	Rohrkeller	28
Abb. 34.	Notkühlanlage für das BHKW	30
Abb. 35.	Polymeranlage für die Zentrifuge	32
Abb. 36.	Zentrifuge der Firma Hiller	32
Abb. 37.	Zugang zum Vorlagebehälter.....	33
Abb. 38.	Lage Trübwasserspeicher	33
Abb. 39.	Trübwasserbehälter	34
Abb. 40.	Pumpenlager.....	35

1. Einleitung

1.1 Erfolgskontrolle

Nach Fertigstellung der Modernisierungs- und Maßnahmen der energetischen Optimierung der Kläranlage in Isselburg im September 2016, wurde im Anschluss daran die erforderliche Erfolgskontrolle über die durchgeführten Maßnahmen und den zugehörigen Sanierungen zur energetischen Optimierung für das Gesamtobjekt durchgeführt.

Die Erfolgskontrolle und die Bewertung der Ergebnisse der energetischen Optimierung erfolgten auf der Basis des Arbeitsblattes „DWA-A 216 - Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen“ der „Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.“. Annahmen und Feststellungen zu spezifischen Verbrauchswerten im Zuge des Antrags-/Genehmigungsverfahrens und der Planung wurden im Rahmen der durchgeführten Erfolgskontrolle korrigiert.

Dieser Abschlussbericht enthält lediglich auszugsweise Textstellen und die Ergebnisfeststellungen aus dem Erläuterungsbericht zur Erfolgskontrolle des hiermit beauftragten Ingenieurbüros Rummler + Hartmann GmbH aus Havixbeck aus September 2018. Der gesamte Abschlussbericht zur Erfolgskontrolle ist als Anlage beigefügt.

1.2 Verwendungsnachweis

Ebenfalls ist eine Zusammenfassung des Verwendungsnachweises Bestandteil dieses Abschlussberichtes.

1.3 Empfänger der Fördermittel

Die Stadt Isselburg ist eine in Nordrhein-Westfalen, im äußersten Westen des Regierungsbezirkes Münster liegende rechtsrheinische Gemeinde des Kreises Borken. Isselburg liegt am Unterlauf der Issel auf deutschem Staatsgebiet, direkt angrenzend und in Nachbarschaft zu den Niederlanden und dem dortig weiteren Flussverlauf.

Die derzeitige Einwohnerzahl der Stadt Isselburg beträgt ca. 11.500 Einwohner. Deren Abwässer, wie auch diejenigen von Gewerbe und Industrie, werden in der gemeindlichen Kläranlage gereinigt. Aktuell beträgt, bezogen auf den „Kennwert“ von $E_{CSB} = 120 \text{ g}/(\text{E} \cdot \text{a})$, die Zahl der hieran angeschlossenen spezifischen Einwohnerwerte 13.550 EW.

Somit ist der Hinweis zu beachten, dass sich in nachfolgenden Ausführungen des vorliegenden Berichtes die Anzahl der tatsächlichen angeschlossenen Einwohner von der spezifischen Anzahl der Einwohner, die über den Belastungsgrad des Abwassers - wie vorgenannt - ermittelt werden, unterscheidet.

1.4 Ausgangssituation

Die nordwestlich der Stadt Isselburg direkt an der Issel gelegene, mechanisch/biologische Kläranlage behandelt neben den Abwässern aus der Kernstadt Isselburg auch die Abwässer aus den Ortsteilen Anholt, Werth, Vehlingen, Heelden und einiger weiterer Einzelsiedlungen.



Abb. 1. Luftbild der Kläranlage Isselburg vor der Sanierung

Die Kläranlage wurde in den vergangenen Jahren in verschiedenen Schritten erweitert und ausgebaut. Die letzte Erweiterung vor der energetischen Optimierung erfolgte in den Jahren 1990 - 1992 mit dem Ziel, die in der damals bestehenden Einleitungserlaubnis festgelegten Anforderungen an Ablaufwerte, insbesondere im Hinblick auf die Nährstoffelimination, zu erfüllen.

Bereits im Jahre 2006 wurde im Rahmen einer Studie festgestellt, dass die Belastung der Kläranlage etwa 14.000 EW beträgt und die Anlage somit an ihrer Auslastungsgrenze arbeitet.

Die heutige Kläranlage ist nach der durchgeführten Modernisierung auf eine Ausbaugröße von 20.000 EW ausgelegt.

Die ehemals bestehende Einleitungserlaubnis für die Kläranlage war zunächst bis zum 30.04.2010 gültig, wurde jedoch durch die Aufsichtsbehörde in Münster in Erwartung der energetischen Optimierung mit einer dritten Befristung bis zum 31.12.2012 verlängert.

Im Zusammenhang mit der Absicht der Stadt Isselburg, einige zusätzliche Wohngebiete und Gewerbeflächen neu anzuschließen, forderten die Aufsichtsbehörden, dass diese Erweiterungen im Rahmen des Antrages auf eine neue Einleitungserlaubnis zur Kläranlage Berücksichtigung finden.

Der Rat der Stadt Isselburg hat unter Beachtung dieser Vorgabe in der Ratssitzung vom 24.09.2008 die Erweiterung der Kläranlage auf eine Ausbaugröße von 20.000 EW beschlossen. Zur Erlangung einer neuen Einleitungserlaubnis war die Kläranlage entsprechend zu erweitern und modernisieren.



Abb. 2. Luftbild der Kläranlage nach dem Umbau

Vor der erfolgreichen energetischen Optimierung lag der jährliche Gesamtstromverbrauch der Kläranlage bei 751.419 kWh (gemessen in 2010). Im gleichen Jahr betrug die behandelte Abwassermenge 865.435 m³.

1.5 Hinweis zum spezifischen Stromverbrauch

Hinsichtlich des spezifischen Stromverbrauches, der in Kilowattstunden pro Einwohner und Jahr dargestellt wird, ist gegenüber den bisherigen Veröffentlichungen eine Korrektur erforderlich.

So betrug die Größe der angeschlossenen Einwohnerwerte (abgeleitet gemäß DWA-A 216) nicht 11.500 EW sondern 13.550 EW. Unter Berücksichtigung dieses Wertes lag der spezifische Stromverbrauch vor der durchgeführten energetischen Optimierung bei 53,4 kWh/(EW *a).

2. Vorhabenumsetzung

2.1 Ziele des Vorhabens

Ziel der Erweiterung und Modernisierung der Kläranlage ist der Ausbau auf 20.000 EW, die Verbesserung der Abwasserbehandlung zum Zwecke des Gewässerschutzes, die Steigerung der Energieeffizienz und die Reduzierung des Energiebedarfes.

2.2 Betrachtung der Einzelkomponenten

2.2.1 Mechanische Abwasserreinigung

Im Zusammenhang mit der Erweiterung der Kläranlage und der energetischen Optimierung wurde die mechanische Abwasserreinigung mit zwei neuen Hidrostalpumpen und pneumatischen Schiebern ausgestattet.



2.2.2 Biologische Abwasserreinigung

Die maßgeblichen Änderungen in Zusammenhang mit der energetischen Sanierung umfassten das ehemalige Becken zur Phosphorelimination, das Denitrifikationsbecken und das Nitrifikationsbecken.

Diese drei Becken, von denen das Becken zur Phosphorelimination und das Denitrifikationsbecken als rechteckige Bauwerke und das Nitrifikationsbecken als Rundbauwerk im Bestand weiter vorhanden sind, wurden zu einer Dreierkaskade umgebaut, von denen jedes Becken mit separaten Belüftungseinrichtungen versehen worden ist.

Auf Wunsch des Betriebes wurden die einzelnen Kaskadenbecken so umgebaut, dass sie zweistraßig betrieben werden können.

2.2.2.1 Außerbetriebnahmen

Hintergrund zur Ausbildung der Zweistraßigkeit und die Ausbildung der Dreierkaskade war die verbesserte Reinigungsleistung im Falle der Außerbetriebnahme einer einzelnen Kaskade (in den Sommermonaten), die so ohne größere Einschränkungen, bei gleichbleibender Abwasserreinigung, in Verbindung mit einem ausreichenden Gesamtbeckenvolumen möglich ist. Der höhere Unterhaltsbedarf wurde bewusst in Kauf genommen, um die Betriebssicherheit zu verbessern.

2.2.3 Schlammbehandlung

Als dritte Komponente wurde die Schlammbehandlung, die maßgeblich die Faulturmsanierung, den Vorlagebehälter, die Rücklaufschlammumpen und die Schlamm entwässerung umfasste, modernisiert und hinsichtlich des erforderlichen Energieeinsatzes zeitgemäß instandgesetzt.

2.3 Darstellung der technischen Lösung

Die Kläranlage Isselburg war auch vor dem Umbau eine konventionell betriebene biologische Kläranlage.

2.3.1 Abwasserbehandlung

Die vorhandenen Becken zur Nitrifikation, Denitrifikation und Phosphorelimination wurden jeweils zu zweistraßigen Becken umgebaut, die einer biologischen Abwasserreinigung über eine Dreierkaskade entsprechen. Die vorhandenen Becken wurden, um dieses Ziel zu erreichen, mit neuen Belüfterplatten und zusätzlichen Leitflächen versehen.

Dieser verfahrenstechnische Umbau erforderte die Erweiterung der Gebläsetechnik. Entgegen der Planung, die noch eine Prozeßluftversorgung über eine Poolleitung vorsah, wurde eine Direktbelüftung der Becken realisiert, wobei die Steuerung der Schieber für die Prozeßluftversorgung über die in jedem Beckenablauf installierten $\text{NH}_4\text{-N}$ - und eine $\text{NO}_3\text{-N}$ -Sonden erfolgt.

Zusätzlich wurde zur Reduzierung von Schwimmstoffen nach der Passage der Nachklärung eine kontinuierlich gespülte Sandfilteranlage eingebaut, über die auch eine weitere Reduzierung des Phosphorgehaltes erreicht wird.

2.3.2 Schlammbehandlung

Die bestehende Schlammbehandlung, so zeigten die weitergehenden Erkenntnisse während der Durchführung geplanter Einzelmaßnahmen, musste umfassend saniert werden. Der Faulturm wurde komplett saniert und mit einer neuen Außenbekleidung und zusätzlicher Wärmedämmung versehen.

Für den Rücklaufschlamm wurde im Keller der Gebläsehalle eine Siebbandpresse installiert, der eine Polymerisationsanlage vorgeschaltet ist.

Der ausgefaulte (stabilisierte) Schlamm wird heute in einem Vorlagebehälter gepuffert und sukzessive über einen, im Gebäude der Sandfilteranlage untergebrachten Dekanter entwässert, dem eine weitere Polymerisationsanlage vorgeschaltet ist. Der entwässerte Schlamm wird nach der Entwässerung in einen unmittelbar unter dem Dekanter befindlichen Container gesammelt und abgefahren.

Das anfallende Zentratwasser wird in den umgebauten Fäkalienannahmetank eingeleitet, zwischengespeichert und von dort stetig der Vorklärung zugeführt.

2.4 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Nachfolgend wird das Programm der energetischen Optimierung der Kläranlage Isselburg hinsichtlich der einzelnen Komponenten umfassend dargestellt und erläutert. Die einzelnen Maßnahmen werden in den dargestellten Unterpunkten beschrieben, so dass der Zusammenhang der Gesamtmaßnahme über die Darstellung der einzelnen Projektstufen deutlich wird.

2.4.1 Maßnahmenübersicht

- Umbau der Phosphorelimination zur Kaskade eins
- Umbau des Denitrifikationsbeckens zur Kaskade zwei
- Umbau des Nitrifikationsbeckens zur Kaskade drei
- Umbau und Erweiterung der Gebläsestation
- Instandsetzung, Umbau und Modernisierung der Schlammbehandlung

2.4.2 Umbau des Beckens zur Phosphorelimination zur Kaskade 1



Abb. 3. Kaskade eins, nördliche Straße, nach dem Umbau



Abb. 4. Kaskade eins, südliche Straße, nach dem Umbau

Das ehemalige Becken zur Phosphorelimination wurde zur Kaskade eins umgebaut. Der Rücklaufschlamm wird zu 100 % in den Zulauf von Kaskade einseingeleitet. Eine Änderung der Rücklaufschlammführung im Bereich der Kaskade eins war nicht erforderlich.

Die Kaskade eins war bereits zweistraßig ausgeführt, so dass keine weiteren baulichen Maßnahmen erforderlich waren. Die Abmessungen des Beckens betragen ca. 10,0 * 20,0 m bei einer Wassertiefe von 2,50 m. Das vorhandene Volumen der Kaskade eins beträgt somit ca. 500 m³.

Aus der Kaskadenberechnung mit dem Programm „design2treat“ ergibt sich ein erforderliches Volumen von erf. $V_1 = 499 \text{ m}^3$. Der Trockensubstanzgehalt (nachfolgend: TS-Gehalt) in Kaskade eins ist bedingt durch die Zuführung des gesamten Rücklaufschlammes sehr hoch und beträgt 6,16 kg/m³.

