

Gemeinde Jesberg



Kläranlage Jesberg

Potential- und Energieeffizienzanalyse



ERLÄUTERUNGSBERICHT

Juli 2022

INHALT	SEITE
1 VERANLASSUNG.....	1
2 KLÄRANLAGE JESBERG	2
2.1 Bestand	2
2.1.1 Auslegungsdaten der Kläranlage Jesberg.....	2
2.1.2 Zulaufbelastung der Kläranlage Jesberg	3
2.1.3 Ermittlung der Zulaufbelastung aus den Messungen	3
2.1.4 Ermittlung der Zulaufbelastung über die natürlichen Einwohner	5
2.1.5 Zulaufbelastung der Kläranlage als mittlerer Jahreswert - Ergebnis	6
2.1.6 Stromverbrauch.....	6
2.2 Anlagentechnik – Verfahrenstechnik der Kläranlage.....	6
2.3 Begehung der Anlage am 8. März 2022 – Bewertung.....	7
2.4 Energieeffizienzanalyse	11
2.4.1 Nachrechnen vom Belebungsbecken - Bemessungsbelastung.....	11
2.4.2 Aufstellen einer Energiebilanz – Ziel- und Toleranzwerte.....	12
2.5 Erläuterungen zu möglichen Maßnahmen – Kosten-Nutzen	14
2.5.1 Austausch der Gebläse	14
2.5.2 Austausch von einem Elektromotor am Rücklaufschlammumpwerk.....	19
2.5.3 Rücklaufschlammumpwerk - Förderhöhe	19
2.5.4 Generelle Überlegungen zum Austausch von einem E-Motor.....	20
2.5.5 PV-Anlage	21
2.5.6 Pumpwerk Einrode-Strang.....	26
2.5.7 Ausblick	31
2.5.8 CO ₂ -Einsparung der empfohlenen Maßnahmen	31
2.6 Empfehlungen für Maßnahmen.....	32
3 ZUSAMMENFASSUNG.....	33

TABELLENVERZEICHNIS

	Seite
Tabelle 1: Ist-Belastung der Kläranlage	4
Tabelle 2: Stromverbrauch der Kläranlage	6
Tabelle 3: Anforderungen aus der Arbeitshilfe Energieeffizienz vom Land Hessen	14
Tabelle 4: Anforderungen und Ergebnis der Kläranlage Jesberg.	14
Tabelle 5: Investitionskosten für den Austausch der Gebläse	15
Tabelle 6: Erneuerung der Drehkolbengebläse - CO ₂ -Einsparung	18
Tabelle 7: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - Austausch von einem E-Motor am RS-PW.....	19
Tabelle 8: Investitionskosten PV-Modul 1 - Betriebsgebäude	23
Tabelle 9: Investitionskosten PV-Modul 2 - Belebungsbecken.....	23
Tabelle 10: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - PV-Modul 1 - Betriebsgebäude.....	25
Tabelle 11: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - PV-Modul 2 - Belebungsbecken	26
Tabelle 12: Investitionskosten PV-Modul 1 - Betriebsgebäude	30
Tabelle 13: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - PV-Modul 1 - Betriebsgebäude	30
Tabelle 14: Emissionsfaktoren nach dem Gebäudeenergiegesetz	31
Tabelle 15: CO ₂ -Einsparungen der Maßnahmen.....	32
Tabelle 16: Übersicht vom spezifischen Stromverbrauch der Kläranlage	33
Tabelle 17: Empfehlungen für die Verbesserung der Energieeffizienz	33

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

	Seite
Abbildung 1: Ganglinie der monatliche Abwassermenge	4
Abbildung 2: Ganglinie der Zulaufbelastung für CSD und N _{ges}	5
Abbildung 3: Beispiel: Elektromotor von einem Gebläse der Biologie	7
Abbildung 4: Beispiel: Gebläse der Biologie	8
Abbildung 5: Rührwerk im Belebungsbecken.....	9
Abbildung 6: Rücklaufschlammumpwerk der Biologie.....	10
Abbildung 7: Bildschirm des Prozessleitsystems.....	11
Abbildung 8: Stromverbrauch auf der Kläranlage Jesberg.....	13
Abbildung 9: Energiebedarf pro Einwohner und Jahr der Kläranlage Jesberg - Bestand.....	13
Abbildung 10: Vergleich der Kupplungsleistung = f (Ansaugvolumen)	15
Abbildung 11: Prognose: Energiebedarf pro Einwohner und Jahr – Austausch der Gebläse.....	18
Abbildung 12: Kosten-Nutzen-Verhältnis für Neukauf: Einsatz eines IE1 mit einem IE3-Motor	20
Abbildung 13: Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der relativen Belastung für IE2-Motoren	21
Abbildung 14: Lageplan mit den möglichen Standorten einer PV-Anlage.....	22
Abbildung 15: Beispiel für Ständerkonstruktion aus der Agri-Photovoltaik	24
Abbildung 16: Ganglinien des Deckungsgrades der Eigenstromnutzung.....	24
Abbildung 17: PW-Einrode-Strang: Druckbehälter	27
Abbildung 18: PW-Einrode-Strang: Gebläse 1 und 2	28
Abbildung 19: PW-Einrode-Strang: Druckluftversorgung für die pneumatischen Antriebe.....	28
Abbildung 20: Beispiel: Nachrüstung einer Drehkolbenpumpe für die Energieeinsparung.....	29

ANLAGENVERZEICHNIS

Anlage 1	Nachrechnen des Belebungsbeckens nach DWA Arbeitsblatt A-131
Anlage 2	Energieeffizienzanalyse
Anlage 3	Eingangsdaten für die Energieeffizienzanalyse
Anlage 4	Zielwertermittlung
Anlage 5	Antriebsliste

1 VERANLASSUNG

Die Gemeinde Jesberg hat am 29. Juni 2020 als 164-ste hessische Kommune die Charta als hessische Klimakommune unterzeichnet. Ziel ist ein örtlicher Klimaschutz und eine Klimaanpassung. In dem Aktionsplan der Gemeinde vom 29. Juni 2020 wurden in dem Kapitel 4.1.2 die Ziele für die Wasserentsorgung definiert. Im Rahmen der Erneuerung von technischen Anlagen auf der Kläranlage soll das vorhandene Einsparpotential beim Stromverbrauch aufgezeigt und umgesetzt werden.

Im Rahmen eine Energieeffizienzanalyse und Potentialstudie soll der Bestand der Kläranlage und das Einsparpotential untersucht werden.

Die Gemeinde Jesberg hat die Ingenieurleistung öffentlich ausgeschrieben und mit dem Auftrag vom 25. Februar 2022 das Ingenieurbüro

Weber-Ingenieure GmbH (seit 13.06.2022)
(vorm. UNGER ingenieure)
Waßmuthshäuser Straße 36
34576 Homberg (Efze)

beauftragt, für die Kläranlage Jesberg eine Energieeffizienzanalyse und Potentialstudie durchzuführen.

Schon im Jahr 2015 hatte die Gemeinde für die Kläranlage eine Energieeffizienzanalyse aufstellen lassen. Die Erneuerung der Rührwerke und der Belüftungselemente für das Belebungsbecken wurden gemäß den Vorschlägen aus der Studie in den letzten Jahren schon umgesetzt.

2 KLÄRANLAGE JESBERG

2.1 Bestand

Die heutige Kläranlage Jesberg wurde nach einer Genehmigungsplanung des Ingenieurbüros Gajowski in den Jahren 1992 bis 1995 errichtet. Die Kläranlage Jesberg wurde auf den Anschluss der folgenden Ortsteile ausgelegt: Kerngemeinde Jesberg, Hundshausen, Densberg, Elnrode-Strang und Reptich.

Für die Entwässerung des Ortsteils Reptich wurde ein Pumpwerk gebaut, welches ab 2014 das Abwasser auf die Kläranlage fördert. Bis zu diesem Jahr wurde aus dem Ortsteil nur der Fäkalschlamm aus den 3-Kammer-Gruben auf der Kläranlage entsorgt.

Mit Stand Dezember 2020 waren an der Kläranlage 2.210 natürliche Einwohner angeschlossen.

In den letzten Jahren wurden die folgenden Erneuerungsarbeiten und Betriebsoptimierungen vorgenommen:

- 2004: Beginn der Phosphatfällung
- 2007: Regelung des Sauerstoffeintrags erfolgt über eine Redox-Regelung
- 2007: Neues Rührwerk für ein Belebungsbecken
- 2013: Erneuerung der Belüftungselemente in den beiden Belebungsbecken
- 2014: Neues Sandfanggebläse
- 2014: Neues Rührwerk für den einen Schlammstapelbehälter
- 2018: Neue Rührwerke mit Frequenzumrichter in den beiden Belebungsbecken
- 2018: Erneuerung von SPS und PLS
- 2019: Neues Rührwerk für den zweiten Schlammstapelbehälter
- 2021: Erneuerung der Belüftungselemente

Die Kläranlage macht für ihr Alter einen sehr guten Eindruck.

2.1.1 Auslegungsdaten der Kläranlage Jesberg

Die Kläranlage Jesberg hat nach der Genehmigungsplanung die folgenden wesentlichen Bemessungsdaten:

Einwohnergleichwerte:	4.200 EW	
Angeschlossene natürliche Einwohner:	2.210 E	
Abwassermengen:	Q_d	1.600 m ³ /d
	Q_m	179 m ³ /h
Biologische Reinigungsstufe:		
Anzahl Belebungsbecken		Zwei Umlaufbecken
Volumen		2 • 750 m ³ = 1.500 m ³
System		Umlaufbecken
		1 Tauchmotorrührwerk pro Becken

Belüftung	2 • 80 Stück Rohrbelüfter mit EPDM-Membran 2 • 80 • 0,75 m = 120,0 m
Gebläse	5 Stück – Aerzener GM 4 S
Nachklärung	1 Stück – Oberfläche = 250 m ²

Ein großer Teil der verfahrenstechnischen Anlagen stammen noch aus dem Jahr der Ersterstellung 1995 und sind mittlerweile 27 Jahre in Betrieb. Die wirtschaftliche Nutzungsdauer liegt im Bereich von 12 bis 15 Jahren.

2.1.2 Zulaufbelastung der Kläranlage Jesberg

Zur Ermittlung der Zulaufbelastung wurden die Betriebsdaten aus der Eigenkontrolle der Jahre 2011 bis 2013 und 2019 bis 2021 ausgewertet. Für die Energieeffizienzanalyse ist die mittlere Jahresbelastung der Kläranlage maßgebend, um diese dem jährlichen Stromverbrauch gegenüber zu stellen.

Die vorhandenen Daten aus der Eigenkontrolle können für die Ermittlung der aktuellen Zulaufbelastung jedoch nur bedingt verwendet werden. Für die Beurteilung der tatsächlichen Zulaufbelastung der Kläranlage wäre eine Messung aus einer mengenproportionalen 24-Stunden Zulaufmischprobe zwingend erforderlich. Die vorhandenen Messungen sind jedoch qualifizierte Stichproben aus mehreren Schöpfproben in der Vormittagszeit. Somit liegen für die Ermittlung der Zulaufbelastung nur Messwerte von einem kurzen Tagesabschnitt vor, die jedoch nicht die tatsächliche Tagesbelastung repräsentieren.

Für eine Abschätzung der Tagesbelastung aus den vorliegenden Messungen aus Stichproben wird basierend auf Erfahrungen aus der Trinkwasserversorgung für Landgemeinden mit einem Schwankungsfaktor = 1,60 gerechnet.

Im Einzelnen wurden die folgenden Daten ausgewertet und gegenüber gestellt:

- Tagesdurchfluss und Messwerte für CSB, BSB₅, Stickstoff und Phosphor
- die Zahl der natürlichen Einwohner.

Im Einzelnen ergeben sich damit die Ergebnisse in den folgenden Kapiteln.

2.1.3 Ermittlung der Zulaufbelastung aus den Messungen

Für die Auswertung der Zulaufbelastung standen für die Abwassermengen die Tageswerte und für die Schmutzstoffe die jeweiligen Monatswerte zur Verfügung. Zur besseren Darstellung wurden die Werte nach ihrer Größe sortiert, umgerechnet auf die Einwohnerwerte und als Gang- und Dauerlinie aufgetragen. Bei der Umrechnung wurden für die einzelnen Parameter die folgenden spezifischen Kennwerte verwendet:

- BSB₅ = 60 g/EW
- CSB = 120 g/EW
- TKN = 11 g/EW
- P = 1,80 g/EW

Jahr	Jahresschmutzwassermenge m ³ /Jahr	Belastung EW
2019	298.287	2.945
2020	298.355	2.798
2021	275.953	3.436
Mittelwert	290.865	3.060

Tabelle 1: Ist-Belastung der Kläranlage

Quelle: Eigenkontrollberichte

Mit einer Ist-Belastung von 3.060 EW und einer Jahresschmutzwassermenge von 290.865 m³/Jahr ergibt sich eine spezifische Schmutzwassermenge von 260 Liter/(EW·d).