Die Prozessluft wird von der Gebläsestation über eine Rohrleitung DN 150 zugeführt. Die Leitung verzweigt am Kopf des Beckens auf jede Straße. Zur Belüftung werden patentierte Plattenbelüfter der Firma RMU eingesetzt.

Jede Straße wurde mit zwanzig Belüfterplatten ausgerüstet. Diese sind über flexible Schläuche aus PE-HD mit der jeweiligen Hauptluftleitung verbunden. Jede Belüfterplatte kann einzeln über einen vom Beckenrand erreichbaren Kugelhahn abgesperrt werden. Im Zusammenhang mit den RMU-Plattenbelüftern sind in den Becken keine Rührwerke mehr erforderlich.

Die Steuerung der Luftzufuhr erfolgt über im Ablauf der Kaskade eins installierte NH₄-N-Sonde und eine NO₃-N-Sonde.

2.4.3 Umbau des Denitrifikationsbeckens zur Kaskade zwei



Abb. 5. Kaskade zwei, Blickrichtung Gebläsestation, Faulturm, nach dem Umbau

Das vorhandene Denitrifikationsbecken wurde zur Kaskade zwei umgebaut. In der verbindenden Rohrleitung zwischen Kaskade eins und Kaskade zwei erfolgt die Stromvereinigung von Teilstrom zwei mit dem Ablauf aus Kaskade eins.

Wie die Kaskade einwar die Kaskade zwei bereits zweistraßig ausgeführt. Jede Straße verfügt über die Teilabmessungen von $28,87 * 5,00$ m und eine Wassertiefe von 2,85 m. Das vorhandene Volumen ergibt sich somit zu $2 * 411,0 \text{ m}^3 = 822,0 \text{ m}^3$.



Abb. 6. Kaskade 2, Rücklaufschlammleitung zur Kaskade eins

Wenn die Betonvoute (geneigt konstruierter Beckenablauf) hinzugerechnet wird, ergibt sich ein Bruttovolumen von $863,0 \text{ m}^3$. Das erforderliche Volumen beträgt gemäß Kaskadenberechnung (s. vorgenanntes Programm) $862,0 \text{ m}^3$.

Der TS-Gehalt in Kaskade zwei ergibt sich nach der Berechnung zur Bemessung des Beckens zu $4,72 \text{ kg/m}^3$.

Die Prozessluft wird der Kaskade zwei von der Gebläsestation über eine gesonderte Rohrleitung DN 150 zugeführt. Die Leitung verzweigt am Kopf des Beckens auf jede Straße. Zur Belüftung wurde jede Straße mit vierundzwanzig RMU-Plattenbelüftern ausgerüstet.

Analog zur Kaskade eins sind die einzelnen Belüfterplatten über Schläuche aus PE-HD mit der jeweiligen Hauptluftleitung verbunden und jede Belüfterplatte kann mit Hilfe eines vom Beckenrand erreichbaren Kugelhahns separat abgesperrt werden.

Der Sauerstoffgehalt in der Kaskade wird über Sauerstoffsonden erfasst. Als Regelgröße für die installierten Schieber zur Luftstromregulierung dienen die gemessenen Stickstoffparameter im gemeinsamen Ablauf der Kaskade, die über die im Ablauf der Kaskade installierte $\text{NH}_4\text{-N}$ -Sonde und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Sonde erfasst werden.

In Kaskade zwei waren keine besonderen Einbauten erforderlich, um die Pfropfenströmung zu gewährleisten. Die Becken der Kaskade eins und zwei wurden in der Bauphase noch als Umlaufgräben betrieben, wobei die Umlaufströmung mit Hilfe von Rührwerken erzeugt wurde. Die vor dem

Umbau noch in Betrieb befindlichen Rührwerke sind im Zusammenhang mit der energetischen Optimierung entfernt worden.

Der Abwasserstrom wird über die vorhandenen Ablaufschwelle in die bestehende Ablaufsammelrinne der Kaskade drei eingeleitet.

2.4.4 Umbau des Nitrifikationsbeckens zur Kaskade 3



Abb. 7. Kaskade drei nach dem Umbau



Abb. 8. Detailaufnahme der Kaskade drei



Abb. 9. Kaskade drei nach dem Umbau, Leitungsverlauf



Abb. 10. Kaskade drei, Leitungs- und Bedienungsrücken



Abb. 11. Kaskade drei, Leitungsbrücke

Das runde Nitrifikationsbecken wurde zur Kaskade drei umgebaut. Die Stromvereinigung des Ablaufes aus Kaskade zwei mit dem Teilstrom zur Kaskade drei erfolgt am vorhandenen Übergabeschacht zum Beschickungsdüker des Beckens.

Die Kaskade drei war vor der Modernisierung nicht zweistraßig ausgeführt, um dieses Ziel zu realisieren wurde eine neue Trennwand in der Mitte des Beckens errichtet.

Der vorhandene Beschickungsdüker konnte ohne zusätzliche Maßnahmen weiter genutzt werden, da bereits zwei unabhängige Rohrleitungen vorhanden waren. Nur der unmittelbare Zulauf zu den neu ausgebildeten Straßen innerhalb des Nitrifikationsbeckens musste den neuen Anforderungen angepasst werden.

Das Becken ist als Rundbecken ausgeführt und verfügt über einen Durchmesser von $D = 20,50$ m und eine Wassertiefe von $5,72$ m, womit sich ein Volumen von 1.888 m³ ergibt. Das erforderliche Volumen gemäß Kaskadenberechnung mit dem Programm „design2treat“ wurde mit 1.886 m³ ermittelt.

Der TS-Gehalt in Kaskade drei ergibt sich zu $3,43$ kg *TS/m³.

Der Kaskade drei wird die Prozessluft ebenfalls von der umgebauten Gebläsestation über eine gesonderte Rohrleitung zugeführt. Dazu wird die vorhandene erdverlegte Luftleitung genutzt. Sämtliche Luftleitungen im näheren Bereich des Beckens wurden im Zusammenhang mit dem Umbau erneuert. Die neuen Luftleitungen wurden entlang der neu installierten Trennwand verlegt, wobei jede Straße mit einer Zuleitung DN 150 ausgerüstet worden ist.

Die Belüftung erfolgt wie bei der Kaskade eins und zwei mit RMU-Plattenbelüftern. Die zwanzig in der Kaskade drei installierten Belüfter werden gleichermaßen über flexible Schläuche aus PE-HD mit der jeweiligen Hauptluftleitung verbunden. Jede Belüfterplatte kann mit Hilfe eines frei erreichbaren Kugelhahns separat abgesperrt werden.

Die Belüftungsregelung erfolgt analog zu den Kaskaden eins und zwei über Blendenregulierschieber in der Luftleitung zu jeder Straße. Der Sauerstoffgehalt in jeder Straße wird über Sauerstoffsonden erfasst. Als Regelgröße für die Steuerschieber der Luftzufuhr dienen auch hier die Stickstoffparameter im gemeinsamen Ablauf der Kaskade drei, in dem jeweils eine NH₄-N-Sonde und eine NO₃-N-Sonde installiert wurde.

In Kaskade drei waren außer den neuen Trennwänden keine weiteren besonderen Einbauten erforderlich, um die Pfropfenströmung zu gewährleisten. Das behandelte Abwasser fließt über die vorhandenen Ablaufschwelle in den bestehenden Ablaufschacht und von dort der Nachklärung zu.

2.4.5 Umbau der Gebläsestation

Die vorhandene Gebläsestation musste vollständig umgebaut werden und ist als Direktbelüftung konzipiert. Alle drei neuen Gebläse haben unterschiedliche Leistungswerte, wobei die Leistung grundsätzlich geringer ist als die Leistung des Bestandsgebläses vier (verbliebendes Gebläse). Nach dem Umbau verfügt die Anlage nun insgesamt über vier Drehkolbengebläse.

Im Regelbetrieb ist das Gebläse „1“ der Kaskade „1“, das Gebläse „2“ der Kaskade „2“ und das Gebläse „3“ immer der Kaskade „3“ zugeordnet. Das Bestandsgebläse wird als Gebläse „4“ nun als

Reservegebläse vorgehalten (Hinweis: Die numerische Bezeichnung der Gebläse und Kaskadenbecken folgt den Größen „Leistung“ und „Volumen“ von klein nach groß).

Die Steuerung der Luftzufuhr/des Sauerstoffeintrags erfolgt über die in den Luftleitungen installierten Blendenregulierschieber, deren Luftstrom über die in den jeweiligen Ablaufritten befindlichen $\text{NH}_4\text{-N}$ - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Sonden realisiert wird.

Das realisierte Rohrleitungs- und Instrumentenfließschema (R&I-Fließschema) ermöglicht bei Wartungs- bzw. Reparaturarbeiten an hiervon betroffenem Gebläse die erforderliche Luftwegeinstellung und Übernahme der Prozessluftversorgung entsprechenden Kaskadenbeckens durch das Ersatzgebläse bzw. durch eines beider noch verfügbaren neuen Gebläse. Selbst bei einem unwahrscheinlichem Ausfall eines weiteren der drei neuen Gebläse kann die biologische Reinigungsstufe mit entsprechenden weiteren betrieblichen Maßnahmen weiter betrieben werden. Entsprechende Betriebsanweisungen zur Steuerung und Regelung solcher Betriebszustände bilden komplexe und aufwendige Vorgehensweisen ab und erfordern genaueste Kenntnisse des Anlagenzustandes.



Abb. 12. Gebläsestation, nach dem Umbau



Abb. 13. Bedienfeld der Gebläsestation nach dem Umbau

Jeder einzelne Kompressor kann in der Gebläsehalle über den installierten Schlüsseldrehschalter ausgeschaltet, für den „vor-Ort“-Betrieb eingeschaltet oder für die Steuerung über die PLS in verschiedene Betriebsfunktionen gesetzt werden.



Abb. 14. Gebläsestation nach dem Umbau Detailaufnahme Bedienfeld Kompressor

Die Kaskadenanlage wird mit intermittierender Denitrifikation gefahren. Die Luftzuführung zu jeder Straße wird über Blendenregulierungsschieber gesteuert. Zur Überwachung des Sauerstoffgehalts ist jede Straße mit einer Sauerstoffsonde ausgerüstet.

Die Regelung des Lufteintrags (Sauerstoffeintrages) erfolgt jedoch nicht über eine Sauerstoffkonstant-Regelung, sondern in Abhängigkeit von den Stickstoffparametern Ammonium und Nitrat, die über entsprechende Sonden im Ablauf der jeweiligen Kaskade gemessen werden.

Um sicherzustellen, dass die Gebläse auch zu „Schwachlastzeiten“ angepasst arbeiten, verfügen alle Gebläse/Kompressoren über Frequenzumformer, mit denen sich die Drehzahl jedes Kompressors

stufenlos regeln lässt. Wie bereits oben dargestellt, sollte die Drehzahländerung ausschließlich von der Betriebswarte aus im Betriebsgebäude durchgeführt werden.

Das vorhandene Bestandsgebläse liefert unter Vollast 1.242,0 m³/h. Die neuen Kompressoren weisen unterschiedliche spezifische Förderleistungen, die deutlich unter der Leistung des Bestandsgerätes liegen.

Mit Hilfe der Frequenzumformer kann in der Regel eine Minimallast von etwa 35 %, bezogen auf die Vollast, erreicht werden. Die Leistung der neuen Kompressoren kann somit variabel angepasst werden. Das ebenfalls mit einem Frequenzumformer ausgerüstete Bestandsgerät lässt sich aufgrund der höheren maximalen Luftleistung zwischen ca. 440 und 1242,0 m³/h regeln.

In Schwachlastzeiten und/oder bei der Außerbetriebnahme einer Kaskade können die Gebläse mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebes bedarfsabhängig auch ganz abgeschaltet werden. Dennoch wird der über die PLS gesteuerte intermittierende Betrieb aufrechterhalten.

2.4.5.1 Kranbahn in der Gebläsestation

In der neu errichteten Gebläsehalle befinden sich oberhalb der Kompressoren, die in zwei Reihen in der Gebläsehalle positioniert sind - jeweils auf der Westseite und auf der Ostseite - Kranbahnanlagen, mit denen die einzelnen Kompressoren aus ihrer Position gehoben und in einen Bereich verfahren werden können, von wo aus sie abtransportiert bzw. abgefahren oder umfassend instandgesetzt werden können.



Abb. 15. Gebläsestation, Kranbahnschiene für den Kompressoentransport

2.4.5.2 Betriebliche Erfahrungen

Die installierten und patentierten Belüfterplatten sind nach Angabe des Herstellers grundsätzlich nicht verstopfungsanfällig. Ein temporäres Rückspülen der Belüfterplatten ist nicht notwendig.

2.4.6 Umbau des Rücklaufschlammumpwerks

Der Umbau des Rücklaufschlammumpwerks umfasste neue Pumpen und neue Rohrleitungen, die mit entsprechenden Armaturen (manuellen Schiebern und Frequenzumformern) ausgerüstet, einen variablen Betrieb ermöglichen.