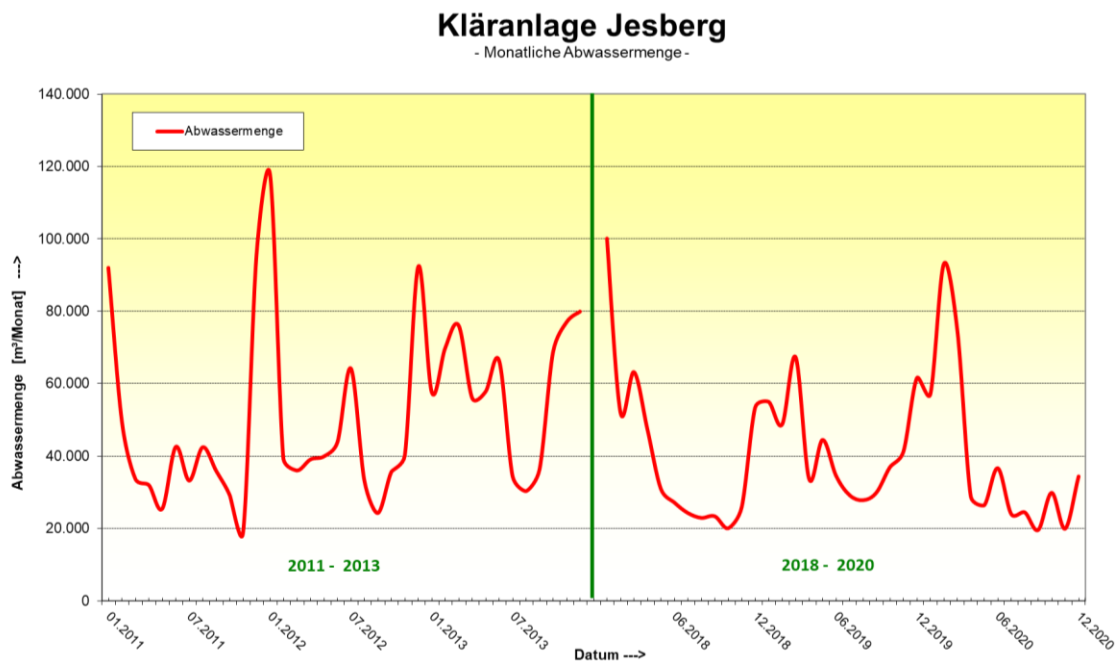


Abbildung 1: Ganglinie der monatliche Abwassermenge

Quelle: Daten der Eigenkontrolle

In Abbildung 1 ist die Ganglinie der monatlichen **Abwassermengen** aus dem Zeitraum 2011 bis 2013 und 2018 bis 2020 aufgetragen. Der Vergleich zeigt den trockeneren Zeitraum in den Jahren 2018 bis 2020. Die Jahresabwassermenge lag in dem zweiten Zeitraum um 20,4 % niedriger.

Bei der Kläranlage Jesberg erfolgt der Abwasserzulauf im freien Gefälle. Auch gibt es in der Anlage kein Zwischenpumpwerk. Daher ist der Energieverbrauch unwesentlich von der hydraulischen Belastung abhängig.

Kläranlage Jesberg

- CSB- und N_{ges} -Ganglinie der Zulaufbelastung -

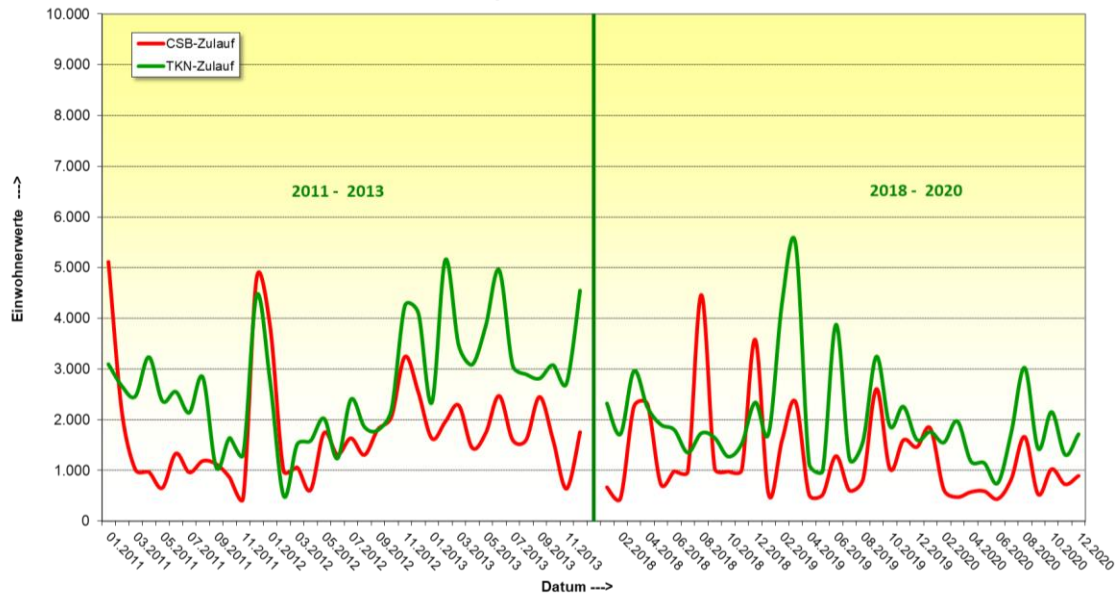


Abbildung 2: Ganglinie der Zulaufbelastung für CSB und N_{ges}

Quelle: Daten der Eigenkontrolle

Das Ergebnis der Auswertung der Zulaufbelastung lässt die folgende Interpretation zu:

- Im Vergleich zu den organischen Abwasserinhaltsstoffen BSB_5 und CSB liegt die Stickstoffbelastung im Zulauf der Kläranlage Jesberg um etwa 61 % höher.
- Im Vergleich zur Stickstoffbelastung lässt sich die geringere organische Belastung auf der Kläranlage mit einem Abbau der organischen Abwasserinhaltsstoffe in der Kanalisation begründen. Durch eine gute Belüftung des Abwassers im Kanal erfolgt dort ein Teilabbau der organischen Inhaltsstoffe über die Bakterien in der Sielhaut. Durch die hohe organische Belastung der Sielhaut erfolgt dort jedoch keine Nitrifikation und somit keine Reduktion der Stickstoffverbindungen.
- Die Auslegungsgröße der Kläranlage Jesberg – ausgedrückt als 90 Perzentilwert – liegt, bezogen auf die Stickstoffbelastung, in einer Größenordnung von 4.500 EW, die organische Belastung für den Bemessungsfall jedoch nur in einer Größenordnung von 3.000 EW.

Wie schon oben erläutert haben diese Daten wegen der Probenahme (keine 24-Stunden-Mischprobe) eine größere Abweichung.

2.1.4 Ermittlung der Zulaufbelastung über die natürlichen Einwohner

Nach der vorliegenden Statistik waren im Jahr 2020 insgesamt 2.210 natürliche Einwohner an der Kläranlage Jesberg angeschlossen.

2.1.5 Zulaufbelastung der Kläranlage als mittlerer Jahreswert - Ergebnis

Für die Energieeffizienzanalyse wird aus den oben erhobenen und bewerteten Zulaufdaten eine

Zulaufbelastung als mittlerer Jahreswert = 3.060 EW

gewählt.

2.1.6 Stromverbrauch

Der komplette Energiebedarf der Kläranlage wird über den Energieträger Strom abgedeckt. In Tabelle 2 ist der jährliche Stromverbrauch der Kläranlage für den Zeitraum 2011 bis 2013 und 2019 bis 2021 aufgetragen.

Jahr	Stromverbrauch kWh/Jahr	Einsparung
2011	129.535	
2012	131.810	
2013	121.721	
Mittelwert	127.689	Vergleich
2019	96.789	
2020	97.325	
2021	100.793	
Mittelwert	98.302	23,0%

Tabelle 2: Stromverbrauch der Kläranlage

Quelle: Jährliche Stromrechnung

Durch die erfolgreichen Maßnahmen konnte der Stromverbrauch in dem zweiten Betrachtungszeitraum um etwa 23,0 % gegenüber dem ersten Zeitraum gesenkt werden.

Für die Bestandsberechnung wird der Stromverbrauch für den Zeitraum von 2019 bis 2021 betrachtet. Im Mittel lag dieser bei 98.302 kWh/Jahr.

2.2 Anlagentechnik – Verfahrenstechnik der Kläranlage

Die Kläranlage Jesberg besteht aus den folgenden abwassertechnischen Verfahrensschritten:

- Rechenanlage mit Rechengutförderung
- Belüfteter Sand- und Fettfang
- Sandwäscher
- Phosphatfällung mit Flüssigmitteln aus dem Lagertank
- Biologie mit zwei Umlaufbecken mit je 1 Stück Rührwerk

- Nachklärbecken
- Gebläsestation mit fünf Gebläsen – alle mit polumschaltbaren E-Motoren
- Schneckenpumpwerk für den Rücklaufschlamm
- Überschussschlammumpwerk mit Tauchmotorpumpe
- Schlammstapelbehälter mit Pumpwerk für Trübwasser und Schlammabgabe

2.3 Begehung der Anlage am 8. März 2022 – Bewertung

Am 8. März 2022 fand mit dem Personal der Kläranlage eine Begehung mit einer Bestandsaufnahme der Anlagentechnik statt. Bei dieser Begehung sind bezüglich der Energieeffizienzanalyse die folgenden Punkte aufgefallen:

Elektromotoren auf der Kläranlage Jesberg

Die Elektromotoren für die wesentlichen Antriebe der Verfahrenstechnik stammen noch aus dem Jahr 1995 – der Errichtung der Kläranlage.

Die Elektromotoren über 2,00 kW mit hohen Betriebsstunden befinden sich in den Bereichen:

- Gebläse für das Belebungsbecken: 5 Stück mit je 6,00 kW – polumschaltbar
- Rücklaufschlammumpwerk: 2 Stück mit je 2,20 kW



Abbildung 3: Beispiel: Elektromotor von einem Gebläse der Biologie

Die Typenschilder der E-Motoren auf der Kläranlage enthalten keinerlei Informationen über die jeweilige Effizienzklasse des vorhandenen Motors. Diese Angaben gab es allerdings auf freiwilliger Basis auch erst ab 1998. Ältere Motoren haben oft die Effizienzklasse Eff3 bzw. schon die etwas bessere Effizienzklasse IE1. Die E-Motoren auf der Kläranlage Jesberg haben von ihrem Baujahr vermutlich diese Effizienzklassen.

In der Antriebsliste (Anlage 5) wurde auf der Basis der Nennspannung, dem Nennstrom, der Nennleistung und dem $\cos \varphi$ der jeweilige Wirkungsgrad für den E-Motor ausgerechnet. Diesen Wirkungsgrad erreicht der E-Motor aber nur bei seiner Nennleistung. Bei einer kleineren Leistungsabgabe sinkt der Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der jeweiligen Effizienzklasse des Motors mehr oder weniger stark. Der Wirkungsgrad der vorhandenen Elektromotoren liegt bei fast allen Antrieben unter 80 %.

Gebläse für die Belüftung des Belebungsbeckens

Alle Gebläse der Kläranlage stammen noch aus dem Jahr 1995, der Errichtung der Anlage.

Für die Gebläse gibt es keine Ersatzteile mehr. Ein Gebläse wurde schon als Ersatzteillager ausgeschlachtet. Damit ist die notwendige Redundanz für die Luftversorgung der Biologie gesunken.

Die Gebläse sind schon seit 27 Jahren im Einsatz. Durch den Verschleiß hat sich der Wirkungsgrad der Aggregate deutlich verschlechtert.



Abbildung 4: Beispiel: Gebläse der Biologie

Mit etwa 38,7 % liegt der Anteil der Gebläse am Gesamtstromverbrauch sehr hoch. Mit dem Austausch von Aggregaten nach dem heutigen Stand der Technik ist hier ein Einsparpotential vorhanden.

Rührwerke Belebungsbecken

Bei einer Belebtschlammbiologie befinden sich die Bakterien im Belebungsbecken in Schwebelage. Dies bedeutet, dass über die gesamte Zeit immer genügend Energie entweder über die Belüftungseinrichtung oder über ein zusätzliches Rührwerk eingetragen werden muss. Ohne diese Energie setzt sich der Belebtschlamm mit den Bakterien am Boden vom Belebungsbecken ab, kommt damit nicht mehr mit dem Abwasser in Kontakt und kann so die biologische Abwasserreinigung nicht ausführen.

Die Kläranlage Jesberg ist eine Kläranlage mit simultaner aerober Schlammstabilisierung (kein Faulbehälter) und hat damit, bezogen auf einen Einwohner, ein größeres erforderliches spezifisches Beckenvolumen. Aus diesem Grund ist auf der Kläranlage Jesberg in jedem der beiden Belebungsbecken je ein langsam laufendes Rührwerk vorhanden.



KA Jesberg



Montage auf einer anderen Kläranlage

Abbildung 5: Rührwerk im Belebungsbecken

In Abbildung 5 sieht man auf dem linken Foto das Führungsgestänge auf der Kläranlage Jesberg, an dem sich das Rührwerk mit Tauchmotor und Frequenzumrichter befindet. Wie ein solches Rührwerk aussieht zeigt das rechte Foto von einer anderen Kläranlage.

In den letzten Jahren wurden die beiden alten Rührwerke gegen Rührwerke des gleichen Herstellers mit Frequenzumrichter ausgetauscht. Über die Frequenzumrichter kann der Energieeintrag in das Belebungsbecken so eingestellt werden, dass gerade noch eine ausreichende Durchmischung stattfindet. Die Rührwerke laufen als Dauerläufer (24 / 7) mit einer Leistung im Bereich von 1,20 bis 1,50 kW. Damit erreicht man eine Energiedichte von 1,60 bis 2,00 W/m³ Beckenvolumen.

In den 90er Jahren wurden Rührwerke üblicherweise für eine Eintragsenergie zwischen 3,00 und 5,00 W/m³ ausgelegt. Mit den alten Rührwerken auf der Kläranlage Jesberg wurde eine Energiedichte von 3,60 W/m³ eingetragen.

Mit den beiden neuen Rührwerken konnte durch die Frequenzumrichter eine Optimierung des Energieverbrauchs für die Durchmischung des Belebungsbeckens erreicht werden.

Rücklaufschlammumpwerk

Die Bakterien sind die wichtigsten Helfer zur Reinigung von Abwasser nach dem heutigen Stand der Technik. Um ihre Arbeit auszurichten werden sie im Belebungsbecken durch den Eintrag von Durchmischungsenergie mit dem Abwasser in Kontakt gebracht. Nach erfolgter biologischer Reinigung müssen die Bakterien vom Abwasser getrennt werden, um sie erneut in das Belebungsbecken zu befördern. Hierfür wird das Rücklaufschlammumpwerk benötigt, welches kontinuierlich und rund um die Uhr (24 / 7) den Rücklaufschlamm aus dem Nachklärbecken dem Belebungsbecken zufördert.



Abbildung 6: Rücklaufschlammumpwerk der Biologie

Auf der Kläranlage Jesberg ist das Rücklaufschlammumpwerk als Wasserförderschnecke ausgeführt. Die Abbildung 6 zeigt eine der beiden Wasserförderschnecken.