Abb. 16. Rücklaufschlammumpwerk im Maschinenhaus nach dem Umbau

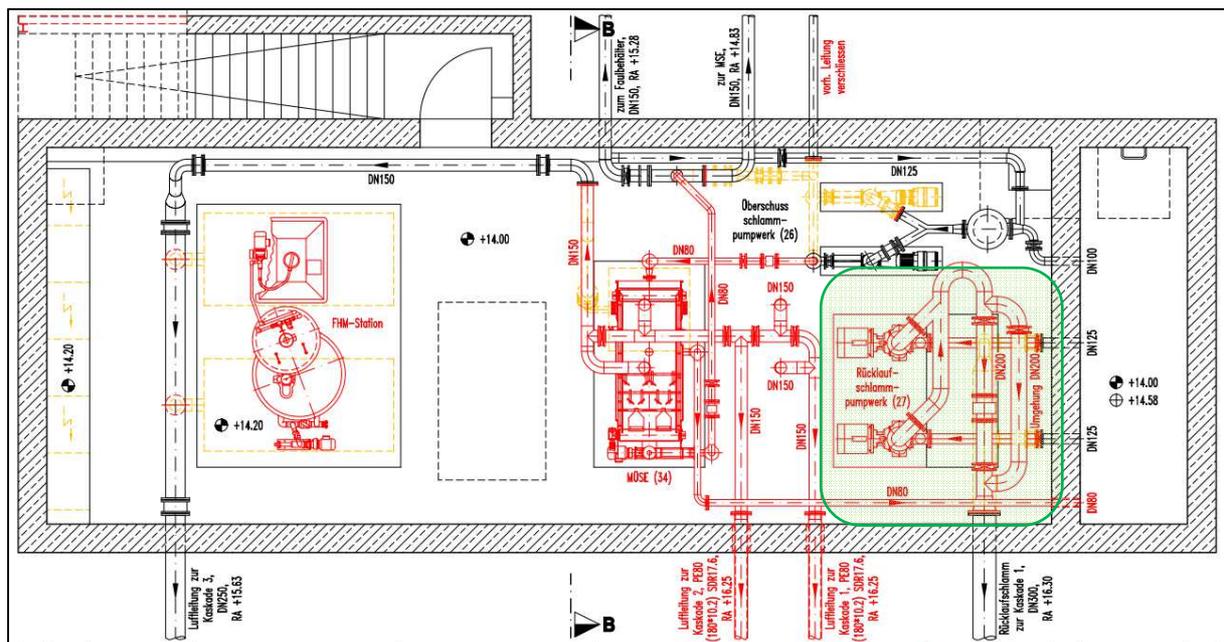


Abb. 17. Lage des Rücklaufschlammumpwerks im Maschinenkeller

Das Rücklaufschlammumpwerk ist im selben Raum verblieben, in dem es bereits vor dem Umbau untergebracht war. Saugseitig wurden die Pumpen an die vorhandenen Stützen der bestehenden Rücklaufschlammvorlage angeschlossen.

Zur Steuerung und Überwachung des Rücklaufverhältnisses des Schlammes ist in der Rücklaufschlammdruckleitung eine Magnetisch-Induktive-Durchflussmessung (MID) installiert worden. Um einwandfreie Messergebnisse zu gewährleisten, sind vor und hinter dem MID ausreichend lange Beruhigungsstrecken vorgesehen. Die Druckleitungsführung wurde zu diesem Zweck so umgebaut,

dass eine Einlaufstrecke von fünf x DN (DN = Nenndurchmesser der Leitung) und eine Auslaufstrecke von drei x DN entstanden ist.

Der Rücklaufschlamm kann nach der Modernisierung über die Bestandleitung in den Zulauf von Kaskade eins gefördert werden. Um eine Stofftrennung zwischen Rücklauf- und Überschussschlamm zu ermöglichen, wurden zwei neue Pumpen installiert, die auf ein maximales Rücklaufverhältnis von $RV_{\max} = 75\% \cdot Q_M$ ausgelegt worden sind.

Die maximale Förderleistung der Pumpen beträgt $Q_{RS,\max} = 92$ l/s. Die Pumpen sind mit Frequenzumformern ausgerüstet, um das Rücklaufverhältnis (RV) flexibel und bedarfsgerecht an die Belastung anpassen zu können. Die Steuerung erfolgt über das aktualisierte PLS-System, auf das das Betriebspersonal in der Betriebswarte jederzeit zugreifen kann.

Dabei wurde vom Planungsbüro davon ausgegangen, dass das Rücklaufverhältnis bei Trockenwetter 100%, bezogen auf den Momentanzufluss, beträgt. In Zeiten geringerer Belastung ist es möglich, die Rücklaufschlammförderung temporär zu unterbrechen. Als möglicher Überwachungs- bzw. Regelparameter kann durch den Betrieb beispielsweise der TS-Gehalt am Ablauf von Kaskade drei gewählt werden.

Eine kontinuierliche TS-Messung war dort bereits vorhanden. Dieser TS-Gehalt im Ablauf der Kaskade darf aufgrund des Kaskadenbetriebes nicht mit TS_{BB} verwechselt werden.

2.4.7 Neubau einer Filtrationsanlage

Die der Nachklärung nachgeschaltete Filtrationsanlage wurde am Standort des ehemaligen Schlammspeichers realisiert. Die gesamte Anlage ist in einem kompletten Neubau untergebracht, der neben der Sandfilteranlage eine Kompressorstation und das Zulaufpumpwerk beinhaltet.

2.4.7.1 Pumpwerk zur Beschickung der Filteranlage

Das Wasser aus der Nachklärung fließt dem Pumpenschacht zur Beschickung der Sandfilteranlage über eine Freispiegleitung zu. Diese Leitung wird über einen Abzweig beschickt, der in der Verbindungsleitung zwischen Nachklärung und Ablaufmessschacht eingebaut wurde.

Für diesen Abzweig wurde ein neuer Schacht errichtet, der zwei gehäuselose Schieber aufnimmt, um zu ermöglichen, dass die Verbindung zwischen Nachklärung und Ablaufmessschacht unterbrochen und der Weg zum Filterbeschickungspumpwerk freigegeben werden kann.

Der Abzweig zur Sandfilteranlage kann über die im Schacht installierten Schieber, zum Beispiel bei Inspektion- und Wartungsarbeiten an der Sandfilteranlage, geschlossen werden. In diesem Fall erfolgt der Ablauf des Wassers aus der Nachklärung unmittelbar in die Schönungssteiche.



Abb. 18. Filterzellensystem

Für die eigentliche Beschickung der Filteranlage wurde ein Pumpwerk zur Förderung des weitestgehend gereinigten Abwassers aus dem Ablauf der Nachklärung gebaut, das im nördlichen Anbau der Filterhalle untergebracht worden ist.



Abb. 19. Kompressorraum für die Filterzellen

Am linken Rand im oberen Bild ist ein kleiner Abschnitt der Abdeckung des Pumpensumpfes für das Beschickungspumpwerk zu erkennen. Der Bereich des Pumpwerks ist in der nachfolgenden Skizze (Ausschnitt aus der Vorplanung) dargestellt.

Direkt im Bild ist die für die Sandfilter notwendige Kompressoranlage zu erkennen.

Um den Abwasserstrom bedarfsgerecht zu regeln, sind vier Pumpen installiert worden. Baulich ist das Pumpwerk als einfacher Rechteckschacht konzipiert worden. Dieser liegt seitlich vom Kompressor und ist frei zugänglich. Der Zugang zum Pumpenschacht ist aus betrieblichen Gründen mit begehbaren Schachtabdeckungen geschlossen, die zu Inspektion- oder Wartungszwecken entfernt werden können.

Nachfolgende Skizze aus vorgenanntem Zeichnungsausschnitt zeigt die Lage des Pumpenschachtes zur Beschickung der Sandfilteranlage.

Der nachfolgende Planausschnitt wurde um einhundertachtzig Grad gedreht, damit die Plandarstellung zum vorher aufgeführten Foto passt.

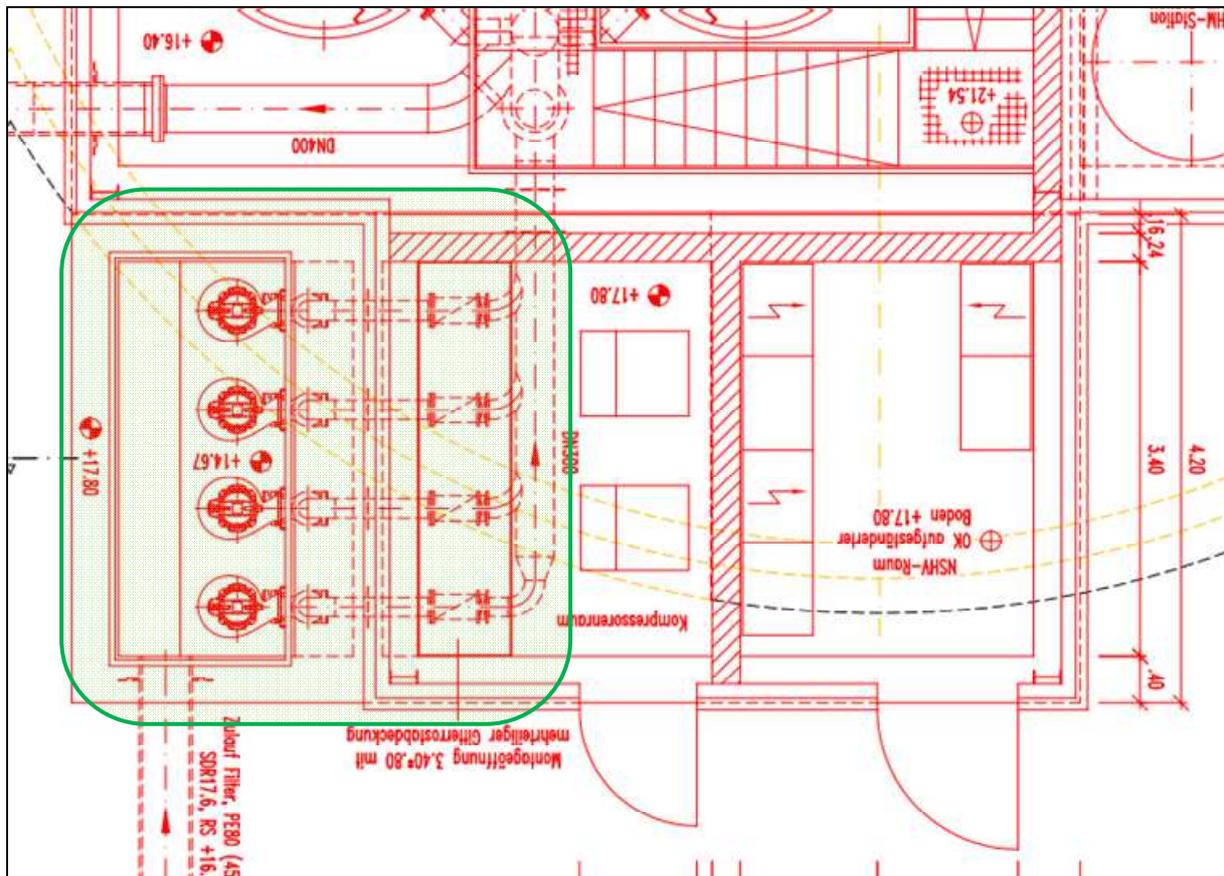


Abb. 20. Planausschnitt Filteranlage, Beschickungspumpwerk

2.4.7.2 Kontinuierlich gespülte Sand- Filteranlage

Zur Einhaltung der geforderten Überwachungswerte $C_{BSB,A} = 10 \text{ mg/l}$ und $C_{P,A} = 1,0 \text{ mg/l}$ ist im Prognosebelastungsfall, der bei 20.000 EW liegt, eine weitere Abtrennung der abfiltrierbaren Stoffe erforderlich.

Die nachfolgenden Ausführungen gelten somit ausschließlich für den Betrieb der Kläranlage im Prognosefall mit 20.000 EW.



Abb. 21. Aufgang zu den Filterzellenköpfen



Abb. 22. Filterzellenköpfe

Zur Einhaltung der für die Nennbelastung geforderten Überwachungswerte wurde die Kläranlage für eine weitergehende erforderliche Feststoffabtrennung und Restdenitrifikation um die kontinuierlich gespülte Sand-Filteranlage vom Typ Dynasand (Firma Nordic Water) erweitert.

Aktuell ist eine Feststoffabtrennung und Restdenitrifikation über die Sandfilteranlage nicht erforderlich und technisch, bezogen auf die Restdenitrifikation, nicht möglich.

Für den aktuellen Belastungsfall von 13.500 EW erzielt die Kläranlage Isselburg in der mechanischen und biologischen Reinigungsstufe hinsichtlich der Stickstoffbelastung eine ausreichende Reinigungsleistung.

2.4.7.2.1 Restdenitrifikation

Entsprechend der Auslegung der Kaskadenbiologie und im Hinblick auf die im Prognosefall einzuhaltenen $\text{NO}_3\text{-N}$ -Betriebswerte, wurde die Sandfilteranlage um etwa 10 % größer dimensioniert. Dieser Ansatz wurde gewählt, um eine hinreichende Sicherheit zur Einhaltung der geforderten Überwachungswerte aus der bestehenden Erlaubnis einhalten zu können. Die Filteranlage ist auf eine Nitratzulaufkonzentration von $C_{\text{NO}_3,\text{ZF}} = 25,0 \text{ mg/l}$ und eine Ablaufkonzentration von $C_{\text{NO}_3,\text{AF}} = 5,0 \text{ mg/l}$ ausgelegt.

Bezogen auf den Lastzufluss Q_M zzgl. Filterspülabwasser $Q_{\text{Spül}}$ wurde die Anlage auf eine maximale Durchflussmenge im Filter $Q_F = 441,0 \text{ m}^3/\text{h}$ bemessen. Die Raumabbauleistung für die Denitrifikation von $\eta_{\text{DN}} = 2,33 \text{ kg NO}_3\text{-N/h}$ lieferte das nach den Herstellervorgaben erforderliche Filtervolumen von erf. $V_F = 88,86 \text{ m}^3$.

2.4.7.2.2 Feststoffabtrennung

Für die Feststoffabtrennung wurde die Filteranlage auf eine maximale Filtergeschwindigkeit von $v_F = 15,07 \text{ [m/h]}$ bemessen, woraus sich rechnerisch eine erforderliche Filterfläche -bezogen auf Q_F - von erf. $A_F = 29,29 \text{ m}^2$ ergibt.

Bezogen auf die derzeitige Belastung der Kläranlage mit 13.550 EW ist eine Feststoffabtrennung des aus der Nachklärung ablaufenden Wassers zur Einhaltung der Überwachungswerte nicht erforderlich.

2.4.7.2.3 Phosphorreduzierung

Aus der Nachklärung läuft das gereinigte Wasser mit etwa $0,6 \text{ mg/l}$ Phosphorgehalt ab. Nach der Passage der Sandfilteranlage liegt der Phosphorgehalt bei etwa $0,4 \text{ mg/l}$. Der Grenzwert aus der Erlaubnis liegt bei $1,0 \text{ mg/l}$, wobei die Bezirksregierung Münster einen dauerhaften Betriebsmittelwert/Überwachungswert von $0,5 \text{ mg/l}$ fordert, der mit der Nutzung der Sandfilteranlage eingehalten werden kann.

Aus der betrieblichen Praxis heraus wäre der Betrieb in der Lage den Betriebsmittelwert/Überwachungswert von $0,5 \text{ mg/l}$ nur über die biologische Stufe einzuhalten.

2.4.7.2.4 Sandfilteranlage

Es wurden sechs Dynasand-Filterzellen mit einem Durchmesser von $2,50 \text{ m}$ errichtet. Die Filterschichthöhe beträgt $H_F = 3,00 \text{ m}$. Die einzeln absperrbaren Filterzellen werden über ein Druckleitungssystem vom oben beschriebenen Filterpumpwerk beschickt. Über in der Druckleitung installierte Schieber besteht die Möglichkeit, jede Filterzelle einzeln zu Inspektion- und Wartungszwecken abzusperren.

Das aus der Nachklärung kommende Wasser wird über ein spezielles Verteilersystem in den unteren Bereich des Filterbettes eingetragen und durchströmt die Filterzellen von unten nach oben. Oben tritt es aus dem Filterbett gereinigt und weitestgehend feststofffrei in den sogenannten Überstauraum ein.

Um stets ein konstantes Wasserspiegelniveau in jeder Filterzelle zu halten, ist die Ablaufkonstruktion in jeder Filterzelle als Überfallkante ausgebildet. Der Klarwasserablauf der Filteranlage wird über ein Rohrleitungssystem in den Zulaufschacht der vorhandenen Ablaufmessung eingeleitet.



Abb. 23. Ablaufleitungen aus den Filterbetten

2.4.7.2.5 Ausblick

Die installierte Sandfilteranlage wurde im Hinblick auf die Prognosebelastung von 20.000 EW gebaut. In dem Ablaufwasser aus der Nachklärung ist aufgrund der positiven Reinigungsleistung keine ausreichende Menge an organischem Substrat für die Restdenitrifikation enthalten. Für die aktuelle Belastung der Kläranlage ist die vorgesehene Restdenitrifikation nicht erforderlich.

Inwieweit die Restdenitrifikation beim Eintritt der Prognosebelastung von 20.000 EW gegebenenfalls noch mit einer externen Kohlenstoffquelle unterstützt werden muss, ist sukzessive mit dem Anstieg der spezifischen Einwohner zu überprüfen.

Aktuell werden über die installierte Sandfilteranlage weitere Schwebstoffe herausgefiltert, die von der Nachklärung nicht erfasst worden sind.

Durch den Betrieb der Sandfilteranlage wird der im Abwasser enthaltene Phosphorgehalt von 0,6 auf 0,4 mg/l gesenkt. Zur Einhaltung des aus der Erlaubnis entnommenen Überwachungswertes von 1,0 mg/l, beziehungsweise zur Einhaltung des von der Bezirksregierung Münster geforderten Betriebsmittelwertes von 0,5 mg/l ist nach den ersten Betriebserfahrungen die Sandfilteranlage zur Zeit nicht erforderlich, da der Betrieb mit marginalen betrieblichen Optimierungen in der biologischen Stufe den Überwachungswert und den Betriebsmittelwert sicherstellen kann.

Während des Filtriervorgangs und durch die im Prognosefall erwartete Restdenitrifikation reichern sich im Sandfilterbett Feststoffe an. Für den sicheren Betrieb der Filteranlage ist zur Differenzdrucküberwachung eine zeitliche Steuerung eingerichtet, die die Spülung der Filter in festen Abständen

zum vorhergehenden Spülvorgang auslöst, auch wenn die Differenzdruckmessung den Spülvorgang noch nicht ausgelöst hat.

Die verwendete Technologie wird zwar als „kontinuierlich gespülte“ Filteranlage bezeichnet, auch wenn die Spülung in zeitlicher bzw. in physikalischer Abhängigkeit bezogen auf den gemessenen Differenzdruck erfolgt.

2.4.7.2.6 Differenzdruck

Die Notwendigkeit der Rückspülung der Filter äußert sich über den Filterwiderstand, welcher als Druckdifferenz zwischen Zu- und Ablauf der Filteranlage gemessen wird. Erreicht der Differenzdruck einen voreingestellten oberen Schwellenwert, so wird die Spülung ausgelöst. Diese wird solange betrieben, bis ein unterer Schwellenwert erreicht ist und die Spülung wieder unterbrochen wird.

Das Spülen der Sandfilteranlage erfolgt über die in der PLS hinterlegten Grenzwerte automatisch.

2.4.7.2.7 Rückspüleinrichtung



Abb. 24. Kompressoren für die Filterspülung

Der untere Bereich eines jeden Filters ist als Trichter ausgebildet, in dessen Zentrum sich eine Mammutpumpe (Druckluftheber) befindet. Mit Hilfe der oben gezeigten Kompressoreinheit werden Druckluftbläschen in den Filter eingetragen, wodurch die Dichte des Wassers in diesem Bereich verringert wird. Die sich einstellende Aufwärtsströmung löst die Sandpartikel aus dem Filterbett und die darin eingelagerten Feststoffe.

Im oberen Bereich der Filterzellen werden die Sandpartikel einem speziellen Sandwäschesystem zugeführt, das die Filtrerrückstände und die Schlammfraktion aus der Restdenitrifikation vom Sand trennt. Der Sand fällt ins Filterbett zurück und das Filterspülabwasser wird aus der Filteranlage ausgetragen.

Der gewonnene Filtrerrückstand wird in freiem Gefälle über das Prozesswasserpumpwerk in den Zulauf der Vorklärung eingeleitet.

2.4.7.2.8 Bautechnik

Die Filteranlage ist in einer geschlossenen Halle untergebracht, die nur als Wetterschutz dient. Lediglich über eine Dämmung in der Dachfläche wird im Sommer gewährleistet, dass die einzuhaltenden Arbeitsbedingungen sichergestellt werden.

2.4.8 Primärschlammumpwerk

Das Primärschlammumpwerk ist mit einer Füllstandsmessung und einer TS-Messung ausgerüstet worden.

Für den Schlammtransport wurden eine Primärschlammpumpe und ein Mazerator (Zerkleinerer) installiert. In Abhängigkeit des TS-Gehaltes wird der Faulbehälter beschickt oder der Primärschlamm wird in die Vorklärung zurückgeführt.

Die Primärschlammpumpe läuft über die in der PLS frei einstellbaren Zyklen. Die Förderleistung der Primärschlammpumpe beträgt 10 m³/h.

Die abgezogene Menge des eingedickten Primärschlammes wird mit Hilfe eines MID gemessen. Die MID (Magnetisch-Induktive-Durchflussmessung) ist in dem Abschnitt der PS-Druckleitung installiert, welche aus dem Bestand in Rohrkeller der Schlammfäulung übernommen wurde.

Nach der Mengenummessung erfolgt die Zusammenführung mit der Druckleitung des eingedickten Überschussschlammes. Primärschlamm und Überschussschlamm bilden dann zusammen den Rohschlamm. Dieser wird über den neuen Mischinjektor in die Druckleitung des Heizschlammumwälzkreislaufes eingeleitet.

2.4.9 Umbau des Überschussschlammabzuges

Der Überschussschlammabzug erfolgt über eine vorhandene, separate Rohrleitungsinstallation, die an die Pumpenvorlage für das Rücklaufschlammumpwerk angeschlossen ist, auf den Bandeindicker im Keller der Gebläsehalle. Als Überschussschlammpumpe wird eine Exzentrerschneckenpumpe verwendet.

Die tägliche Überschussschlammproduktion beträgt etwa 100 m³. Der Überschussschlamm wird kontinuierlich abgezogen und dem Bandeindicker, der gleichermaßen im 24 Stunden-Betrieb läuft, zugeführt. Diese Änderung gegenüber dem Planungszustand wurde durch die Mitarbeiter der Anlage entwickelt, um einen effizienteren Betrieb der Kläranlage sicherzustellen.

Die komplette, saugseitige Installation wird unverändert weiter genutzt. Die Druckseite ist den neuen Gegebenheiten (Druckleitung DN80) angepasst worden. Zur Erfassung der abgezogenen Überschussschlammmenge ist in der Druckleitung eine MID zur Mengenummessung installiert worden.

2.4.10 Neubau der maschinellen Schlammentwässerung

Der abgezogene Überschussschlamm weist einen kalkulatorischen Feststoffgehalt von etwa 0,7 % TS auf. Das Zentratwasser hat entgegen der vorherigen Annahme keine Ablaufqualität, sondern muss dem Rücklaufschlamm erneut zugeführt werden.

Um den Wassergehalt auf ein sinnvolles Maß zu reduzieren, wird der Überschussschlamm über einen Bändeindicker geschickt, der nach maßgeblichen Änderungen durch das Personal der Kläranlage, kontinuierlich betrieben werden kann. Gleichzeitig erfolgt die variable Zugabe des Polymers zur Flockenbildung und der besseren Entwässerung nach den empirischen Erfahrungen.



Abb. 25. Bändeindicker

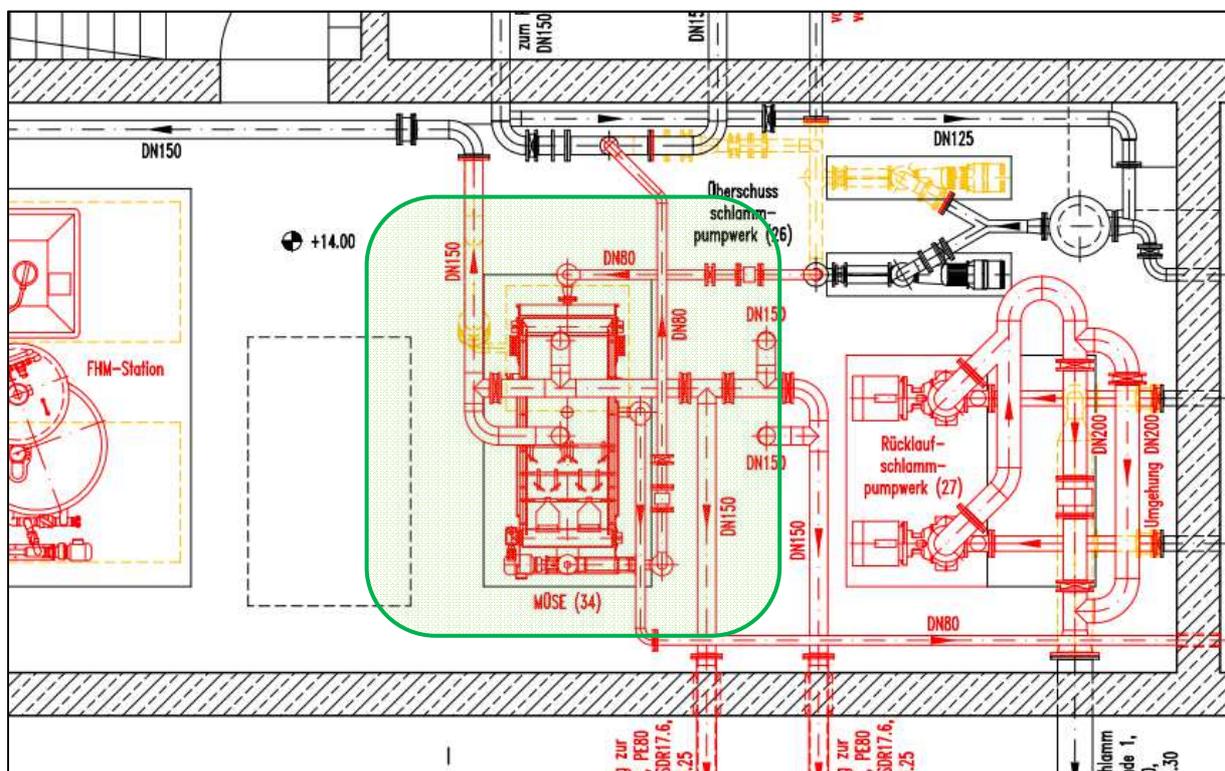


Abb. 26. Bändeindicker im Maschinenkeller

Der Bändeindicker ist im Keller unter der Gebläsehalle in unmittelbarer Nähe der Überschussschlammpumpe installiert.