Das vorhandene Rücklaufschlammumpwerk hat nach den vorliegenden Bestandsplänen eine Förderhöhe von 2,50 m (Tastpunkt: 221,00 m ü NN und Sturzpunkt: 223,50 m ü NN). Der Wasserspiegel zwischen dem Nachklärbecken und dem Belebungsbecken beträgt aber nur 1,03 m. Unter Berücksichtigung von hydraulischen Verlusten in den Rohrleitungen und den Gerinne wäre man bei einer anderen optimierten Ausführung der Bauwerke mit einer Förderhöhe im Bereich von 1,00 bis 1,50 m ausgekommen. Somit liegt die vorhandene Förderhöhe um etwa 1 m höher als bei einer hydraulisch optimierten Bauwerksgestaltung.

Eine um etwa 1,00 m geringere Förderhöhe bedeutet bei der Kläranlage Jesberg eine jährliche Energieeinsparung von etwa 3.170 kWh/a, entsprechend 760,00 €/a.

Automatisierung - SPS

Der gesamte Betrieb der Kläranlage mit der Steuerung und Regelung der Pumpen, Antriebe, dem Sauerstoffeintrag, der gezielten Stickstoffelimination im Belebungsbecken, die Betriebszustände der Antriebe, die Aufzeichnung der Messparameter und die Weitergabe von Störungen läuft über ein spezielles für die Kläranlage Jesberg programmiertes Programm. Die Hardware für dieses Programm ist die sogenannte speicherprogrammierbare Steuerung – kurz: SPS. Für die Visualisierung des Betriebs steht das Prozessleitsystem – kurz: PLS – zur Verfügung.

Nach einem Totalausfall der alten SPS wurde in den letzten Jahren die SPS und das PLS komplett neu aufgebaut und programmiert.

Mit der neuen Bildschirmübersicht kann der Prozess im Belebungsbecken mit der Sauerstoffkonzentration, dem Redoxpotential für die Steuerung der Denitrifikation und die Belüftungsphasen besser überwacht und optimiert werden.

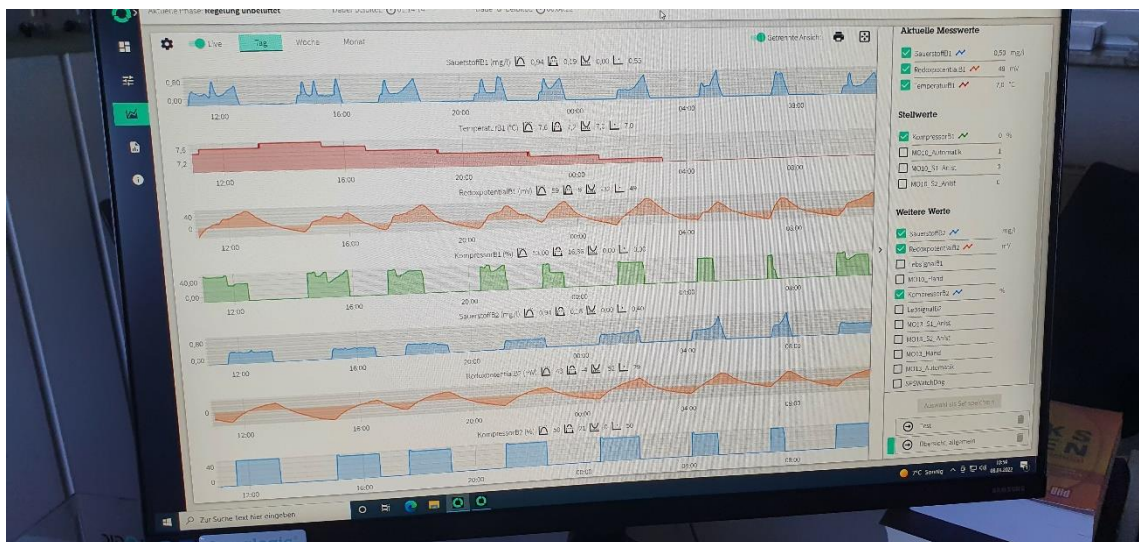


Abbildung 7: Bildschirm des Prozessleitsystems

Mit der neuen SPS und dem PLS wurde dem Personal ein Werkzeug für die Prozesskontrolle und -optimierung nach dem heutigen Stand der Technik an die Hand gegeben.

2.4 Energieeffizienzanalyse

2.4.1 Nachrechnen vom Belebungsbecken - Bemessungsbelastung

Für die Kläranlage Jesberg wurde eine aktuelle Bemessungsgröße – bezogen auf die Stickstofffracht – von 4.500 EW ermittelt. Die organische Zulaufbelastung liegt etwa bei 62 % der Stickstoffbelastung.

Das Nachrechnen des Belebungsbeckens erfolgt nach dem DWA Arbeitsblatt A-131. Das Berechnungsergebnis ist in Anlage 1 enthalten.

Mit einem vorhandenen Schlammalter für den Bemessungsfall von 27 d wird das erforderliche Schlammalter von 25 Tagen eingehalten. Damit ist das vorhandene Volumen des Belebungsbeckens für den Bemessungsfall und die Ziele der Abwasserreinigung ausreichend. Die Betriebsergebnisse der letzten Jahre bestätigen diese Aussage.

2.4.2 Aufstellen einer Energiebilanz – Ziel- und Toleranzwerte

Die Aufstellung der Energiebilanz für die Kläranlage Jesberg erfolgt mit einem von dem Büro UNGER ingenieure entwickelten Excel-Arbeitsblatt, bei dem die einzelnen abwassertechnischen Baugruppen der Kläranlage berücksichtigt werden. Für die Energiebilanz der Kläranlage Jesberg sind dies die folgenden abwassertechnischen Baugruppen:

- Pumpwerke der Kläranlage (RS, ÜSS, NKB und SSB);
- Rechen und Rechengutförderung;
- Fett-, Sandfang und Sandwäscher;
- Belebungsbecken;
- Nachklärbecken;
- Schlammstapelbehälter;
- sonstige Kleinverbraucher.

Die Ganglinie vom monatlichen Stromverbrauch der Kläranlage Jesberg über die Jahre 2011 bis 2013 und 2019 bis 2021 zeigt die Abbildung 8. In den Jahren 2011 bis 2013 wurde noch tageszeitabhängig über die Hoch- und Niedertarife abgerechnet.

Der Vergleich der beiden Zeiträume zeigt eine mittlere Reduzierung des Stromverbrauchs um etwa 23 %. Im Zeitraum zwischen den Jahren 2015 und 2019 wurden auf der Kläranlage mit der Erneuerung der beiden Rührwerke im Belebungsbecken und der Erneuerung der Belüfterelemente schon einige Einsparungen erreicht.

Über die Jahre 2019 bis 2021 wurde auf der Kläranlage Jesberg als Mittelwert 98.302 kWh Strom pro Jahr verbraucht. Über das Arbeitsblatt Energiebilanz wird mit der oben ermittelten Zulaufbelastung der verbrauchte Strom für die Kläranlage nachgerechnet. Die Strombilanz in dem Simulationsprogramm konnte mit einer Genauigkeit von 1 % aufgestellt werden.

Bezogen auf den Energiebedarf pro Einwohnerwert und Jahr ist in Abbildung 9 für die oben aufgeführten Verbrauchsstellen der über das Simulationsprogramm bilanzierte Stromverbrauch aufgeführt.

Die Energiebilanz in Tabellenform ist in Anlage 2 enthalten.

Für den Vergleich der Kläranlage Jesberg mit dem Ziel der Energieeffizienz sind in der Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasserbehandlungsanlagen vom 23. August 2011 in Tabelle 6 Ziel- und Toleranzwerte für die einzelnen Größenklassen der Kläranlagen aufgeführt. Die Kläranlage Jesberg gehört mit ihrer Ausbaugröße von 4.200 EW in die Größenklasse 2.

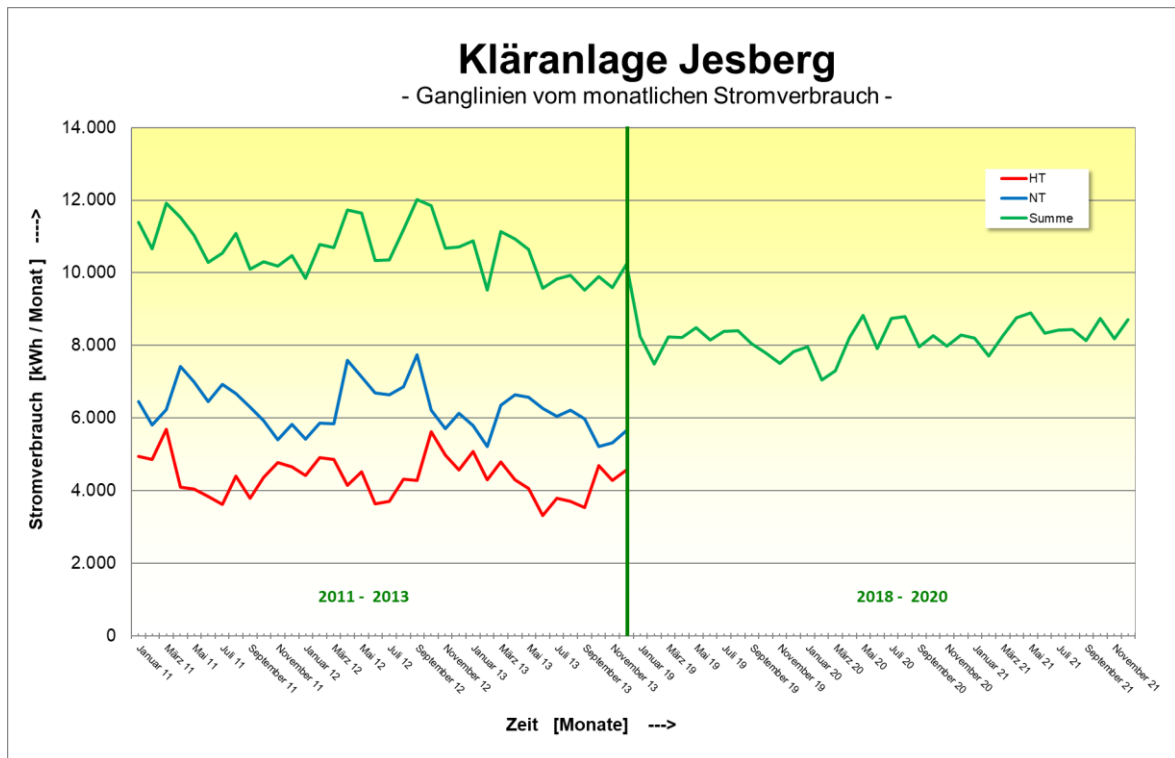


Abbildung 8: Stromverbrauch auf der Kläranlage Jesberg
 Quelle: Rechnungen E.ON aus den Jahren 2011 bis 2013 und 2019 bis 2021

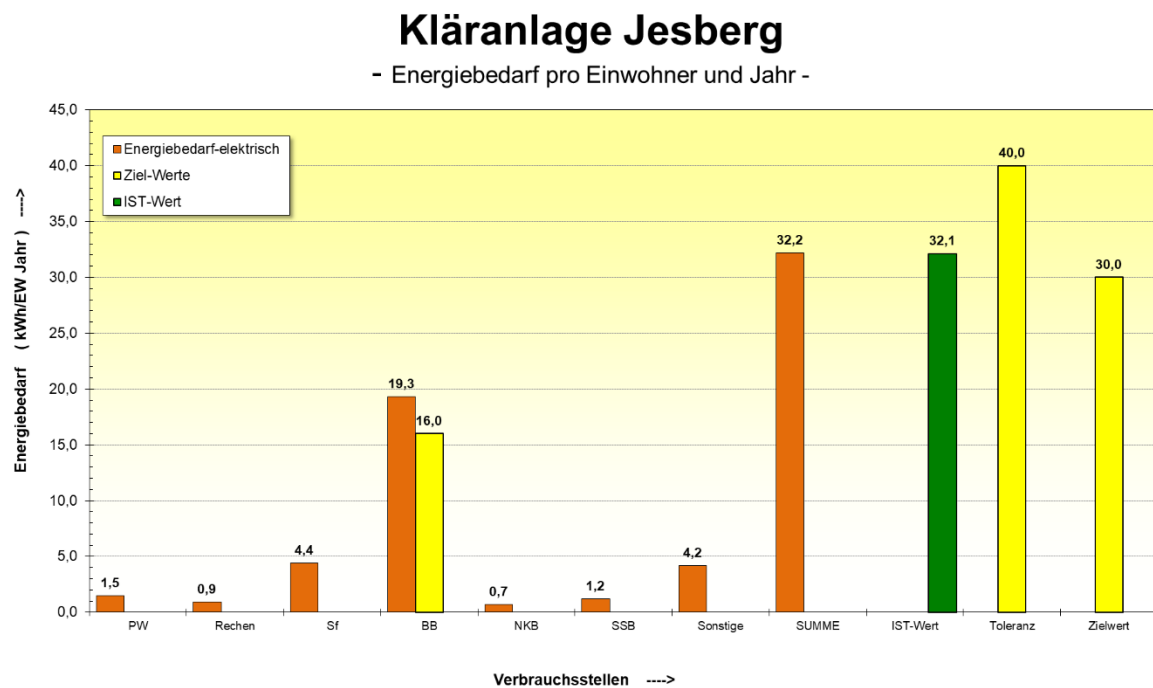


Abbildung 9: Energiebedarf pro Einwohner und Jahr der Kläranlage Jesberg - Bestand

Hierfür werden die folgenden Ziel- und Toleranzwerte definiert:

	Kläranlage	Biologie
Zielwert	30,00 kWh/(EW·a)	16,00 kWh/(EW·a)
Toleranzwert	40,00 kWh/(EW·a)	22,00 kWh/(EW·a)

Tabelle 3: Anforderungen aus der Arbeitshilfe Energieeffizienz vom Land Hessen

Für die Kläranlage Jesberg ergibt sich aus der aufgestellten Energiebilanz das folgende Ergebnis:

	Kläranlage	Biologie
Zielwert	30,0 kWh/(EW·a)	16,0 kWh/(EW·a)
Toleranzwert	40,0 kWh/(EW·a)	22,0 kWh/(EW·a)
KA Jesberg - 2022	32,1 kWh/(EW·a)	19,3 kWh/(EW·a)

Tabelle 4: Anforderungen und Ergebnis der Kläranlage Jesberg.

Damit liegt die Kläranlage Jesberg bei dem Gesamtverbrauch mit 32,2 kWh/(EW·a) und bei der Biologie mit 19,3 kWh/(EW·a) jeweils zwischen dem Ziel- und Toleranzwert aus der Arbeitshilfe.

2.5 Erläuterungen zu möglichen Maßnahmen – Kosten-Nutzen

2.5.1 Austausch der Gebläse

Die vorhandenen Drehkolbengebläse der Firma Aerzener stammen aus dem Jahr 1995.

Durch das hohe Alter der Gebläse haben die Aggregate einen schlechteren Wirkungsgrad. Zur Verbesserung des Energieeinsatzes sollten die Gebläse durch neue Aggregate ersetzt werden.

Bei der Technik der Druckluftherzeugung wurden in den letzten Jahren neue Entwicklungen auf den Markt gebracht. Neben den Drehkolbengebläse gibt es neu am Markt die Drehkolbenverdichter. Dieser ist eine Kombination zwischen Drehkolbengebläse und Schraubenverdichter. Drehkolbenverdichter beginnen jedoch erst ab größeren Luftleistungen.

Um für die Kläranlage Jesberg den richtigen Aggregatetyp auszuwählen, wurde für die beiden Gebläsetypen eine Vergleichsrechnung durchgeführt.

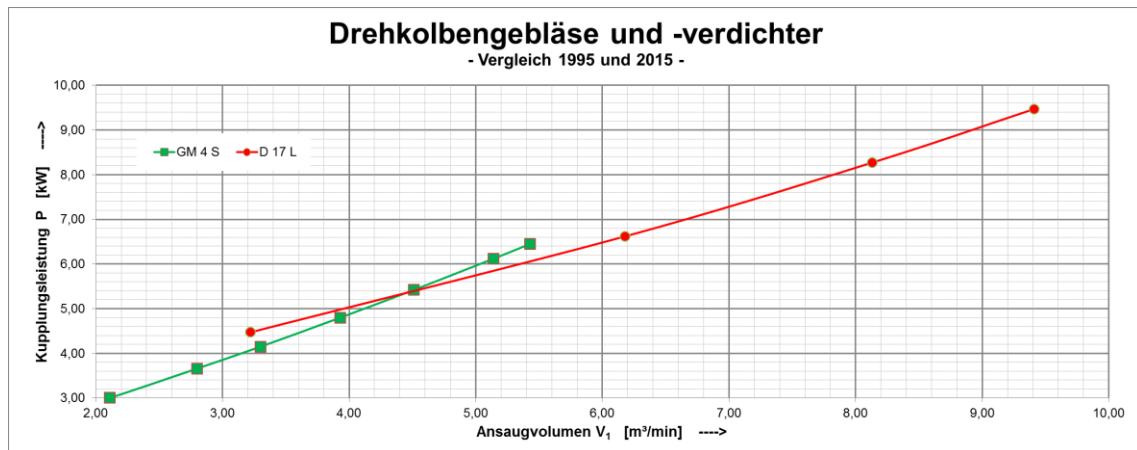


Abbildung 10: Vergleich der Kupplungsleistung = f (Ansaugvolumen)

In Abbildung 10 ist die erforderliche Kupplungsleistung in Abhängigkeit des Ansaugvolumens für die beiden Druckluftaggregate aufgetragen. Grün für ein Drehkolbengebläse und rot für einen Drehkolbenverdichter. Die Abbildung zeigt, dass der Drehkolbenverdichter seine bessere Energieeffizienz erst bei größeren Luftmengen erzielt. Für die Kläranlage Jesberg ist der Beginn der optimalen Förderleistung eines Drehkolbenverdichters zu groß. Daher kommen als Ersatzaggregate nur Drehkolbengebläse in Betracht.

Für die Ersatzbeschaffung werden gewählt:

- Typ: Drehkolbenverdichter
- Anzahl: 5 Stück
- Hersteller: RKR – oder gleichwertige Art
- Typ: K25-3
- Luftleistung: 4,70 Nm³/min
- Kupplungsleistung: 11,32 kW
- Klasse E-Motor: IE4
- Ausstattung mit Softstarter und Frequenzumrichter zur Reduzierung der Anlaufströme und Optimierung der erforderlichen Druckluftmenge.

Beschreibung	Nettokosten
Gebläse RKR K25-3 + IE4 + SS/FU – 5 Stück - Lieferung	98.000,00 €
Demontage und Einbau der Drehkolbengebläse	3.880,00 €
Einbindung der Gebläse in die EMSR-Technik	8.000,00 €
Summe – netto	109.880,00 €
Summe - brutto	130.757,20 €

Tabelle 5: Investitionskosten für den Austausch der Gebläse

In Tabelle 5 werden die Investitionskosten für den Austausch der Drehkolbengebläse abgeschätzt. Durch die heutige weltpolitische Lage und die nicht vorraussehbaren zukünftigen Preissteigerungen sind die zukünftige Preisentwicklung und die Lieferzeiten nicht abschätzbar. Die hier ausgewiesenen Investitionskosten sind daher nur eine Momentaufnahme der derzeitigen Preislage.

Mit den oben ermittelten Investitionskosten und den berechneten Energiekosten für den Bestand und die zukünftige Anlage wird für die wirtschaftliche Betrachtung eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt.

Das Kosten-Nutzen-Verhältnis (K/N) liegt bei 0,63. Nach den Empfehlungen aus der Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen sollte damit das vorgeschlagene Maßnahmenpaket kurzfristig realisiert werden.

Neben den energetischen Umweltaspekten muss bei der Terminierung des Maßnahmenpakets auch an die wasserwirtschaftlichen Umweltaspekte gedacht werden. Mit den vorhandenen Drehkolbengebläsen wird die biologische Reinigungsstufe mit dem notwendigen Sauerstoff versorgt. Bei einem Ausfall der alten Drehkolbengebläse können die Anforderungen an die Abwasserreinigung nicht mehr eingehalten werden. Durch die altersbedingte Situation der nicht beschaffbaren Ersatzteile kann sich ein Ausfall auch über einen längeren Zeitraum erstrecken. Aus diesem Aspekt und der Tatsache von aktuell längeren Lieferzeiten, sollte mit der Ersatzbeschaffung nicht zulange gewartet werden.

Der Energiebedarf für die Gesamtanlage mit den Ziel- und Toleranzwerten ist in der Abbildung 11 aufgetragen. Mit einem Gesamtverbrauch von 26,8 kWh/(EW·a) wird der Zielwert für die Kläranlage von 30,0 kWh/(EW·a) unterschritten. Auch für die Biologie liegt der neue Wert von 13,9 kWh/(EW·a) unterhalb des Zielwertes von 16,0 kWh/(EW·a).

Kläranlage: Jesberg - Zielplanung
KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE

<u>Investitionskosten für die energetische Sanierung</u>	Investkosten - brutto -	Nutzungsdauer - Jahre -	KFAKR	Kapitalkosten - pro Jahr -
Neue Gebläse - 5 Stück - Lieferung	= 116.620,00 €	25	0,0483	5.632,75 €
Einbau der neuen Gebläse	= 4.617,20 €	25	0,0483	223,01 €
Einbindung in EMSR-Technik	= 9.520,00 €	25	0,0483	459,82 €
SUMME	= 130.757,20 €			6.315,57 €

Zinssatz

Zinssatz = 1,50% p.a.

CO₂-Einsparungen

CO ₂ -Emissionsfaktor - Strom netzbezug	=	560 g CO ₂ /kWh	
Energieeinsparung pro Jahr	=	16.546 kWh/a	
Energieeinsparung über Lebenszeit	=	413.639 kWh/a	
CO ₂ -Einsparung über Lebenszeit	=	232 t CO ₂ /kWh	
spezifische Investitionskosten	=	564 € / t CO ₂	< 600 € / t CO ₂

Kapitalkosten bedingt durch energetische Mehr-Investition pro Jahr

Summe der Kapitalkosten = 6.315,57 € p.a.

Einsparungen pro Jahr

Energie	=	5.149,81 € p.a.
Betriebskosten	=	250,00 € p.a.
Personalkosten	=	4.680,00 € p.a.
Summe der Einsparungen	=	10.079,81 € p.a.

Kosten-Nutzen-Verhältnis

Kosten-Nutzen-Verhältnis = 0,63 -

Empfehlung für die Umsetzung der Maßnahme

Nach der Arbeitshilfe vom Land Hessen ergeben sich für die Umsetzung der Maßnahme die folgenden Empfehlungen:

Tab. 9: Bildung von Maßnahmenpaketen nach dem Kosten-Nutzen-Verhältnis der Einzelmaßnahmen

Kosten-Nutzen-Verhältnis	Maßnahmenpaket
< 0,3	Sofort zu realisierende Maßnahme
0,3 - < 0,7	Kurzfristige zu realisierende Maßnahme
0,7 - ≤ 1	Maßnahme mit einer langfristigen Wirtschaftlichkeit
≥ 1	Maßnahme unwirtschaftlich, nur bei besonderem Interesse realisierbar

Quelle: Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasserbehandlungsanlagen, HMUELV, Wiesbaden

Mit der Ersatzbeschaffung der neuen Drehkolbengebläse erreicht die Kläranlage Jesberg die geforderten Zielwerte.

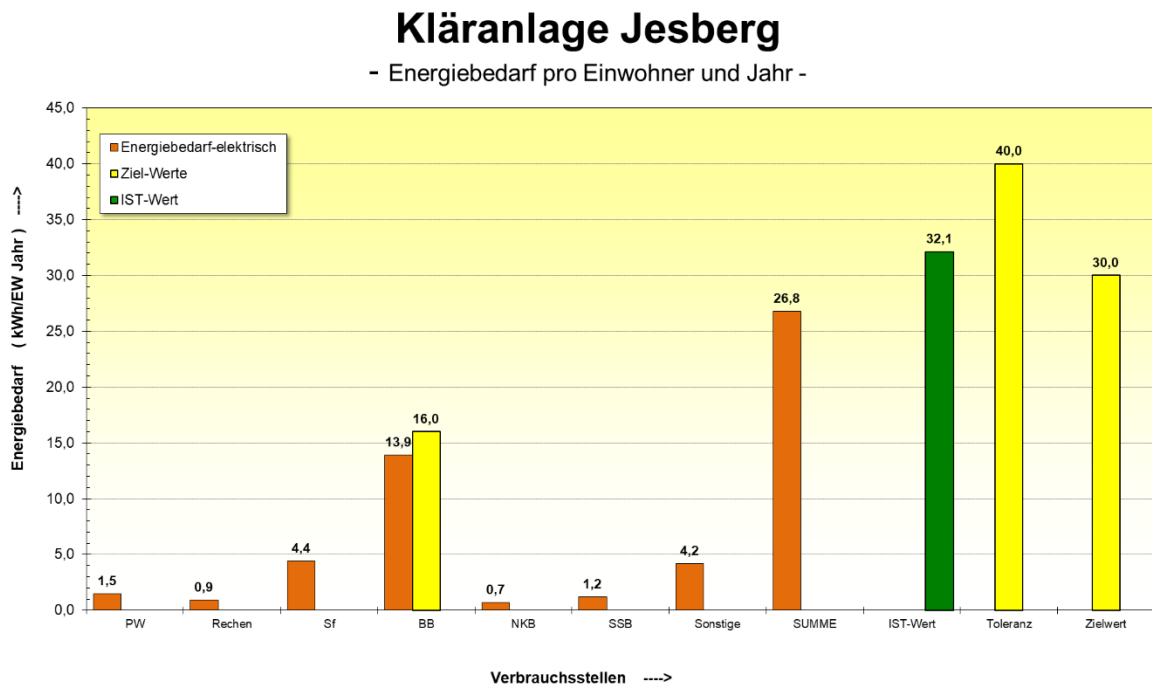


Abbildung 11: Prognose: Energiebedarf pro Einwohner und Jahr – Austausch der Gebläse

Für einen erfolgreichen Klimawandel ist die CO₂-Reduktion das Ziel. Diese wird durch eine Energieeinsparung erreicht. In der nachfolgenden Tabelle 6 wird für die Ersatzbeschaffung der Drehkolbengebläse die Energieeinsparung, die CO₂-Einsparung und die spezifischen Investitionskosten pro Tonne eingespartem CO₂ aufgelistet. Mit 564 €/ t CO₂ liegen die Investitionen unterhalb des Zielwertes von 600 €/ t CO₂.

Beschreibung	Einheit	Einsparung
CO ₂ -Emissionsfaktor - Strom	g CO ₂ /kWh	560
Energieeinsparung pro Jahr	kWh/a	16.546
Lebenszyklus Gebläse	Jahre	25
CO ₂ -Einsparung - Lebenszyklus	t CO ₂	232
Investitionskosten	€	130.757,20
Spez. Invest-Kosten	€/t CO ₂	564

Tabelle 6: Erneuerung der Drehkolbengebläse - CO₂-Einsparung

2.5.2 Austausch von einem Elektromotor am Rücklaufschlammumpwerk

Wie in Kapitel 2.3 erläutert sind auf der Kläranlage Jesberg noch einige alte E-Motoren aus dem Jahr 1995 vorhanden. Das Rücklaufschlammumpwerk läuft im Dauerbetrieb. Für einen gleichmäßigen Verschleiß laufen die beiden Schnecken abwechselnd. Damit läuft jeder E-Motor im Durchschnitt 12 h pro Tag. Die beiden Wasserförderschnecken werden von den E-Motoren mit 2,20 kW über Keilriemen angetrieben. Ein Austausch mit einem IE3-Motor ist daher technisch möglich.

In Tabelle 7 sind für einen Austausch die Angaben für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aufgeführt. Für die Berechnung der Kapitalkosten wird dabei gemäß der Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen, 8. überarbeitete Auflage, Juli 2012, DVGW und DWA, eine Abschreibungsdauer von 20 Jahren und ein Kapitalzins von 1,5 % gewählt.