Der eingedickte Überschussschlamm (ÜS-Dickschlamm) wird direkt hinter dem Bändeindicker in eine, mit einem Auffangtrichter ausgerüstete Exzentrerschneckenpumpe abgeworfen. Diese fördert den Überschussschlamm über eine Druckleitung zum Rohrkeller der Faulung.

Nach der Zusammenführung mit der Primärschlamm-Druckleitung erfolgt über den Mischinjektor die Einleitung des Rohschlammes in den Heizschlammkreislauf.

2.4.11 Flockungshilfsmittelanlage (Siebbandpresse)

Um den Überschussschlamm auf ca. 5 - 6% TS im Austrag einzudicken, ist es notwendig, die tägliche Überschussschlammmenge von etwa 100 m³/d (entspricht 4,0 m³/h) über eine Polymerzugabe zur Optimierung des Flockungsverhalten zu verbessern. Die Zugabe erfolgt über die im Keller der Gebläsestation befindliche Dosierstation.

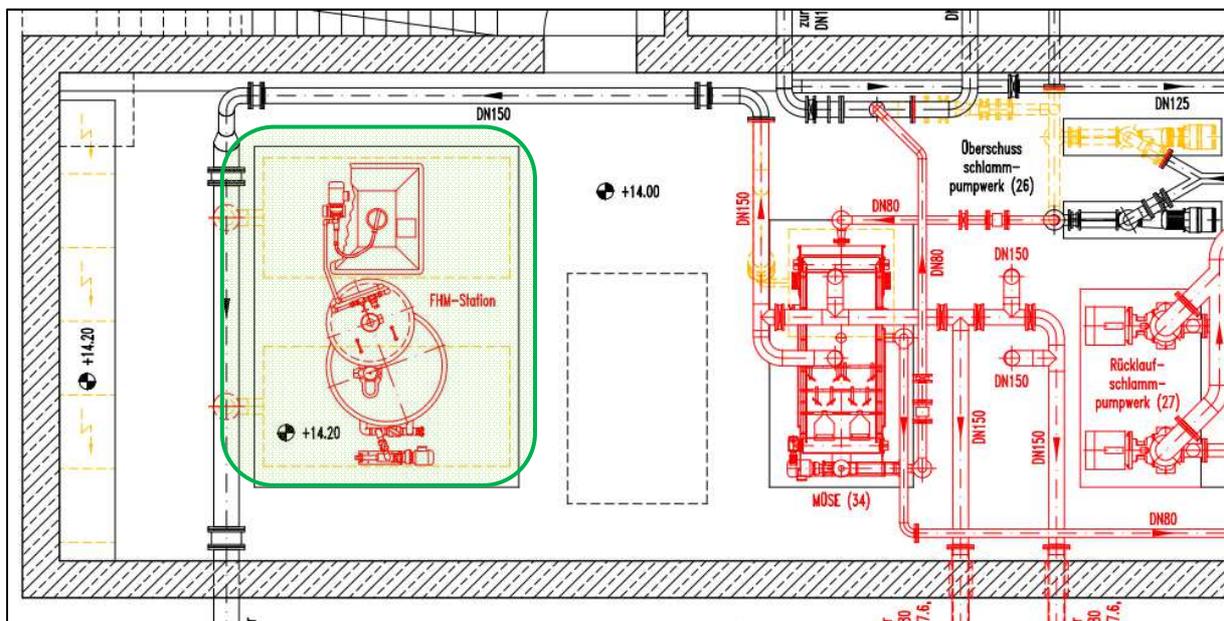


Abb. 27. Flockungshilfsmittelanlage (Polymerzusatz) Zugabestation

Das Flockungshilfsmittel wird mit Hilfe von Dosierpumpen, welche als Exzentrerschneckenpumpen ausgeführt sind, dem Überschussschlamm zugesetzt. Die Einmischung des Polymers erfolgt über einen statischen Inlinemischer. Dieser ist in der Druckleitung zwischen ÜS-Pumpe und Bändeindicker installiert.

Da es nicht erforderlich ist, das gewonnene Trübwasser in den Zulauf zurückzuleiten und erneut der mechanische Reinigung zuzuführen, wird es über den Rücklaufschlamm wieder in die Belegung gefördert.

Das Trübwasser fällt unterhalb des Niveaus des Rücklaufschlammes im entsprechenden Pumpensumpf an und wird mit einer Kreiselpumpe (4,0 m³/h) zur Kaskade 1 gepumpt.



Abb. 28. Station zur Zugabe des Flockungshilfsmittels

2.4.12 Umbau der gesamten Faulung einschließlich der Faulturmsanierung



Abb. 29. Faulbehälter mit neuer Bekleidung

2.4.12.1 Beschickung der Faulbehälter und Faulschlammabzug

Beim Primärschlamm ist eine über den Tag gleichmäßige Beschickung sichergestellt, die nach Anpassungen durch das Betriebspersonal einen kontinuierlichen Betrieb ermöglicht.

Der Schlamm wird über Pumpen und separate Druckleitungen zum Rohrkeller der Faulung gefördert.



Abb. 30. Rohrkeller, Faulturm

Innerhalb des Rohrkellers werden beide Druckleitungen für den Primärschlamm zusammengeführt und schließlich über einen Mischinjektor direkt in den Heizschlammkreislauf eingeleitet.

Durch diese Betriebsweise wird gewährleistet, dass der Rohschlamm bereits vor dem Eintritt in den Faulbehälter und vor dem Wärmetauscher mit Faulschlamm geimpft wird und der Rohschlamm bei Einleitung in den Faulbehälter die erforderliche Prozesstemperatur von 35 °C erreicht hat.



Abb. 31. Fermanox-Anlage zur Brauchwasseraufbereitung



Abb. 32. Druckwasserbehälter

Die vorhandene Rohrleitungsinstallation erlaubt es, den Rohschlamm an drei verschiedenen Höhen im Faulbehälter einzuleiten und zwar unten, etwa auf einem Drittel der Höhe oder auf zwei Drittel der Gesamthöhe des Faulbehälters.



Abb. 33. Rohrkeller

Der Schlammabzug aus dem Faulbehälter erfolgt über Verdrängung, so dass immer genau die Menge an Faulschlamm ausgetragen wird, welche dem Faulbehälter über Beschickung zugeführt wurde.

Die ehemalige Konstruktion zum Schwimmdecken- bzw. Faulwasserabzug wurde so umgebaut, dass sie jetzt als Überlaufschwelle fungiert. Der Ablauf erhielt eine siphonähnliche Konstruktion, die gleichzeitig als Gasverschluss dient.

Der stabilisierte Faulschlamm läuft über den umgebauten Ablauf in die äußere Schlammtasche ab und wird von dort über die vorhandenen Schlammlleitungen zum Eindicker und zur maschinellen Schlammwässerung abgeleitet.

Im Zuge der Umbau- und Modernisierungsmaßnahmen wurden die gesamten Rohrleitungsinstallationen und die meisten Armaturen im Rohrkeller vollständig erneuert. Ein Bestandsplan wurde dem Bauherrn bisher noch nicht vorgelegt.

Verfahrenstechnisch wurde der Bestand, bis auf die zuvor beschriebenen Modernisierungsmaßnahmen und einige zusätzliche Änderungen zur Optimierung des Betriebes, übernommen.

Der umgebaute Faulbehälter verfügt nicht mehr über einen Trüb- oder Faulwasserabzug, da diese Einrichtungen mit der neuen internen Umwälzung nicht mehr erforderlich sind.

2.4.12.2 Optimierung der Durchmischung durch interne Umwälzung

Im Faulbehälter wurde ein Faulschlammischer der Fa. Halberg installiert. Der sogenannte Schraubenschaufler (archimedische Schraube in einem Druck- / Saugrohr) arbeitet wie eine Rohrpumpe.

Im Zentrum des Faulbehälters ist ein senkrecht aufgestellt, welches bis fast in die Trichterspitze reicht und oben knapp unter dem Schlamm Spiegel endet. Im oberen Bereich ist das elektrisch angetriebene Schraubenaggregat installiert, mit dem der Schlamm wahlweise im Druckbetrieb nach unten, oder im Saugbetrieb nach oben gefördert werden kann.

2.4.12.3 Optimierung des Heizenergiebedarfes durch Wärmedämmung

Um Wärmeabstrahlverluste über die Außenhaut des Faulbehälters zu minimieren und sicherzustellen, dass auch während der Heizperiode in den Wintermonaten die komplette Heizenergie für den Faulbehälter und die Betriebsgebäude aus Klärgas gewonnen werden kann, ist der Faulbehälter mit einer neuen Wärmedämmung (Mineralwolle) und Verkleidung (Blechverkleidung) versehen worden.

Zur Vermeidung weiterer Wärmeverluste haben sämtliche Leitungen, die mit dem Heizkreislauf zusammenhängen, eine zusätzliche Isolierung erhalten.

2.4.13 Eigenenergiepotential durch Klärgasnutzung

Die durchgeführte Erfolgskontrolle durch das Büro Rummler und Hartmann (Havixbeck) ergab, dass über einen Zeitraum von 12 Monaten durch das installierte BHKW ca. 120.000 kWh/a gewonnen werden konnten. Dies entspricht etwa 25,0 % des Gesamtbedarfes.

2.4.13.1 Gasbehälter

Der vorhandene Gasbehälter hat ein Volumen von 100 m³. Die Anlage wurde zur Verbesserung der Betriebssicherheit mit Schachtbauwerken zur Aufnahme von zusätzlichen Armaturen erweitert. Die Füllkapazität des Gasbehälters entspricht etwa 1/3 der täglich anfallenden Gasmenge von ca. 300 m³.

2.4.13.2 Gasfackel

Die vorhandene Gasfackel wurde im Bestand belassen, um bei Störungen im Gassystem, wenn weder das BHKW noch der Heizkessel betrieben werden können und die Kapazitätsgrenze des Gasspeichers mit 100,0 m³ erreicht wird, das überschüssige Gas entsorgen zu können.

Die Gasleitung zur Gasfackel wird druckseitig vom Gasbehälter abgezweigt. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Gasfackel nur in Betrieb gehen kann, wenn der Gasbehälter vollständig gefüllt ist.

2.4.13.3 Neubau eines BHKW

Zur Eigenenergieerzeugung ist auf der Kläranlage ein Blockheizkraftwerk installiert worden.

Bei der Dimensionierung des BHKW für die Kläranlage Isselburg wurde bei der Planung von einem thermischen Wirkungsgrad von ca. 55 % und einem elektrischen Wirkungsgrad von 33 % für den prognostizierten/geplanten Endausbauzustand mit 20.000 EW ausgegangen, was aktuell dazu führt, dass das BHKW (die spezifische Einwohnerzahl beträgt derzeit nur 13.550 EW) über weite Strecken momentan noch im Teillastbetrieb arbeitet.

Die mit dem derzeitigen Zwischenbelastungszustand der Gesamtanlage erzielbare Gasproduktion reicht daher nicht für einen optimalen Volllastbetrieb des BHKW aus und führt zu einem schlechten Wirkungsgrad. Erst mit Erreichen des Anschlusses der geplanten Ausbaugröße von 20.000 EW wird das BHKW die prognostizierte Gesamtleistung an Wärme und Elektrizität erzielen.

Das BHKW kann zu einem Großteil der Betriebszeit wegen des geringen Faulgasanteils nur im Teillastbereich betrieben werden. Aus diesem Grund fällt die Eigenenergieerzeugung mit 120.000 kWh/a zu gering aus.