Maßnahme	Wirkungsgrad %	Laufzeit h/d	Stromeinsparung €/a
RS-Pumpwerk – 1 Stück: IE1 Motor → IE4 Motor	E-Motor: 79,8 % → 88,0 %	12,00	294 €/a
Investitionskosten €	KFAKR -	Kapitalkosten €/a	K/N -
Neuer IE4-Motor + FU: 3.023 €	0,0582	175,92 €/a	0,60

Tabelle 7: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - Austausch von einem E-Motor am RS-PW

Das Kosten-Nutzen-Verhältnis für den Austausch der alten IE1-Motoren in neue IE4-Motoren mit Frequenzumformer beträgt 0,60. Damit wird nach der Arbeitshilfe eine Realisierung dieser Maßnahme im Zeitrahmen von bis zu 5 Jahren empfohlen.

Generell gibt es auch die Möglichkeit, dass die Rücklaufschlammmenge in Abhängigkeit von der Zulaufmenge zur Kläranlage geregelt werden könnte. Bezogen auf die Kläranlage Jesberg besteht aber das Problem der fehlenden Mengenummessung für den Rücklaufschlamm. Durch die vorhandene Baukonstruktion ist eine Mengenummessung nur mit höheren Investitionskosten nachrüstbar. Daher wird auf eine weitere vertiefende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung hier verzichtet.

2.5.3 Rücklaufschlammumpwerk - Förderhöhe

Wie in Kapitel 2.3 erläutert beträgt die Förderhöhe am Rücklaufschlammumpwerk 2,50 m. Eine um 1,00 m reduzierte Förderhöhe würde eine Energieeinsparung von 760,00 €/Jahr ergeben. Bei einer Abschreibungszeit von 20 Jahren könnte man hierfür einen Betrag von 11.400 € investieren.

Für eine Reduzierung der Förderhöhe des Rücklaufschlammumpenwerks müsste hierfür ein größerer Umbau erfolgen, z. B. eine neue Saugleitung direkt ab der Rücklaufschlammleitung am Nachklärbecken, ein neues Pumpwerk als trocken aufgestellte Kreiselpumpe und mit einer Druckleitung direkt in das Belebungsbecken.

Diese Umbaumaßnahme wäre deutlich teurer als der oben genannte maximale Investitionsbetrag von 11.400 €, um eine Amortisation über die Energieeinsparungen zu erreichen. Daher ist aus der Sicht der Energieeffizienz diese Umbaumöglichkeit nicht zu empfehlen.

2.5.4 Generelle Überlegungen zum Austausch von einem E-Motor

Im laufenden Betrieb der Kläranlage müssen immer wieder im Rahmen der Instandhaltung und Reparatur Elektromotoren kurzfristig gewechselt werden. Je nach Einsatzgebiet eines E-Motors, seiner Nennleistung und seiner Laufzeit fällt jedoch das Kosten-Nutzen-Verhältnis für einen neuen E-Motor mit besserer Effizienzklasse unterschiedlich aus. Um der Gemeinde für seine Entscheidungsfindung die notwendigen Informationen an die Hand zu geben, wird in der nachfolgenden Abbildung 12 das Kosten-Nutzen-Verhältnisse für verschiedene E-Motoren in Abhängigkeit von der Nutzung angegeben.

Bei größeren Laufzeiten sinkt das Kosten-Nutzen-Verhältnis deutlich. Dies spielt gerade bei den Dauerläufern eine Rolle. Hier liegt das Kosten-Nutzen-Verhältnisse je nach Motorgröße unter 0,50.

Bei Laufzeiten von etwa 5 Stunden pro Tag und weniger – z. B. beim E-Motor für den Rechen – steigt das Kosten-Nutzen-Verhältnis deutlich in den Bereich von über 2.

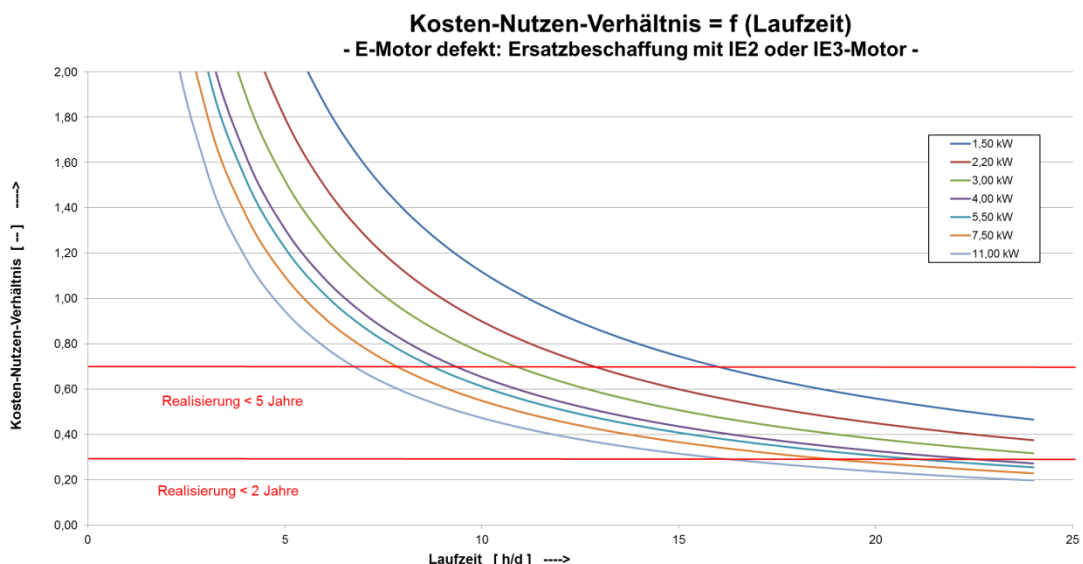


Abbildung 12: Kosten-Nutzen-Verhältnis für Neukauf: Einsatz eines IE1 mit einem IE3-Motor

Dieser Betrachtungsfall geht davon aus, dass der alte E-Motor defekt ist und daher eine Neuanschaffung kurzfristig erforderlich wird. Alte IE1-Motoren (früher: Eff2) dürfen ab dem 16. Juni 2011 als Neumotoren nicht mehr eingesetzt werden (Ausnahme: ATEX-Motoren).

Auswahl der Nennleistung:

Auch die Auslastung eines E-Motors – bezogen auf seine Nennlast – spielt beim Wirkungsgrad eine große Rolle. In Abbildung 13 ist für drei verschiedene E-Motoren der Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der relativen Belastung aufgetragen. Gerade bei kleineren Motoren erkennt man die deutliche Verschlechterung des Wirkungsgrads bei sinkender Leistungsabgabe eines E-Motors.

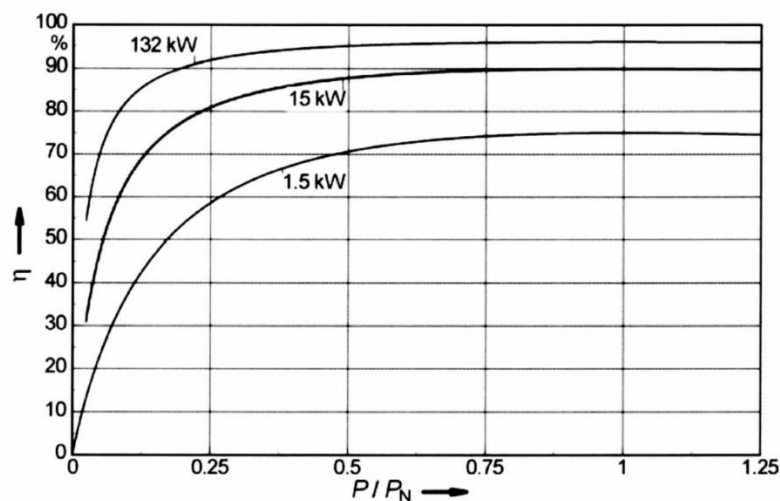


Abbildung 13: Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der relativen Belastung für IE2-Motoren

Bei einem Austausch eines E-Motors sollte daher immer die erforderliche Nennleistung für den neuen Motor genau überprüft werden.

2.5.5 PV-Anlage

Durch die kontinuierliche Stromabnahme einer Kläranlage ist der Einsatz von PV-Anlagen besonders effektiv. Darüber hinaus kann durch die Automatisierung der Kläranlage mit einer SPS die Aggregate und der Anlagenprozess auf die jeweilige aktuelle Stromproduktion abgestimmt werden.

Bei der Kläranlage Jesberg z.B. kann durch die Zweistraßigkeit und die simultane Denitrifikation die Laufzeit der Gebläse in der SPS so optimiert werden, dass der Eigenstromverbrauch möglichst hoch liegt.

Auf der Kläranlage Jesberg gibt es zwei Standortmöglichkeiten für eine zukünftige PV-Anlage. Bei der Standortauswahl muss darauf geachtet werden, dass durch die Anlage zukünftige Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten an der Kläranlage nicht behindert werden.

In der Abbildung 14 ist auf der Grundlage eines Auszuges vom Solarkataster Hessen die beiden möglichen Standorte auf der Kläranlage eingetragen. Diese sind mit ihren Randbedingungen:

➤ Modul 1: Vorhandenes Dach vom Betriebsgebäude

Auf der vorhandenen Dachkonstruktion können als Aufdachkonstruktion die PV-Module installiert werden. Die nach Osten ausgerichteten Module haben mit einem Winkel von -105° gegen Osten eine etwas ungünstigere Ausrichtung. Die Modulneigung ergibt sich durch die Dachneigung mit 25° . Auf der vorhandenen Fläche können Module mit einer Gesamtfläche von etwa 200 m^2 installiert werden.

➤ Modul 2: Aufgeständerte Konstruktion über dem Belebungsbecken

Über dem Belebungsbecken kann eine aufgeständerte Anlage (wie Agi-PV Module) errichtet werden. Die Vorteile liegen in der schon vorhandenen Gründungsmöglichkeit der Konstruktion auf den Betonwänden des Belebungsbeckens und die optimierte Modulneigung mit 35° . Die Belüftungseinrichtung und die Rührwerke haben eine eigene Aushebevorrichtung. Somit benötigt man für die Instandhaltungsarbeiten keinen Autokran, bei dem die Module stören würden. Über dem Belebungsbecken können Module mit einer Gesamtfläche von etwa 500 m^2 installiert werden. Damit wäre an diesem Standort eine größere Stromerzeugung möglich.

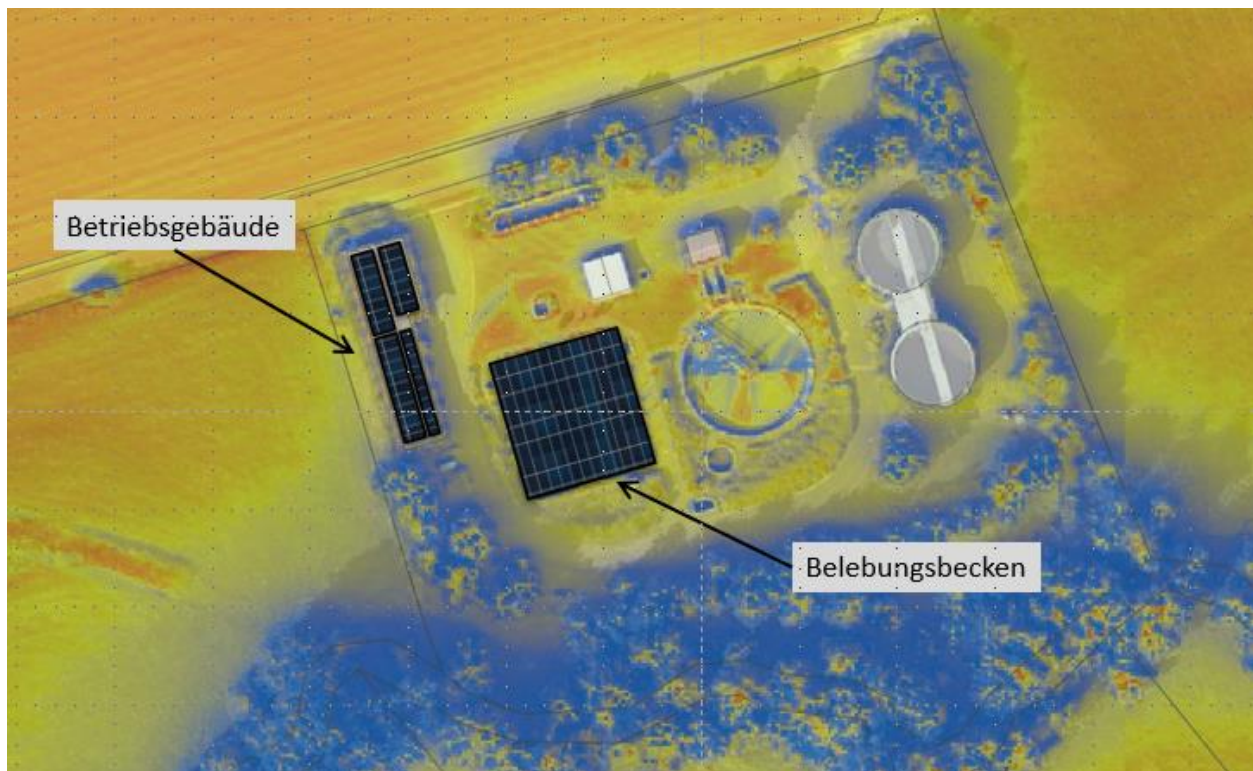


Abbildung 14: Lageplan mit den möglichen Standorten einer PV-Anlage

Quelle Luftbild: Solarkataster Hessen; <https://www.energieland.hessen.de/solar-kataster>

Für die beiden PV-Anlagen ergeben sich die folgenden Kenndaten.

PV-Modul 1 – Betriebsgebäude

- Fläche 75° - West: 100 m²
- Fläche -105° - Ost: 100 m²
- Dachneigung: 25°
- Installierte Leistung: 37 kW_p
- Stromproduktion: 31.525 kWh/a
- Deckungsgrad Eigenstrom: 77 %

Beschreibung	Investitionskosten
Solarmodule	24.100 €
Wechselrichter	11.500 €
Montagezubehör	3.700 €
Montagesystem	4.900 €
Montage	5.600 €
Netzanschluss	1.500 €
Summe - brutto	51.300 €

Tabelle 8: Investitionskosten PV-Modul 1 - Betriebsgebäude

PV-Modul 2 – Belebungsbecken

- Fläche 0° - Süd: 500 m²
- Dachneigung: 35°
- Installierte Leistung: 80 kW_p
- Stromproduktion: 82.199 kWh/a
- Deckungsgrad Eigenstrom: 39 %

Beschreibung	Investitionskosten
Solarmodule	48.000 €
Wechselrichter	24.000 €
Montagezubehör	8.000 €
Ständerkonstruktion	18.400 €
Montage	14.400 €
Netzanschluss	1.800 €
Summe - brutto	114.600 €

Tabelle 9: Investitionskosten PV-Modul 2 - Belebungsbecken

In der Abbildung 15 ist ein Beispiel für eine Ständerkonstruktion aus der Agri-Photovoltaik aufgeführt. Wie oben aufgeführt, liegt der Vorteil dieser Konstruktion auf der Kläranlage Jesberge bei der Montage der Konstruktion auf die vorhandenen Betonwände vom Belebungsbecken. Damit werden keine zusätzliche Fundamente benötigt.



Abbildung 15: Beispiel für Ständerkonstruktion aus der Agri-Photovoltaik

Der Vergleich der beiden Anlagen zeigt, dass bei der kleineren Fläche auf dem Betriebsgebäude der Deckungsgrad der Eigenstromnutzung bei etwa 77 % liegt. Nur in den Mittagszeiten in den Sommermonaten liegt die Erzeugung über dem Verbrauch.

Bei der größeren Anlage über dem Belebungsbecken liegt der Deckungsgrad der Eigenstromerzeugung nur bei etwa 39 %. Der größte Teil des produzierten Stromes würde in das Stromnetz eingespeist.

In der Abbildung 16 ist für eine diffuse Sonneneinstrahlung und mittlere Betriebsbedingungen die Ganglinie des Deckungsgrades über dem Jahr aufgetragen.

Stromerzeugung über die PV-Module - Ganglinie Eigenstromanteil -

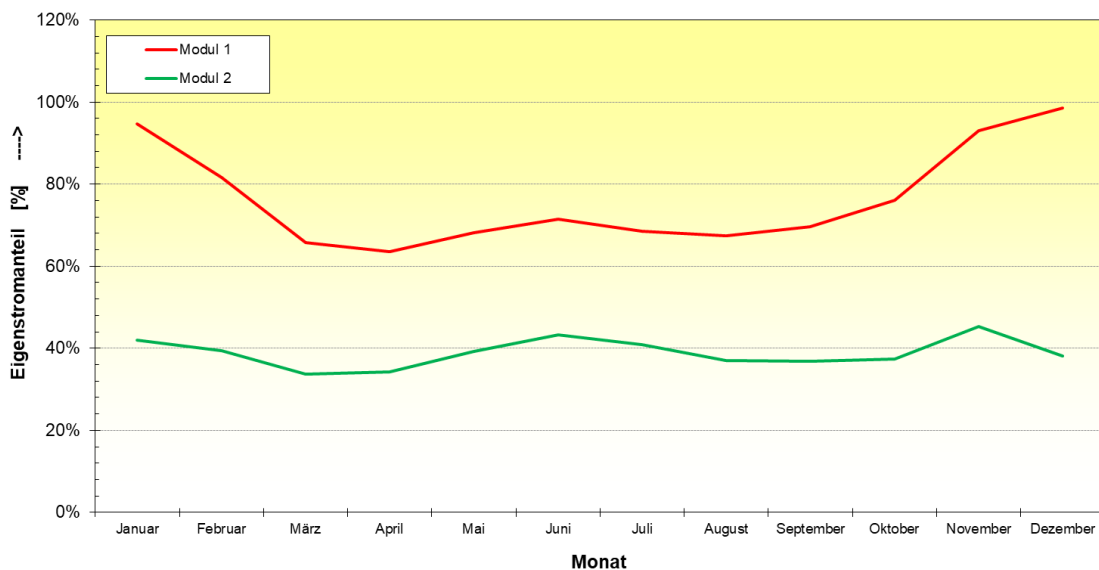


Abbildung 16: Ganglinien des Deckungsgrades der Eigenstromnutzung

Stromspeicher haben noch hohe Investitionskosten. Für die beiden Standorte der PV-Anlagen kämen für die Verbesserung der Eigenstromnutzung die folgenden Varianten der Stromspeicherung in Frage:

PV-Modul 1 - Betriebsgebäude

- 100% Eigenstromnutzung: 110 kW Speicherkapazität
- Investitionen: 165.000 €
- Jahresmittelwert Stromeinspeisung: 60 kW Speicherkapazität
- Investitionen: 90.000 €

PV-Modul 2 - Belebungsbecken

- 100% Eigenstromnutzung: 440 kW Speicherkapazität
- Investitionen: 660.000 €
- Jahresmittelwert Stromeinspeisung: 310 kW Speicherkapazität
- Investitionen: 465.000 €

Die groben Investitionskosten wurden für Lithium-Ionen-Akkus abgeschätzt. Durch den zurzeit laufenden weltweiten Aufbau neuer Herstellungskapazitäten und der Entwicklung neuer Akkutechniken, werden sich die spezifischen Investitionskosten in den nächsten Jahren voraussichtlich reduzieren. Die Installation von Stromspeichern kann auch zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Dies hat auch den Vorteil, dass dann aktuelle Betriebsdaten mit der neuen PV-Anlage, den neuen Gebläse und der angepassten Gebläsesteuerung vorliegen. Damit können die zulünftigen Speichermodule exakter auf die vorhandenen Bedürfnisse ausgelegt werden.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für das **Modul 1 auf dem Betriebsgebäude** erfolgt in der Tabelle 10 über den Kapitalwiedergewinnungsfaktor, einem Kapitalzinssatz von 2,0 %, dem Deckungsgrad der Eigenstromnutzung von 77 %, dem aktuellen Strompreis von 0,25 €/kWh und dem Strompreis für die Einspeisung von 0,0433 €/kWh.

Der K/N-Verhältnis liegt mit diesen Randbedingungen bei 0,49. Da die Strompreisentwicklung nicht vorhersehbar ist, könnte der K/N-Verhältnis für die kommenden Jahre auch günstiger ausfallen.

Stromproduktion Eigenstrom	Betriebszeit	Stromeinsparung Stromeinspeisung	Stromeinsparung Stromeinspeisung
31.525 kWh/a	20 a	121.370 €	6.069 €/a
24.274 kWh/a		6.280 €	314 €/a
Investitionskosten €	KFAKR	Kapitalkosten €/a	K/N-Verhältnis
	-		-
PV-Modul 1: 51.300 €	0,0612	3.140 €/a	0,49

Tabelle 10: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - PV-Modul 1 - Betriebsgebäude

Nach der Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen wird empfohlen eine Maßnahme mit einem Kosten-Nutzen-Verhältnis zwischen 0,30 und 0,70 kurzfristig zu realisieren.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für das **Modul 1 auf dem Belebungsbecken** erfolgt in der Tabelle 11 über den Kapitalwiedergewinnungsfaktor, einem Kapitalzinssatz von 2,0 %, dem Deckungsgrad der Eigenstromnutzung von 39 %, dem aktuellen Strompreis von 0,25 €/kWh und dem Strompreis für die Einspeisung von 0,0433 €/kWh.

Der K/N-Verhältnis liegt mit diesen Randbedingungen bei 0,69 und damit ungünstiger wie das Modul 1 auf dem Betriebsgebäude.

Stromproduktion Eigenstrom	Betriebszeit	Stromeinsparung Stromeinspeisung	Stromeinsparung Stromeinspeisung
82.199 kWh/a	20 a	160.290 €	8.015 €/a
32.058 kWh/a		43.422 €	2.171 €/a
Investitionskosten €	KFAKR	Kapitalkosten €/a	K/N-Verhältnis
PV-Modul 2: 114.600 €	0,0612	7.014 €/a	0,69

Tabelle 11: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - PV-Modul 2 - Belebungsbecken

Nach der Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen wird empfohlen eine Maßnahme mit einem Kosten-Nutzen-Verhältnis zwischen 0,30 und 0,70 kurzfristig zu realisieren.

Als **kurzfristige Investition** werden die PV-Module auf dem Dach vom Betriebsgebäude empfohlen. Durch die vorhandene Ost-West-Ausrichtung des Dachs kann effektiver der Strombedarf in den Morgen- und Nachmittagsstunden abgedeckt werden.

2.5.6 Pumpwerk Elnrode-Strang

Das Pumpwerk Elnrode-Strang fördert seit dem Jahr 2003 das Mischwasser aus dem Ortsteil Elnrode-Strang über eine Druckleitung zur Kläranlage nach Jesberg. Die Druckleitung wird dabei zu einem Hochpunkt geführt und verläuft von dort als Freigefälledruckleitung zur Kanalisation im Ortsteil Hundshausen. Dort befindet sich die Übergabestelle.

Der geodätische Höhenunterschied liegt bei 42,00 m Wassersäule. Die Förderhöhe für das Pneumatikpumpwerk beträgt 81,00 m Wassersäule.

Das Pumpwerk hat die folgenden Kenndaten:

- Baujahr: 2003
- Angeschlossene Einwohner: 229 E
- Förderleistung: 25 m³/h
- Förderdruck: 8,10 bar

- Druckleitung:
 - Tiefpunkt: 268,00 m üNN
 - Hochpunkt: 310,00 m üNN
 - Übergabepunkt: 270,00 m üNN
 - Länge Druckleitung: 1.176 m
 - Länge Gefälleleitung: 1.284 m
- Gebläse:
 - Anzahl: 2 Stück
 - Nennleistung: 18,5 kW
 - Baujahr: 2011
- Jahresabwassermenge: 17.900 m³/a (abgeschätzt)
- Stromverbrauch:
 - 2019 – 2021: 56.618 kWh/a (Mittelwert)
 - Spezifischer Energiebedarf: 3,16 kWh/m³

Für die Ermittlung der Jahresabwassermenge gibt es keine Betriebsdatenaufzeichnung im Pumpwerk. Für die weiteren Auswertungen wurde daher die Jahresabwassermenge abgeschätzt.

In den nachfolgenden Abbildung 17, Abbildung 18 und Abbildung 19 ist das bestehende Pumpwerk zu sehen. Das erste Foto zeigt die beiden Druckbehälter. In diese läuft das Abwasser und wird dann aus den Behältern über die Druckluft in die Druckleitung gedrückt. Die beiden Druckbehälter werden abwechselnd beschickt und betrieben.



Abbildung 17: PW-Elnode-Strang: Druckbehälter

Das nächste Foto zeigt die beiden Druckluftgebläse. Diese erzeugen die notwendige Druckluft. Die Betriebsdauer der Gebläse beträgt durch den Befüllvorgang mit Druckluft etwa das doppelt der Förderzeit. Damit ergibt sich schon durch das Konzept der pneumatischen Förderung - im Vergleich zu einer hydraulischen Pumpe - ein höherer Stromverbrauch.

Auf dem Bild sind an der Wand die für den automatischen Betrieb erforderlichen pneumatischen Absperrarmaturen zu erkennen. Über die KG-Rohre wird bei der Entlastung der Druckluftbehälter die entspannte Druckluft abgeführt.



Abbildung 18: PW-Elnrode-Strang: Gebläse 1 und 2

Für die Automatisierung des Pumpwerks sind Pneumatische Absperrarmaturen vorhanden. Die Steuerluft für diese Armaturen wird durch einen kleinen Druckluftkompressor mit Druckluftbehälter erzeugt. Das nachfolgenden Foto zeigt diesen Kompressor.



Abbildung 19: PW-Elnrode-Strang: Druckluftversorgung für die pneumatischen Antriebe

Einen besseren Wirkungsgrad für die Abwasserförderung wird durch hydraulische Pumpen erreicht. Problem im Bestand des Pumpwerks Elnrode-Strang sind jedoch die hohe Förderhöhe von 81 m Wassersäule. Damit ist der Einsatz von Zentrifugalpumpen stark begrenzt. Es müssten mehrstufige Pumpen eingesetzt werden und diese sind gegenüber den Feststoffen im Rohabwasser empfindlich.

Besser geeignet sind daher Vordrängerpumpen wie die Drehkolbenpumpe. Hier muss jedoch dafür gesorgt werden, dass Sand und Steine aus dem Kanal mit dieser Pumpe nicht gefördert werden. Daher muss der saugseitige Anschluss an der Pumpenvorlage so erfolgen, dass in der Pumpenvorlage für die Störstoffe ein Auffangraum geschaffen wird. Diese Störstoffe werden dann regelmäßig mit der pneumatischen Pumpe gefördert. Daher müssen beide Pumphensysteme parallel betrieben werden. Dies muss in einer neuen automatischen Steuerung berücksichtigt werden.

In der Abbildung 20 ist als Beispiel eine Nachrüstung eines pneumatischen Pumpwerks mit einer Drehkolbenpumpe aufgezeigt.



Abbildung 20: Beispiel: Nachrüstung einer Drehkolbenpumpe für die Energieeinsparung.

Die Kenndaten der Nachrüstung mit einer Drehkolbenpumpe:

- Drehkolbenpumpe:
 - Förderleistung: 27,0 m³/h
 - Nennleistung: 15,0 kW
 - Förderdruck: 8,50 bar
 - Fördermenge: ca. 80 % der Jahresabwassermenge
14.300 m³/a
 - Energiebedarf: 8.000 kWh/a
 - Energieeinsparung: 36.000 kWh/a
 - Emissionsfaktor: 560 g CO₂/kWh
 - CO₂-Einsparung: 20.160 kg CO₂/a
 - Lebenszyklus: 20 Jahre
403 t CO₂
 - Spezifische Kosten: 142 €/t CO₂

Auf der Basis der aktuellen Preissituation ergibt sich für die Nachrüstung die folgende Kostenschätzung:

Beschreibung	Investitionskosten
Werksplanung	1.600 €
Drehkolbenpumpe – 15 kW	9.800 €
Rohrleitungen – Edelstahl	2.500 €
Absperarmaturen	3.200 €
Mengenmessung - MID	2.400 €
Neue Steuerung – SPS S7-1200	3.400 €
Elektrischer Anschluss der Pumpe	2.500 €
Frequenzumrichter – 15,0 kW	3.800 €
Montagezubehör	2.500 €
Montage und Inbetriebnahme	16.500 €
Summe - netto	48.200 €
Summe - brutto	57.358 €

Tabelle 12: Investitionskosten PV-Modul 1 - Betriebsgebäude

Der K/N-Verhältnis liegt mit diesen Randbedingungen bei 0,39. Da die Strompreisentwicklung nicht vorhersehbar ist, könnte der K/N-Verhältnis für die kommenden Jahre auch günstiger ausfallen.