Das BHKW ist in einem separaten Raum in der Gebläsehalle installiert worden. Östlich des Betriebsraumes für das BHKW ist außerhalb des Gebäudes ein Notkühler installiert worden.



Abb. 34. Notkühlanlage für das BHKW

2.4.13.4 Nutzung der Abwärme zur Kälteerzeugung / Betriebserfahrungen

Bis zu einem Außentemperaturniveau von ca. 20 °C kann der inneren Wärmeentwicklung in Schaltanlagen mit ausreichende Durchlüftung entgegen gewirkt werden. Bei höheren Außentemperaturen reicht diese Maßnahme nicht aus, so dass diese Bereiche klimatisiert werden müssen.

Die erforderliche Kühlung der Betriebsräume erfolgt mittels einer Adsorptionskältemaschine, die aus der Abwärme im Wesentlichen des BHKW's Kälte erzeugt.

Durch den derzeit geringeren Gasanfall werden noch keine kontinuierlichen / langfristigen Laufzeiten des Blockheizkraftwerks erreicht, so dass in der Folge ebenfalls die „Ausbeute“ an Abwärme nicht ausreichend ist um die Adsorptionskältemaschine mit genügend Wärme für die Kälteproduktion zu versorgen.

Hieraus resultierend können die Betriebsräume mit der installierten Technik bei bestimmten Witterungsverhältnissen (beispielsweise im Sommer) noch nicht ausreichend gekühlt werden. Die Kühlung der Betriebsanlagen erfolgt saisonal bzw. witterungsabhängig bedarfsweise und zusätzlich unterstützend mit mobilen Klimageräten.

Die vorgesehene Kühlung der Betriebsräume und der elektrischen Anlagen über die Adsorptionskältemaschinen ist aus vorgenannten Gründen noch nicht voll funktionsfähig.

2.4.14 Entwässerungszentrifuge

Der aus dem Faulbehälter verdrängte und im Ausgleichsbehälter (Speichervolumen 150 m³) gesammelte Schlamm wird der Schlammentwässerung zugeführt.

Vor der Beschickung der Zentrifuge werden in der auf dem nachstehenden Bild gezeigten Anlage (im Erdgeschoss in einem separaten Raum der neuen Filterhalle untergebracht) Polymere zugegeben, um die Entwässerungsleistung der Zentrifuge zu verbessern.

Die Beschickung der Zentrifuge mit stabilisiertem Schlamm aus der Vorlage erfolgt mit Hilfe einer Exzentrerschneckenpumpe. Die Pumpe verfügt über ein elektrisch verstellbares Riemengetriebe und kann in einem Bereich von 4,00 – 20,0 m³/h betrieben werden.

Die Leistung der Pumpe ist den optimierten Betriebsdurchsatz der Zentrifuge von 12,0 m³/h vom Kläranlagenpersonal angepasst worden.

Der erhöhte Standort der Zentrifuge ermöglicht den unmittelbaren Schlammabwurf in spurgebundene Transportcontainer – mit einem Nutzvolumen von 10,0 m³ - auf einem Rollwagen, die so unterhalb des Dekanters gefahren werden können.

Der Container kann nach dem Erreichen der Füllmenge mit dem Rollwagen längs verschoben werden, so dass dessen Aufnahme durch ein entsprechendes Transportfahrzeug problemlos möglich ist.



Abb. 35. Polymeranlage für die Zentrifuge



Abb. 36. Zentrifuge der Firma Hiller

2.4.15 Vorlagebehälter

Seitens des Betriebes wird die Speicher- oder Vorlagekapazität von etwa 150 m³ vollständig ausgenutzt. Sobald der Vorlagebehälter seine maximale Speicherkapazität erreicht hat, wird der Dekanter (Zentrifuge) für 2-3 Tage in Betrieb genommen.

Für die Entwässerung des stabilisierten Schlammes, der mit 2,5 % TS der Zentrifuge zugeführt wird, sind je nach betrieblicher Kapazität 2-3 Werkstage erforderlich. Die Zentrifuge wird vom Betrieb mit einem Schlammumsatz von 12,0 m³/h betrieben, so dass innerhalb des o.a. Entwässerungszeitraums der Vorlagebehälter fast vollständig freigezogen werden kann.

Über die Zentrifuge wird der stabilisierte Schlamm von 2,5 % TS auf 26,5 % TS eingedickt. Hieraus ergibt sich ein rein rechnerisches Schlammvolumen von ca. 14,75 / 15,0 m³, so dass der Container unterhalb der Zentrifuge innerhalb des Betriebsintervalls einmal gewechselt werden muss.



Abb. 37. Zugang zum Vorlagebehälter

2.4.16 Umbau des Fäkalien- und Filtratspeichers zum Trübwasserbehälters

Der ehemalige unterirdische Tank zur Fäkalienannahme ist mit dem Umbau und der Modernisierung der Kläranlage zum Trübwasserspeicher umgebaut worden. Der Behälter befindet sich unmittelbar im Zufahrtsbereich der Anlage.

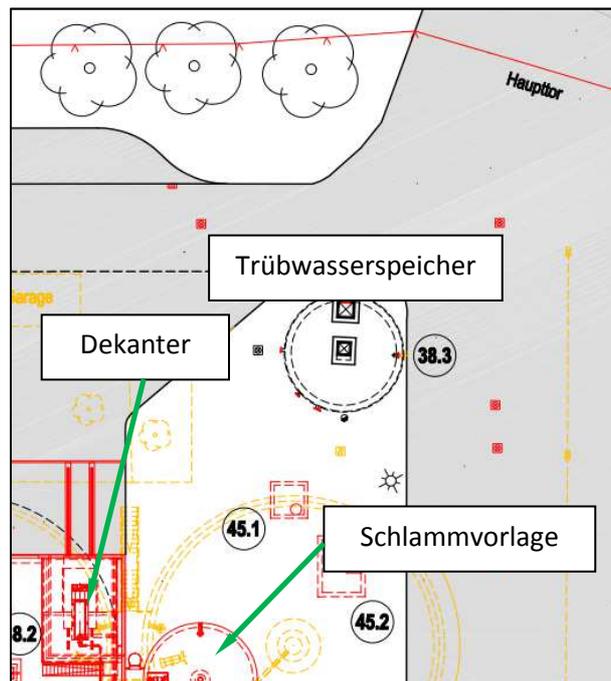


Abb. 38. Lage Trübwasserspeicher

Auf der nachfolgenden Skizze ist der umgebaute Behälter zur Trübwasseraufnahme im Schnitt zu erkennen.

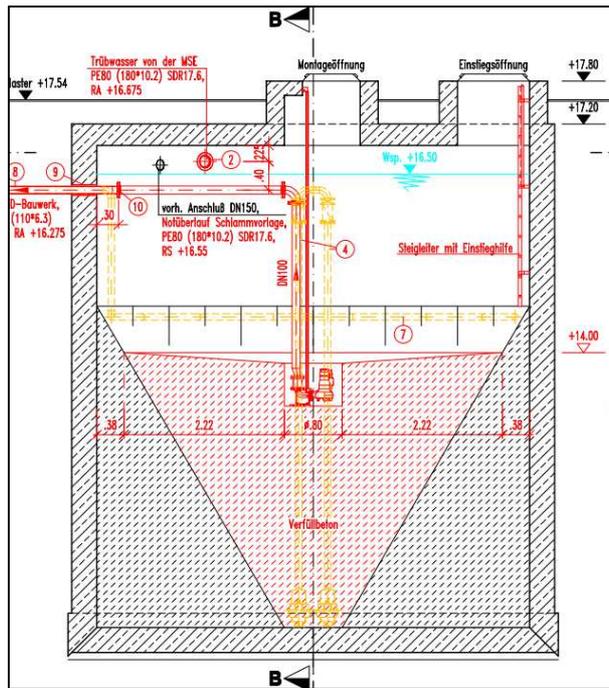


Abb. 39. Trübwasserbehälter

In dem oben aufgeführten Schnitt (Vorplanung) ist deutlich zu erkennen, dass der ehemals trichterförmig ausgebildete Fäkalientank nur noch über ein leichtes inneres Sohlgefälle und einen kleinen Pumpensumpf verfügt.

Der umgebaute Behälter hat ein Volumen von $72,0 \text{ m}^3$. Das Speichervolumen ist deutlich kleiner als die während einer Betriebsschicht der Zentrifuge anfallende Trübwassermenge, die sich auf etwa $92,0 - 93,0 \text{ m}^3$ beläuft.

Das anfallende Trübwasser wird über den Tagesverlauf sukzessive dem Reinigungsprozess (Vorklärbecken) so zugeführt, dass im Trübwasserspeicher immer ausreichende Speicherkapazitäten vorgehalten werden.

Der Schacht ist nach wie vor über die vorhandene Einstiegs- und Montageöffnung begehbar.

2.4.17 Anpassung des Betriebsgebäudes und der Elektrotechnik

Das vorhandene Betriebsgebäude wurde aufgrund der geltenden Vorschriften umgebaut. Der Umbau umfasste alle Bereiche, wie die zentrale Warte, die Niederspannungsunterverteilung, die Umkleide- und Sanitärräume sowie die vorhandene Garage und die ehemalige Halle in der die Siebtrommel zur maschinellen Schlammeindickung betrieben wurde.

2.4.17.1 Sanitäre Bereiche

Das Betriebsgebäude verfügt heute über eine Gästetoilette, einen Liegeraum und sonstige nach Geschlechtern getrennte sanitäre Bereiche. Diese Räume sind im Bereich der ehemaligen Garage und der Halle für die Siebtrommel errichtet worden.

Innerhalb des Betriebsgebäudes ist zusätzlich ein separater Raum (vom zentralen Flur aus zu erreichen) errichtet worden, indem ein Trockner und eine Waschmaschine aufgestellt worden sind.

2.4.17.2 Liegeraum

Aus den Forderungen der gültigen Arbeitsstättenrichtlinie ergibt sich auch, dass ein sogenannter Liegeraum vorhanden sein muss. Dieser dient zur Erstversorgung von Verletzten und zur Lagerung von Personen bei Unwohlsein. In dem Raum ist eine Sanitätsliege aufgestellt und ein Erste-Hilfe-Kasten installiert.

2.4.17.3 Niederspannungsunterverteilung

Aufgrund der Veränderung der gesamten Konzeption der EMSR-Technik ergab sich die Anforderung, die Niederspannungsunterverteilung (NSUV) umzubauen. Die neue Niederspannungsunterverteilung ist im Bereich der ehemaligen Umkleide für die Mitarbeiter und in der Außenwand zugewandten Teilbereichen der alten NSUV untergebracht.

Die Schaltanlagen sind auf einem aufgeständerten Boden aufgestellt. Somit konnten alle Kabel auf dem Rohfußboden verlegt und von unten in die Schränke eingeführt werden. Der Zugang zur NSUV erfolgt über einen kleinen Vorraum, der über die zentrale Warte erreicht werden kann.

Zur Schaffung der neuen NSUV und des Vorraumes wurden neue Trennwände aufgestellt.

2.4.17.4 Zentrale Warte

Die neue zentrale Warte verfügt über zwei PC-Arbeitsplätze und zwei wandmontierte große Bildschirme, über die alle betrieblichen Einstellungen, Meldungen und Änderungen vorgenommen werden können.

Innerhalb der Betriebswarte ist neben den beiden Arbeitsplätzen auch ein Besprechungstisch vorhanden. Bei längeren Besprechungen ist es jedoch empfehlenswert die Unterredungen zu verlagern, da diese die Arbeiten in der Warte extrem stören.

2.4.17.5 Pumpen- und Ersatzteillager

An der Nordseite des Filtergebäudes wurde als Ersatz für das aufgegebene Pumpen- und Ersatzteillager im Keller des Betriebsgebäudes ein neuer Raum als Lagerbereich hergerichtet.

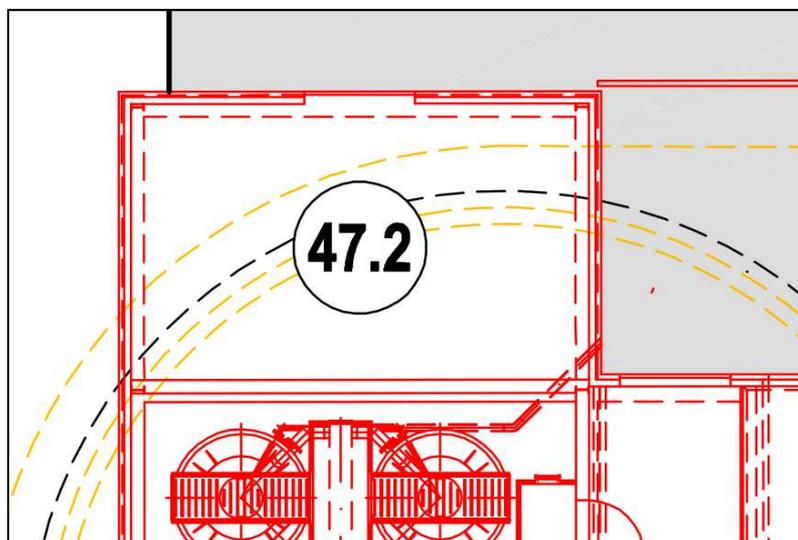


Abb. 40. Pumpenlager

2.5 Behördliche Anforderungen

Parameter	Wert	Einh.
B _{d, CSB, Z}	2.400,0	kg/d
B _{d, BSB, Z}	1.200,0	kg/d
B _{d, NH₄, Z}	176	kg/d
B _{d, orgN, Z}	44,0	kg/d
B _{d, TKN, Z}	220,0	kg/d
B _{d, NO₃, Z}	0,0	kg/d
B _{d, gesN, Z}	220,0	kg/d
B _{d, gesP, Z}	36,0	kg/d
B _{d, Tso, Z}	1.400,0	kg/d

Tab. 1. Bemessungsfrachten im Zulauf der Kläranlage (Erläuterungsbericht)

Tab. 2.

Parameter	Wert	Einh.
CSB	56	mg/l
BSB ₅	10	mg/l
TS	35	mg/l
NH ₄ -N (12 °C)	4	mg/l
N _{ges} (12 °C)	18	mg/l
P _{ges}	1	mg/l

Tab. 3. Geforderte Ablaufwerte (Erläuterungsbericht) der Bezirksregierung Münster

Parameter	Wert	Einh.
CSB	ca. 20 – 30	mg/l
BSB ₅	ca. 2 - 5	mg/l
TS		mg/l
NH ₄ -N (12 °C)	ca. 0,1 - 1	mg/l
N _{ges} (12 °C)	ca. 5 - 10	mg/l
P _{ges}	ca. 0,4 – 0,5	mg/l

Tab. 4. Tatsächliche Ablaufwerte

2.6 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Anlage befindet sich aktuell im dritten Betriebsjahr nach dem vollständigen Abschluss der Umbauarbeiten. Alle Betriebsdaten vor und der abschließende Vergleich der Betriebsdaten nach dem Umbau sind erfasst worden.

Sämtliche vor und nach Umbau erfasste Daten und Betriebsdaten hat das mit der Energieanalyse im Rahmen der Erfolgskontrolle beauftragte Ingenieurbüro in seine Untersuchung eingearbeitet und im Zuge der energetischen Feinanalyse und Bewertung des Erfolges der Umbaumaßnahme und Modernisierung der Kläranlage ausgewertet.

Die behördlich geforderten Ablaufparameter aus der derzeit gültigen Einleitgenehmigung werden nach dem Umbau der Anlage eingehalten.

3. Ergebnisse / Empfehlungen

3.1 Bewertung der Vorhabendurchführung

Trotz des höheren finanziellen Aufwandes von etwa 35,5 % (gegenüber der Kostenberechnung zum Förderantrag) kann aus Sicht des Betreibers mitgeteilt werden, dass allein die Erfolge bei der Reduzierung des Energieverbrauchs um 44 % - die Prognose lag bei 50 % mit avisierter Autarkie - das durchgeführte Vorhaben insgesamt einer positiven Bewertung zugeführt werden kann.

3.2 Energiebilanz

Die energetische Optimierung der Kläranlage Isselburg hat zu einer deutlichen Verbesserung der einwohnerspezifischen Energieverbräuche geführt. Dieser Energieverbrauch entspricht heute lediglich noch gut der Hälfte wie zuvor.

Detailliert sind die Ergebnisse der Energieanalyse, die dieser zugrunde liegenden Daten der Energiebilanz, sowie die zugehörige Untersuchungen des beauftragten Ingenieurbüros dem beigefügten Bericht zur energetischen Feinanalyse (Ingenieurbüro Rummler und Hartmann aus Havixbeck und Hygiene-Institut des Ruhrgebietes/Institut für Umwelthygiene und Toxikologie aus Gelsenkirchen) des Messprogramms zu entnehmen.

3.3 Umweltbilanz

Nach Abschluss des Messprogramms kann festgestellt werden, dass sich der Energieverbrauch von 694.127 kWh/a im Jahre 2001 und von 751.419 kWh/a im Jahre 2010 auf insgesamt 485.655,0 kWh/a (i. d. Zeit von 06.2017 bis 05.2018) einschließlich der Mischwasserbehandlung reduziert hat.

Es wurde weiterhin festgestellt, dass der errechnete theoretische Stromverbrauch von etwa 534.091,0 kWh/a um etwa 9 % vom tatsächlich gemessenen Stromverbrauch mit 485.655,0 kWh/a abweicht.

Stellt man diese Ergebnisse gegenüber und berücksichtigt beim tatsächlich gemessenen Stromverbrauch nur den Wert, der für die Abwasserreinigung (also ohne den Energiebedarf der Mischwasser-

behandlung) verwendet wird, so bleibt festzustellen, dass der Energieverbrauch von 751.419,0 kWh/a auf 424 931 kWh/a reduziert werden konnte.

Dies entspricht einer Reduzierung um 44,0 %. Die Einsparung beträgt somit etwa 326.000 kWh/a. Monetär würde dieser Energieminderbedarf bei der Zugrundelegung von 0,21 ct/kWh einer jährlichen Einsparung von etwa 68.000 € bei den Energiekosten entsprechen.

3.4 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

3.4.1 Durchführung

Die Fertigstellung der Anlage mit der vollständigen Inbetriebnahme der gesamten Verfahrens- und Anlagentechnik erfolgte mit Verzögerung Ende 2015. Die abschließende bauliche Fertigstellung der Kläranlage Isselburg erfolgte im September 2016. Hieran anschließend wurde das Ingenieurbüro mit der Erstellung der Erfolgskontrolle beauftragt.

3.4.2 Ergebnisse des Messprogramms

Das Büro bestimmte in der energetischen Feinanalyse zur Kläranlage Isselburg den aktuellen theoretischen Stromverbrauch und Wärmebedarf und hat diesen Berechnungswert den tatsächlich gemessenen Werten gegenübergestellt.

In diesem Zusammenhang wurde festgestellt, dass das neu installierte BHKW bis zum Erreichen der geplanten Nennbelastung nicht voll ausgelastet sein wird. Das BHKW liefert aktuell nur 25 % des Strom- und Wärmebedarfs.

Die energetische Analyse geht davon aus, dass die Vollauslastung des BHKW – und die prognostizierte Gesamtleistung - nach den geplanten Gewerbe- und den Wohngebietserweiterungen sicher erreicht werden kann.

Hiervon abhängig ist auch die erforderliche Kühlleistung, die aktuell provisorisch sichergestellt wird und somit die Erfolgsbilanz durch den hierfür erforderlichen Strombedarf negativ beeinflusst.

Mit der Vollauslastung des BHKW im geplanten Ausbauzustand ist dann auch eine deutliche Reduzierung des zusätzlichen Stromverbrauches für die Kühlleistung zu erwarten.

3.4.3 Geplanter Zielwert des Stromverbrauches für die Kläranlage Isselburg

Der theoretische Zielwert für die Kläranlage Isselburg hinsichtlich des mit der Umbaumaßnahme zu erreichenden spezifischen Stromverbrauches liegt bei $24,0 \text{ kWh}/(\text{E} * \text{a})$.

Die Zielwertermittlung folgt den Kriterien der Förderung des „Umweltinnovationsprogramm – Förderschwerpunkt energieeffiziente Abwasseranlagen (UIP - EAA)“ und dem diesen zu Grunde liegenden Arbeitsblatt „DWA-A 216 - Energiecheck und Energieanalyse - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen“ der „Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.“.

3.4.4 Mischwasserbehandlung

Bei der Berechnung des spezifischen Stromverbrauches ist der Elektrizitätsverbrauch für die Mischwasserbehandlung in Abzug zu bringen. Das Büro Rummler und Hartmann GmbH hat in diesem Zusammenhang einen Verbrauch von 60.716 [kWh/h] ermittelt.

3.4.5 Gesamtstromverbrauch

Der gesamte elektrische Energiebedarf der Kläranlage Isselburg lag zwischen Juni 2017 und Mai 2018 bei 485.655 kWh/a, gemessen mithilfe von Stromzählern zur Ermittlung des Netzbezuges (365.212 kWh/a) und zur Ermittlung der Eigenerzeugung durch das BHKW (120.443 kWh/a)“.

Werden die besonderen Verbraucher hiervon abgezogen, beläuft sich der jährliche Energiebedarf auf etwa 424.939 kWh/a (485.655 kWh/a – 60.716 kWh/a) (siehe anhängenden Fachbericht zur Feinanalyse Tab. 6, S. 16).

Unter Bezugnahme auf die Vorgaben der DWA/A 216 liegt der spezifische Stromverbrauch der Kläranlage Isselburg unter Annahme von 13.550 angeschlossenen Einwohnerwerten bei 31,36 kWh/(E * a).

3.4.6 Vergleichende Betrachtung

In der energetischen Feinanalyse hat das mit der Erstellung der Erfolgskontrolle beauftragte Ingenieurbüro auch einen Vergleich zu Anlagen ähnlicher Ausbaugröße (< 20.000 EW) durchgeführt und stellt hierbei fest, dass dort im Median 47,3 kWh/(E * a) verbraucht wurden. Der Verbrauch im Bereich um das 25-Perzentil der dieser bewerteten 55 Kläranlagen liegt noch über 35 kWh/(E * a).

Wird der auf der Kläranlage Isselburg ermittelte einwohnerspezifische Stromverbrauch von 31,36kWh/(E * a) diesen Werten gegenübergestellt, kann geschlussfolgert werden, dass die Kläranlage Isselburg energetisch effizient betrieben wird.

Hierüber hinaus besteht, wie vorgenannt, die weitere Einsparmöglichkeit im Bereich der derzeit noch zusätzlichen Energie für die Kühlleistungen, sobald die für den Betrieb der Adsorptionskältemaschinen notwendige Abwärme des BHKW bei entsprechender Gasproduktion zur Verfügung steht.

Aktuell wird der im Antrag beschriebene spezifische Energieverbrauch nicht erreicht. Mit Erreichen der Sollauslastung der Kläranlage mit 20.000 EW wird dieser jedoch, nach heutiger Beurteilung, näherungsweise erreicht werden können.

3.4.7 Fazit der Feinanalyse

Die energetische Optimierung der Kläranlage Isselburg hat zu einer deutlichen Verbesserung der einwohnerspezifischen Energieverbräuche geführt. Vor der energetischen Optimierung beliefen sich diese noch auf rund 56 kWh/(E * a). Aktuell beläuft sich der Verbrauch auf 31,36 kWh/(E * a), womit etwa 44 % weniger Energie verbraucht wird als vor der Optimierung.

3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Insgesamt ist die Anlage etwa 35,5 % teurer geworden, als im Förderantrag vorgesehen, sodass sich die beabsichtigten Amortisationszeiträume/Amortisationsbeträge entsprechend verlängern/ändern.

Die maßgeblichen Kostensteigerungen sind im Bereich der Zulauf- und Ablaufsituation, Feststoffabtrennung, der chemisch-physikalischen Reinigung, der Schlammbehandlung, beim Betriebsgebäude und im Zusammenhang mit der Umgestaltung der Energiewirtschaft aufgetreten.

Daneben waren auch Kostenreduzierungen zum Beispiel im Bereich der biologischen Reinigung und den entsprechenden Verbindungsleitungen, sowie bei der Ver- und Entsorgungsanlage festzustellen.

Insgesamt ist die Anlage aufgrund von unvorhergesehenen technischen Problemen und dem nicht ausreichend berücksichtigten Ursprungszustand in der Planung deutlich teurer geworden.

Durch diese Umstände begründet waren in den o. a. Leistungsbereichen Mehraufwendungen zu tätigen.

Abschließend bleibt festzustellen, dass die durchgeführten Maßnahmen vor dem Hintergrund einer nachhaltigen energieeffizienten Abwasserbehandlung, einer deutlich verbesserten Reinigungsleistung, der optimierten Prozesse der Schlammbehandlung und der eigenen Energieerzeugung und Energienutzung als wirtschaftlich betrachtet werden können.

Mit dem Erreichen des Prognosewertes von 20.000 EW durch die geplanten Gewerbe- und Wohnsiedlungen wird sich die Wirtschaftlichkeit nochmals zum Positiven hin verändern.

3.5.1 Verwendung der Fördermittel

Die gewährten Fördermittel wurden zeitnah und fristgerecht nach Erhalt für die Durchführung des Projektes verwendet. Nach dem vorliegenden Schlussverwendungsnachweis ist noch ein Restbetrag an Fördermitteln offen, der nach der Freigabe des Schlussverwendungsnachweises durch den Fördermittelgeber ausgezahlt wird.

3.6 Technischer Vergleich

Herausstechendes Innovationsmerkmal der energetischen Optimierung und Modernisierung zum Einen und der Verbesserung der Ablaufwerte zum Anderen sei hier der vollständige Umbau der Biologischen Abwasserreinigung zur Kaskadenbiologie mit simultaner Dentrifikation mittels intermittierender Belüftung ohne Rührwerke und ohne Rezirkulation genannt. Hiermit ist nicht nur eine erhebliche Energieeinsparungen erzielt (s. Anhang Erfolgskontrolle), sondern gleichfalls eine stabilere und deutlich verbesserte Reinigungsleistung (s. Anhang Abwasseranalysen).