Stromverbrauch kWh/a	Betriebszeit a	Stromeinsparung €/Betriebszeit	Stromeinsparung a
56.618 kWh/a	20 a	180.000 €	9.000 €/a
Investitionskosten €	KFAKR	Kapitalkosten €/a	K/N-Verhältnis
57.358 €	0,0612	3.510 €/a	0,39

Tabelle 13: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung - PV-Modul 1 - Betriebsgebäude

Nach der Arbeitshilfe zur Verbesserung der Energieeffizienz von Abwasseranlagen wird empfohlen eine Maßnahme mit einem Kosten-Nutzen-Verhältnis zwischen 0,30 und 0,70 kurzfristig zu realisieren.

2.5.7 Ausblick

Durch die langfristig steigenden Energiepreise und die politischen Vorgaben werden heute neue und energie-sparendere Elektromotoren entwickelt. Seit einigen Jahren gibt es E-Motoren mit der Energieeffizienzklasse IE4 auf dem Markt. 2015 wurden auf der Hannover Messe die ersten IE5-Motoren vorgestellt. Obwohl die Norm noch nicht fortgeschrieben wurde, wurden aktuell schon die ersten IE6 und IE7-Motoren angekündigt.

IE5-Motoren haben in der Praxis einen um 20 % reduzierten Verlust gegenüber IE4-Motoren. Damit ergibt sich eine weitere Steigerung des Wirkungsgrads und somit eine Reduzierung des Energieeinsatzes. Für die Kläranlage Jesberg bedeutet dies, dass mit der hier aufgestellten Energieeffizienzanalyse nur der heutige Stand der Technik abgebildet werden kann. Mit den Innovationen bei der Technik in Blick auf die Energieeinsparung sollten die Randbedingungen regelmäßig überprüft werden.

2.5.8 CO₂-Einsparung der empfohlenen Maßnahmen

Für die Bekämpfung des Klimawandels liegt ein besonderer Schwerpunkt auf der Reduzierung der CO₂-Emissionen.

Für die Umrechnung des Energiebedarfs in Treibhausgasemissionen werden die Emissionsfaktoren nach der Anlage 9 des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) verwendet. In Tabelle 14 sind die wesentlichen Faktoren die hier verwendet wurden aus der Anlage aufgeführt.

Nummer	Kategorie	Energieträger	Emissionsfaktor g CO ₂ / kWh
12	Strom	Netzbezogen	560
13		Gebäudenah erzeugt	0
14		Verdrängungsstrommix	860

Tabelle 14: Emissionsfaktoren nach dem Gebäudeenergiegesetz

Heizlast	Einheit	Gebläse	PV-Anlage Modul 1	PW-Einrode- Strang
Energiebedarf	kWh/a	38.186	--	56.618
Energieeinsparung	kWh/a	16.546	--	36.000
Stromproduktion	kWh/a		31.525	
CO ₂ -Emission - Bestand	kg CO ₂ /a	21.384	--	31.706
Einsparung	kg CO ₂ /a	9.266	19.829	20.160
Lebenszyklus	Jahre	25	20	20
Lebenszyklus	to CO ₂	232	397	403
Investitionskosten	€	130.757	51.300	57.358
Spez. Invest-Kosten	€/ to CO ₂	564	129	142

Tabelle 15: CO₂-Einsparungen der Maßnahmen

In der Tabelle 17 sind die drei kurzfristigen Maßnahmen mit dem Potential der CO₂-Einsparung und den spezifischen Investitionskosten aufgeführt.

2.6 Empfehlungen für Maßnahmen

Für die Kläranlage Jesberg werden aus energetischen Gründen die folgenden Maßnahmen in der aufgeführten Reihenfolge empfohlen:

1. kurzfristig: Ersatzbeschaffung für die Drehkolbengebläse
PV-Anlage auf dem Betriebsgebäude
Nachrüsten vom Pumpwerk Einrode-Strang
2. mittelfristig: Austausch der E-Motoren an den Rücklaufschlammschnecken
3. bei Bedarf: Austausch von E-Motoren

Durch das sehr hohe Alter der vorhandenen Drehkolbengebläse und der nicht mehr gegebenen Ersatzteilbeschaffung sollte vor dem Hintergrund der Einhaltung der Ziele der Abwasserreinigung die Drehkolbengebläse möglichst kurzfristig ausgetauscht werden.

3 ZUSAMMENFASSUNG

Für die Kläranlage Jesberg wurde eine Energieeffizienzanalyse und Potentialstudie aufgestellt. Es erfolgte die Auswertung der Daten aus der Eigenkontrolle, eine Begehung der Kläranlage, das Nachrechnen der bestehenden biologischen Abwasserreinigung, die Aufstellung einer Energiebilanz, einige Handlungsempfehlungen und die Berechnung der Wirtschaftlichkeit.

In Tabelle 16 ist die Übersicht der spezifischen Stromverbräuche mit deren Ziel- und Toleranzwerte aufgetragen.

Kläranlage	Ist-Wert kWh/(EW-a)	Ziel-Wert kWh/(EW-a)	Toleranz-Wert kWh/(EW-a)
Jesberg	32,1	30,00	40,00

Tabelle 16: Übersicht vom spezifischen Stromverbrauch der Kläranlage

In den letzten Jahren wurde schon einige Maßnahmen durchgeführt. Mit der Erneuerung der Rührwerke konnte eine Energieeinsparung von 23,0 % erreicht werden. Die Kläranlage liegt aktuell mit ihren spezifischen Werten zwischen dem Ziel- und Toleranz-Wert.

Es wurden Maßnahmenpakete vorgestellt und die Wirtschaftlichkeit berechnet. Die Gemeinde Jesberg hat damit einige Handlungsempfehlungen, um für eine weitere Energieeinsparung Maßnahmen einzuleiten. Im Einzelnen sind dies:

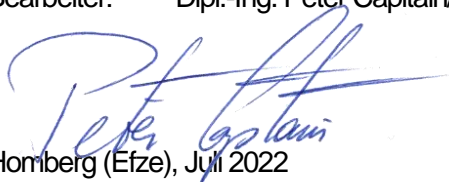
Maßnahme	Stromeinsparung €/Jahr	Investition €	K/N- Verhältnis	Sofort- maßnahme
Gebläse	5.150 €	130.757,20 €	0,57	Ja
PV-Modul 1	6.383 €	51.300,00 €	0,49	Ja
PW Elnrode-Strang	9.000 €	57.358,00 €	0,39	Ja
Zwischensumme	20.533 €	239.415,20 €		
E-Motoren RS-PW	588 €	6.046,00 €	0,60	Nein

Tabelle 17: Empfehlungen für die Verbesserung der Energieeffizienz

Zusätzliche Maßnahmen können auch im Rahmen der laufenden Instandhaltung der Anlagen – wie z. B. der Austausch von E-Motoren – erfolgen. Hierfür wurden allgemein gültige Berechnungsergebnisse aufgezeigt.

Zur Sicherung des Betriebs der Kläranlage und Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen an die Gewässer-einleitung wird eine kurzfristige Erneuerung der Drehkolbengebläse empfohlen.

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Peter Capitain/cbr



Hornberg (Efze), Juli 2022

Anlage 1

Nachrechnen des Belebungsbeckens nach DWA Arbeitsblatt A-131

Belebungsbecken

nach DWA Arbeitsblatt A-131 - Mai 2000

Belastung: 4.500 EW

Volumen:

vorgeschaltete Deni	=	0	simultane Deni = 2	2
simultane Deni	=	1		
Denitrifikation	=	V.DN	=	750 m ³
Nitrifikation	=	V.NI	=	750 m ³
Summe Belebungsbecken	=	V.BB	=	1.500 m ³
Temperatur	=	Temp	=	14 °C
Feststoffgehalt Biologie	=	TS.BB	=	3,80 kg TS/m ³
Schlammbelastung	=	B.TS	=	0,029 kg/kg
Raumbelastung	=	B.R	=	0,112 kg/m ³

Schlammalter

aerobe simultane Schlammstabilisierung	=	0		
+ gezielte Denitrifikation	=	1		
Sicherheitsfaktor	=	SF	=	1,80
Bemessungstemperatur	=	Temp.Bem	=	12 °C
erforderliches Schlammalter	=	t.TS.Bem	=	25 d
vorhandenes Schlammalter	=	t.TS	=	27 d

Überschussschlamm:

BSB-5 Zulauf Biologie	=	C.BSB.ZB	=	143 mg/l
TSo Zulauf Biologie	=	X.TS.ZB	=	167 mg/l
Temperaturfaktor	=	fT	=	0,9328 -
ÜSS aus C-Abbau	=	ÜS.d.C	=	161,32 kg TS/d
ÜSS aus P-Elimination	=	ÜS.d.P	=	50,04 kg TS/d
ÜSS Summe	=	ÜS.d	=	211,36 kg TS/d
Wirkungsgrad BSB-Abbau	=	W.BSB	=	0,98 -

aktiver Schlammanteil:

Hilfsgröße	=	HG	=	0,84
aktiver Anteil	=	x	=	0,175 -

Sauerstoffbedarf:

NO3-N Ablauf Kläranlage	=	S.NO3.AN	=	1,84 mg/l
denitrifizierbare NO3-N	=	S.NO3.D	=	32,74 mg/l
Kohlenstoffabbau	=	OV.C	=	149,4 kg O2/d
Nitrifikation	=	OV.N	=	121,8 kg O2/d
Denitrifikation	=	OV.DN	=	77,8 kg O2/d
SUMME Sauerstoffverbrauch	=	OV.Sum	=	193,5 kg O2/d

Sauerstoffeintrag:

O ₂ -Gehalt im Belebungsbecken	=	C.o	=	0,20 mg/l
Sättigungswert bei 14,0°C	=	C.o.s	=	10,31 mg/l
Eintauchtiefe der Belüfter	=	d.e	=	4,15 m
Sauerstoffsättigungskonzentration in 4,15 m Tiefe	=	C.s.m	=	12,38 mg/l
Sauerstoffzufuhr unter Betriebsbedingungen	=	OB	=	196,63 kg O2/d
Sauerstoffzufuhrfaktor	=	Alpha	=	0,75 -
Sauerstoffaufnahme	=	SSA	=	0,022 kg O2/Nm ³ m
Alterung der Belüfter	=		=	100%
Sauerstoffzufuhrvermögen	=	OC	=	262,2 kg O2/d
Luftmenge	=	Q.Luft	=	2.871,6 m ³ Luft / d
Gebläselaufzeiten	=		=	12,00 h/d
Luftmenge - Stundenwert	=	Q,Luft.h	=	239,3 m ³ Luft / h
			=	4,0 m ³ Luft / min

Gebläse:

Geländehöhe		=	220 m ü NN
Druckverluste im System	t.v	=	0,50 m WS
Alterung der Belüfter		=	100%
spezifischer volumetrischer Verlust	V.v100	=	0,15 m3 Luft / min
Zunahme der		=	100%
volumetrischer Verlust	V.v	=	0,32 m3 Luft / min
Ansaugtemperatur	Temp.Luft	=	28,00 °C
Wirkungsgrad vom Gebläse + E-Motor	n.Gebälase	=	0,65 -
Verschlechterung Wirkungsgrad		=	100%
Vordruck Gebläse		=	987 mbar
Nachdruck Gebläse		=	1.452 mbar
Temperatur Ausgang		=	66,69 °C
adiabatische Förderhöhe	ad.H	=	35,19 KJ/kg
adiabatische Verdichterleistung		=	3,27 kW
Gebälaseleistung		=	5,03 kW
Energiebedarf Belüftung	W.Belüftung	=	60,38 kWh/d
<u>Umwälzung im Belebungsbecken</u>			
Energiedichte		=	1,60 Wh/m³
Energiebedarf		=	57,60 kWh/d
<u>Summe Energiebedarf:</u>		=	117,98 kWh/d
Energiekosten		=	29,38 €d

Anlage 2

Energieeffizienzanalyse

BETRIEBSKOSTENERMITTLUNG

Kläranlage Jesberg - Zielplanung

Pumpwerke

Pumpen	H,man m	n,PW + Emot -	f,Q -	Q,d m³/d	W kWh/d	Kosten €/d
Zulauf im freien Gefälle						
RS-Pumpwerk - Schnecke A	1,50	0,55	0,50	398	2,96	0,92
RS-Pumpwerk - Schnecke B	2,50	0,55	0,75	597	7,39	2,30
USS-Pumpe	10,00	0,55	0,04	33	1,64	0,51
RZ-Pumpe	0,10	0,55	0,00	0	0,00	0,00
NKB-Schwimmschlamm	0,50	0,55	0,01	8	0,02	0,01
SSB-Trübwasserpumpe	3,00	0,55	0,04	33	0,49	0,15
Energiekosten				=	12,50	3,89 €

Rechen

Antriebe	Laufzeit %	Q,max m³/d	Q,h m³/d	P,an kW	W kWh/d	Kosten €/d
Rechenantrieb	50	1.528,8	795,6	0,75	4,68	1,46
Rechengutpresse	10	1.528,8	795,6	2,50	3,12	0,97
Energiekosten				=	7,81	2,43 €

Sandfang, Fettfang und Sandwäscher

Antriebe		P,an kW	Ein h/d	W kWh/d	Kosten €/d
Gebälse - 1		1,50	12,00	18,000	5,603
Gebälse - 2		1,10	12,00	13,200	4,109
Sandpumpe		1,60	2,00	3,200	0,996
Fahrwerk Räumer		0,35	6,00	2,100	0,654
Antrieb Sandaustragsschnecke		0,37	1,00	0,370	0,115
Energiekosten =				36,870	11,476 €/d