3.7 Eigenenergieversorgung

Es wäre sinnvoll beim stufenweisen Ausbau der Anlage das BHKW zweistufig, also mit einem kleinen und einem größeren Gerät auszustatten, um so den Volllastbetrieb (wirtschaftlicher Betrieb) aller installierten Aggregate sicherzustellen.

Durch diese Maßnahme könnte sichergestellt werden, dass variabel auf die ggf. schwankende Gasausbeute aus der Schlammstabilisierung durch den Betrieb reagiert werden kann.

3.8 Maßnahmenbegleitung / Projektsteuerung / sachverständige Überwachung

Maßnahmen dieser Größenordnung sollten grundsätzlich von einer zusätzlichen Projektsteuerung und/oder einem sachverständigen Büro in einer Kontrollfunktion begleitet werden.

4. Zusammenfassung

4.1 Einleitung

Die Kläranlage Isselburg ist eine mechanisch und biologisch konzipiert betriebene Kläranlage mit einer Ausbaugröße von 20.000 EW. Die derzeitige Belastung beträgt jedoch nur 13.550 EW.

Die Anlage wurde in den letzten Jahren sukzessive bis zur abschließenden Ertüchtigung, modernisiert.

In Anbetracht der geplanten Ausweisung neuer Gewerbeflächen und Wohngebiete (Gebietsentwicklung) wurde eine Erweiterung der Kläranlage von 14.000EW auf eine rechnerische Belastung von 20.000 EW erforderlich.

Um dieses Ziel zu erreichen, war die gesamte Anlage über die mechanische und biologische Reinigungsstufe einschließlich der Ergänzung um eine Sandfilteranlage, die Schlammbehandlung und die Faulgasproduktion vollständig zu überarbeiten.

4.2 Vorhabensumsetzung

Einhergehend mit der Realisierung einer Ausbaugröße von 20.000 EW sollte auch der hohe Energieverbrauch der Anlage von 53,4 kWh/EW *a auf den möglichen Nennwert von 24,0 kWh/EW * a reduziert werden.

Die Vorhabensumsetzung lässt sich in folgende Maßnahmenelemente gliedern:

- Ertüchtigung der mechanischen Reinigungsstufe
- Umbau der Nitrifikation
- Umbau der Denitrifikation
- Umbau der Phosphorelimination
- Erneuerung der Maschinenteknik in der Kompressorenhalle
- Errichtung einer Sandfilteranlage zur Schwebstoff- und Phosphorreduzierung

Zur Umsetzung der oben aufgeführten Ziele war geplant, die bestehenden Anlagen und Bestandsobjekte vorzugsweise zu ertüchtigen und zu sanieren, um diese dann entsprechend den Anforderungen die Kapazitätssteigerung zu erweitern.

Aufgrund der Dimensionierung der Kläranlage auf eine Ausbaugröße von 20.000 EW sind im aktuellen Betrieb und damit derzeit angeschlossenen 13.550 EW Kompromisse hinsichtlich der Energieeinsparung zu machen. Verschiedene Anlagenteile und auch die Maschinenteknik sind für diese momentane Belastung zu groß dimensioniert bzw. in Betrieb, obwohl dies erst für die Erreichung des Anschlussgrades entsprechend Ausbaugröße erforderlich wäre.

4.3 Ergebnisse

Der Gesamtverbrauch an elektrischer Energie liegt nach der Ertüchtigung der Kläranlage bei 31,36 kWh/EW *a. Somit ist das Ziel hinsichtlich des möglichen Nennwertes von 24,0 kWh/EW * a zunächst

nicht erreicht worden. Andererseits konnte der Energieverbrauch von 751.419,0 kWh/a auf 485.665,0 kWh/a einschließlich der Mischwasserbehandlung bzw. auf 424.933,0 kWh/a exklusive dieser reduziert werden. Dies entspricht einer Einsparung von 44,0 %, sodass sich mit der optimierten Anlage derzeitigem Energiepreis für Elektrizität etwa 68.000 € an Energiekosten pro Jahr einsparen lassen.

Die Auslegung, Dimensionierung und Ausrichtung der Umbau- und Modernisierungsmaßnahme auf die Ausbaugröße und zukünftigen Anschlussnehmer von 20.000 EW infolge der Gebietsentwicklung wirken sich auf den aktuellen Energieverbrauch nachteilig aus.

So ist die errichtete Sandfilteranlage erst für den Prognosefall erforderlich. Mit der aktuellen spezifischen Belastung ist die Qualität der Abwasserbehandlung insgesamt so gut zu gewährleisten, dass beim jetzigen Anschlussgrad die u. a. für die Reduzierung der Schwebstoffanteile vorgesehene Sandfilteranlage nach derzeitigen betrieblichen Erkenntnissen, voraussetzend die hydraulischen Verhältnisse lassen dies jeweils zu, temporär und/oder sektional teilweise außer Betrieb genommen werden könnte. Diese dient jedoch derzeit bereits insbesondere der Reduzierung der Phosphorwerte von 0,6 mg/l auf 0,4 mg/l (Betriebsmittelwert).

Ebenfalls mit den derzeit geringer angeschlossenen Einwohnerwerten einhergehend, und der damit verbundenen verminderten Klärgasproduktion, ist die hieraus gleichermaßen resultierend verminderte Kühlleistung der Kälteadsorptionsmaschine festzustellen.

4.4 Ausblick

Im Rahmen der betrieblichen Optimierung werden derzeit verfahrens- und betriebstechnische Optimierungen erarbeitet, insbesondere dahingehend, den aus vorgenannten Gründen momentan noch erhöhten spezifischen Energieverbrauch auch für den derzeitigen Teilauslastungsbetrieb der Kläranlage hiermit reduzieren zu können.

Dies sind beispielsweise Maßnahmen zur Optimierung der biologischen Behandlung des Abwassers oder Optimierung von Maschinenlaufzeiten der Schlammbehandlung.

5. Summary

5.1 Introduction

The Isselburg sewage treatment plant based on the mechanical-biological wastewater purification, with a calculated capacity of 20,000 pe (personal equivalent). The actual capacity is only 13,550 pe.

During the last years before the whole modification, the sewage treatment plant was retrofitted step by step.

In consideration of the planned expansion of industrial and residential areas (development of a region), the extension of the sewage treatment plant from a capacity of 14,000 pe up to a calculated capacity of 20,000 pe was necessary.

It was demandable to achieve this aim, to reverse the whole sewage treatment plant. In this context the mechanical and biological purification, the last point additional with a continuously operating grit filter, the sludge treatment and the biogas production were complete to rework.

5.2 Projekt Implementation

In case to realize the calculated capacity prevent in the rise in population of the sewage treatment plant, it was also projected to reduce the specific energy-consumption from 53.4 kWh/pe * a down to the best possible value of 24.0 kWh/pe * a.

The necessary steps of the project implementation were:

- Rework of the mechanical and electrical purification
- Modification of the nitrification to cascade I
- Rebuild of the denitrification to cascade II
- Rebuild of the reduction of phosphorus to cascade III
- Renovation of the mechanical engineering in the air conditioning compressor building
- Construction of the continuously operating grit filter to reduce suspended particles and phosphorus

To achieve these aims, it was planned, to reconstruct and to redevelop the existing buildings and available mechanical engineering preferably, so that they can be enlarged according to the increase of capacity.

Due to the dimensioning of the sewage treatment plant up to calculated capacity of 20,000 pe, the actual situation (13,550 connected pe) leads to a lot of compromises. These compromises have to be accepted in case of the energy-consumption, without any possibility to reduce it, because it is not possible to use the modifications step by step in depending of the extensions.

5.3 Project Results

After the modification of the sewage treatment plant of Isselburg the total specific energy-consumption could be reduced from 53.4 down to 31.36 kWh/pe*a. The aim to realize the nominal

value of 24.0 kWh/pe * a couldn't be achieved. On the other side it was possible to reduce the energy-consumption from 751,419.0 kWh/a down to 485,665.0 kWh/a. The last value of 485,665.0 kWh/a includes the energy-consumption to treat the combined wastewater. Without the treatment of combined wastewater the energy-consumption could be reduced down to 424,933.0 kWh/a. That's a saving of energy-consumption of 44% off and it is possible to save 68,000 € per annum, based on current energy costs.

It is detrimental, that the planning was straightened only to the calculated capacity by the rise in population.

The continuously operating grit filter is today not necessary; soonest when the calculated capacity of the rise in population would be achieved it will be needful.

Based on the actual personal equivalent of 13,550 pe it is possible to abide the new limited values. In that case it is not necessary to run the continuously operating grit filter, because the biological purification reduce most of the suspended particles. Currently the continuously operating grit filter is used to reduce the dissolved phosphor fraction from 0.6 to 0.4 mg/l, but the staff of the sewage treatment plant of Isselburg is sure, that same result could be possible by the optimisation of the biological purification.

Based on depressed degree of capacity utilisation the production of biogas is more less than expected. So the thermal power station generate not enough warmness to run the adsorption-type refrigeration system.

5.4 Prospects

Procedural and operational optimisations currently are being developed to reduce the increased specific energy-consumption of the sewage treatment plant. To achieve this aim, it is planned to optimise the biological treatment or machine running time of the sludge treatment.

6. Literatur

- [1] Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW (MULNV) „Energie in Abwasseranlagen - Handbuch NRW“, Düsseldorf im Januar 2018
- [2] DWA-A216 „Energiecheck und Energieanalysen - Instrumente zur Energieoptimierung von Abwasseranlagen“, Hennef im Dezember 2015
- [3] Engelke „Energetische Feinanalyse der Kläranlage Isselburg“, Selm im Dezember 2001
- [4] Rummler und Hartmann „Energetische Feinanalyse“, Havixbeck im Oktober 2018
- [5] DWA-M 383 „Kennwerte der Klärschlammwässerung“, Hennef im Oktober 2008
- [6] Dahlem „Ertüchtigung der Kläranlage Isselburg - Studie“, Essen im Oktober 2006
- [7] WE-Consult Ltd. „Erläuterungsbericht zum Genehmigungsentwurf gem. §58 LWG“, Düsseldorf im April 2011

7. Abkürzungsverzeichnis

BHKW		Blockheizkraftwerk
BSB ₅	mg/l	Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen
CSB	mg/l	Chemischer Sauerstoffbedarf
cos φ		Phasenwinkel zwischen den Phasen des Drehstroms
E	kWh	Energiebedarf/-erzeugung
E _{Bel}	kWh/a	Stromverbrauch Belüftung im Belebungsbecken
E _{el}	kWh	Energiebedarf/-erzeugung, elektrisch
E _{ges}	kWh/a	Gesamtenergiebedarf
E _{KWK,el}	kWh/a	Stromerzeugung
E _{KWK,th.}	kWh/a	Wärmeerzeugung
E _{th.}	kWh/a	Thermische Energie
EGW	E	Einwohnergleichwert
EW		Einwohnerwert
EW _{CSB,120}	E	Einwohnerwert ($EW = EZ + EGW$) bezogen auf den CSB mit einer spezifischen Belastung von 120 g/(E·d)
EZ	E	Einwohnerzahl
e _{Bel}	kWh/(E·a)	Spezifischer Stromverbrauch der Belüftung im Belebungsbecken
e _{ges}	kWh/(E·a)	Spezifischer Gesamtstromverbrauch
e _{spez}	kWh/m ³ kWh/(E·a)	Spezifischer Energieverbrauch bezogen auf die maßgebende Einflussgröße
EMSR-Technik		Elektrisches Messen, Steuern und Regeln
GR	%	Glührückstand
GV	%	Glühverlust
H _i	kWh/m ³	Heizwert Faulgas
I	A	Elektrische Stromstärke
N		Stickstoff
N _{KWK}	%	Anteil des verstromten Faulgases
η _{el.}	%	Elektrischer Wirkungsgrad
η _{th.}	%	Thermischer Wirkungsgrad
o		organisch
P		Phosphor
P _{el}	W	Elektrische Wirkleistung
Q _{FA,a}	m ³ /a	Jahressumme des Faulgasanfalls

$Q_{PS+\ddot{U}S}$	m^3/a	Rohschlammmenge
$q_{T,BG}$	$kWh/(m^2 \cdot a)$	Spezifischer Wärmebedarf des Betriebsgebäudes
TNb	mg/l	Gesamt gebundener Stickstoff
TOC	mg/l	Gesamt organischer Kohlenstoff
TR	%	Trockenrückstand
TS	%	Trockensubstanz
U	V	Elektrische Spannung
U	$W/(m^2 \cdot K)$	Wärmedurchgangskoeffizient
ÜS		Überschussschlamm

8. Anhang

„Energetische Feinanalyse – Erfolgskontrolle zur energetischen Optimierung der Kläranlage Isselburg“, Ingenieurbüro Rummler und Hartmann aus Havixbeck, im Oktober 2018