Belebungsbecken

nach DWA Arbeitsblatt A-131 - Mai 2000

Belastung: 3.060 EW

Volumen:

vorgeschaltete Deni	=	0	simultane Deni = 2	2
simultane Deni	=	1		
Denitrifikation		V.DN	=	750 m³
Nitrifikation		V.NI	=	750 m³
Summe Belebungsbecken		V.BB	=	1.500 m³
Temperatur		Temp	=	14 °C
Feststoffgehalt Biologie		TS.BB	=	3,50 kg TS/m³
Schlammbelastung		B.TS	=	0,035 kg/kg
Raumbelastung		B.R	=	0,122 kg/m³

Schlammalter

aerobe simultane Schlammstabilisierung	=	0		
+ gezielte Denitrifikation	=	1		
Sicherheitsfaktor		SF	=	1,80
Bemessungstemperatur		Temp.Bem	=	12 °C
erforderliches Schlammalter		t.TS.Bem	=	25 d
vorhandenes Schlammalter		t.TS	=	25 d

Überschussschlamm:

BSB-5 Zulauf Biologie		C.BSB.ZB	=	231 mg/l
TSo Zulauf Biologie		X.TS.ZB	=	269 mg/l
Temperaturfaktor		fT	=	0,9328 -
ÜSS aus C-Abbau		ÜS.d.C	=	178,31 kg TS/d
ÜSS aus P-Elimination		ÜS.d.P	=	32,35 kg TS/d
ÜSS Summe		ÜS.d	=	210,66 kg TS/d
Wirkungsgrad BSB-Abbau		W.BSB	=	0,98 -

aktiver Schlammanteil:

Hilfsgröße		HG	=	0,89
aktiver Anteil		x	=	0,197 -

Sauerstoffbedarf:

NO3-N Ablauf Kläranlage		S.NO3.AN	=	1,84 mg/l
denitrifizierbare NO3-N		S.NO3.D	=	29,23 mg/l
Kohlenstoffabbau		OV.C	=	162,5 kg O2/d
Nitrifikation		OV.N	=	74,4 kg O2/d
Denitrifikation		OV.DN	=	47,2 kg O2/d
SUMME Sauerstoffverbrauch		OV.Sum	=	189,7 kg O2/d

Sauerstoffeintrag:

O ₂ -Gehalt im Belebungsbecken		C.o	=	0,20 mg/l
Sättigungswert bei 14,0°C		C.o.s	=	10,31 mg/l
Eintauchtiefe der Belüfter		d.e	=	4,15 m
Sauerstoffsättigungskonzentration in 4,15 m Tiefe		C.s.m	=	12,38 mg/l
Sauerstoffzufuhr unter Betriebsbedingungen		OB	=	192,79 kg O2/d
Sauerstoffzufuhrfaktor		Alpha	=	0,75 -
Sauerstoffaufnahme		SSA	=	0,022 kg O2/Nm3 m
Alterung der Belüfter			=	100%
Sauerstoffzufuhrvermögen		OC	=	257,1 kg O2/d
Luftmenge		Q.Luft	=	2.815,5 m3 Luft / d
Gebläselaufzeiten			=	12,00 h/d
Luftmenge - Stundenwert		Q,Luft.h	=	234,6 m3 Luft / h
			=	3,9 m3 Luft / min

Gebläse:

Geländehöhe	=	220	m ü NN
Druckverluste im System	t.v	=	0,50 m WS
Alterung der Belüfter	=	100%	
spezifischer volumetrischer Verlust	V.v100	=	0,15 m3 Luft / min
Zunahme der	=	100%	
volumetrischer Verlust	V.v	=	0,32 m3 Luft / min
Ansaugtemperatur	Temp.Luft	=	28,00 °C
Wirkungsgrad vom Gebläse + E-Motor	n.Gebläse	=	0,65 -
Verschlechterung Wirkungsgrad	=	100%	
Vordruck Gebläse	=	987	mbar
Nachdruck Gebläse	=	1.452	mbar
Temperatur Ausgang	=	66,74	°C
adiabatische Förderhöhe	ad.H	=	35,19 KJ/kg
adiabatische Verdichterleistung	=	3,21	kW
Gebälseleistung	=	4,94	kW
Energiebedarf Belüftung	W.Belüftung	=	59,29 kWh/d

Umwälzung im Belebungsbecken

Energiedichte	=	1,60	Wh/m ³
Energiebedarf	=	57,60	kWh/d

Summe Energiebedarf:

	=	116,89	kWh/d
	=	42.663,93	kWh/Jahr
Energiekosten	=	36,38	€/d
		13.279,15	€/Jahr

Nachklärbecken

Antriebe	P,an kW	Ein h/d	W kWh/d	Kosten €/d
-				
NKB - Räumer	0,18	24,00	4,320	1,345
Rinnenreinigung	0,75	1,00	0,750	0,233
Schwimmschlamm-Pumpe	1,50	0,50	0,750	0,233
Energiekosten =			5,820	1,811 €/d

Schlammstapelbehälter

Antriebe	P,an kW	Ein h/d	W kWh/d	Kosten €/d
-				
Rührwerk - 1	5,00	1,00	5,000	1,556
Rührwerk - 2	5,00	1,00	5,000	1,556
Energiekosten =			10,000	3,113 €/d

Sonstige Energiekosten

Antriebe -	Anzahl Stück	P,an kW	Ein h/d	W kWh/d	Kosten €/d
Beleuchtung	8	0,06	6,00	2,880	0,896
Ventilator Rechenraum	1	0,25	12,00	3,000	0,934
SPS, EDV + Messtechnik	1	0,50	24,00	12,000	3,735
Gebäudeheizung	2	2,00	4,00	16,000	4,980
Kleinverbraucher	1	0,50	2,00	1,000	0,311
Energiekosten =				34,880	10,856 €d

Anlage 3

Eingangsdaten für die Energieeffizienzanalyse

Kläranlage: Jesberg - Zielplanung

E I N G A N G S D A T E N

Bemessungsgröße:

Auslegung	EW	=	▶	4.200 EW
Ist-Belastung	EW.b	=	▶	3.060 EW

Wassermengen Ist-Belastung:

spez. Abwassermenge	Q.EW	=	▶	260 l/EW d
Tagesspitze im Jahresgang	f.a.max	=	▶	1,40 -
Zulaufwassermenge	Q.d	=		796 m³/d
Bemessungswassermenge	Q.max	=	▶	1.529 m³/d
Jahreswassermenge	Q.a	=		290.394 m³/a

Schutzfracht Zulauf Biologie:

BSB-5-Wert	EW.s	=	▶	60 g BSB/EW d
	B.d.BSB	=		183,60 kg/d
	C.BSB.ZB	=		231 mg/l
TKN-Wert	EW.s.N	=	▶	11 g N/EW d
	B.d.TKN	=		33,66 kg/d
	C.TKN.ZB	=		42 mg/l
Verhältnis TKN / BSB-5	V.TKN.BSB	=		0,18 -
	TS,o/BSB-5 Verhältnis	V.TS.BSB	=	▶
P-Wert	X.TS.ZB	=		269 mg/l
	EW.s.P	=	▶	1,80 g P/EW d
	B.d.P	=		5,51 kg/d
Bio-P-Elimination	C.P	=		6,92 mg P/l
	C.P.BioP	=		1,15 mg P/l

Schlammbehandlung:

Primärschlamm	TS.PS	=	▶	35 gTS/EW d
Sekundärschlamm mit P-Fällung	TS.ÜS	=	▶	40 gTS/EW d
Stabilisierter Schlamm	TS.SS	=	▶	55 gTS/EW d

Sonstige Reststoffe:

Rechengut	TS.RG	=	▶	14 g/EW d
Sandfanggut	TS.SFG	=	▶	90 kg/1000 m³

Kostenansätze:

Stromkosten	K.St	=	▶	0,311 €/kWh
-------------	------	---	---	-------------

Anlage 4

Zielwertermittlung

ZIELWERTERMITTLUNG

Kläranlage Jesberg - Zielplanung

Eingangsdaten

Tatsächlich angeschlossene Einwohnerwerte	=	3.060	EW
Größenklasse der Kläranlage Jesberg - Zielplanung	=	2	
Stromverbrauch im Jahr inkl. interner Stromproduktion	=	98.302	kWh / a

Korrekturwerte

		e_{ges}	e_B	
Einlaufhebewerk > 3,00 m (Korrekturwert für zusätzliche Höhe)	=	0,00		kWh/(EW a)
Ist: Verhältnis TKN / BSB-5	=	0,18		-
Hohe N-Fracht im Zulauf (TKN / BSB-5 > 0,25)	=	0,00	0,00	kWh/(EW a)
Hohe N-Fracht im Zulauf (TKN / BSB-5 > 0,35)	=	0,00	0,00	kWh/(EW a)
Niedrige N-Fracht im Zulauf (TKN / BSB-5 < 0,10)	=	0,00	0,00	kWh/(EW a)
Flockungs- / Sandfiltration im Ablauf	=	0,00		kWh/(EW a)
Klärschlamm-trocknung	=	0,00		kWh/(EW a)
Abwasserdesinfektion durch UV-Bestrahlung	=	0,00		kWh/(EW a)

Summe der Korrekturwerte = 0,00 0,00 kWh/(EW a)

Spezifischer Energieverbrauch = 32,12 13,94 kWh/(EW a)

Zielwert für die Kläranlage Jesberg - Zielplanung nach Tab. 6 = 30,00 16,00 kWh/(EW a)

Toleranzwert für die Kläranlage Jesberg - Zielplanung nach Tak = 40,00 22,00 kWh/(EW a)

Ziel- und Toleranzwerte

Nach der Arbeitshilfe vom Land Hessen ergeben sich als Ziel- und Toleranzwerte der folgende spezifische Energieverbrauch:

Tab. 6: Beurteilungskriterien und Kennwerte zur Bewertung der energetischen Situation einer Kläranlage [verändert nach (Haberkem et al., 2008; LfU, 1998; Müller et al., 1999)]

Beurteilungskriterium	GK 1 und 2		GK 3 bis 5	
	Zielwert	Toleranzwert	Zielwert	Toleranzwert
Gesamter Elektrizitätsverbrauch [kWh / (EW a)]^(a) e_{ges}				
anaerobe Schlammstabilisierung (Faulung)	25	35	18	30
simultane aerobe Stabilisierung	30	40	24	35
Elektrizitätsverbrauch Belüftung [kWh / (EW a)]^(a) e_B				
anaerobe Schlammstabilisierung (Faulung)	14	20	10	16
simultane aerobe Stabilisierung	16	22	12	18
Elektrizitätsverbrauch Pumpwerke [Wh / (m³ m)] e_{PW}	4	6	4	6

Kläranlagen mit anaerober Schlammstabilisierung (alle GK)		Zielwert	Toleranzwert
Grad der gesamten Faulgasnutzung [%]	Faulgasnutzung	100	95
Elektrischer Wirkungsgrad der Faulgasverwertung [%]	η_{elek}	35	30
Spezifische Faulgasproduktion [NI / kg oTR _{zu}] (in Klammern: alternativ [Nm ³ / (EW a)])	$V_{Faulgas\ oTR} (V_{Faulgas\ EW})$	500 (11)	450 (9)
Eigenversorgungsgrad-Elektrizität [%] ^(a)	EV_{elek}	100 ^(b)	60
Eigenversorgungsgrad-Wärme [%]	EV_{th}	100	95

Grau hinterlegte Werte stehen für selten realisierte Anlagenkonzepte;

(a) Anlagenspezifische Randbedingungen wie topografisch bedingte Hebewerke, dichtes TKN / BSB₅-Verhältnis oder besondere Reinigungsanforderungen werden bei der Berechnung der Kennwerte berücksichtigt (Kapitel 5).

(b) 100 % sind in der Regel nur mit Co-Vergärung zu erreichen.

Anlage 5

Antriebsliste

KLÄRANLAGE: Jesberg - Zielplanung

ANTRIEBSLISTE

Datum der Bestandsaufnahme: 08.03.2022

Anlagenbezeichnung	Bezeichnung	Hersteller	Baujahr	Alter [a]	Betriebsstunden [h/a]	Nenn-Spannung [240 / 400 V]	Nenn-Strom [A]	Nenn-Leistung [kW]	cos φ [-]	Wirkungsgrad [η]	Anzahl Phasen [~1 / ~3]	Effizienzklasse [IE _x / EFF _x]	Betriebsart [SX]	FU vorhanden ?	Aktuelle Stromaufnahme [A]	Bemerkung
1	Rechen	Antriebsmotor	Brook Hansen	1997	25		400	2,10	0,75	0,64	80,55%	3	Ex	S1		
2	Rechen	Presse	Brook Hansen	1997	25		400	5,50	2,50	0,78	84,11%	3	Ex	S1		
3	Sandwäscher	Antrieb-Austragsschnecke	Ernod Motoren	1995	27		400	1,10	0,37	0,71	68,38%	3	Ex e II T	S1		
4	Sandfang	Förderpumpe	KSB				400	3,35	1,60	0,80	86,17%	3	Eexd			Amarex F 65-210
5	Sandfang	Antrieb-Räumerbrücke	SEW-Eurodrive	1995	27		400	0,55	0,18	0,78	60,56%	3				
6	Sandfang	Antrieb-Kabeltrommel	Mannesmann Demag	1995	27		400	0,55	0,17	0,76	58,70%	3				
7	Sandfang	Antrieb-Räumschild	SEW-Eurodrive	1995	27		400	0,69	0,15	0,72	43,58%	3				
8	Sandfang	Gebälse 1	Becker	1995	27	92.732	400	3,50	1,50	0,87	71,10%	3		S1	2,80	
9	Sandfang	Gebälse 2	Becker	2001	21	92.589	370	2,50	1,10	0,85	80,77%	3		S1		
10	Belebungsbecken	Rührwerk	Flygt	2017	5		400	7,30	4,00	0,94	84,14%	3		S1		Flygt - Banana - 4320.010 - mit FU
11	Belebungsbecken	Rührwerk	Flygt	2018	4		400	7,30	4,00	0,94	84,14%	3		S1		Flygt - Banana - 4430.010 - 1.450 1/min
12	Belebungsbecken	Gebälse 1	Aerzener	1995	27	32.545	380	14,00	6,00	0,84	77,52%	3				Typ: GM 4 S - Motor 4,80 / 6,00 kW
13	Belebungsbecken	Gebälse 2	Aerzener	1995	27	32.718	380	14,00	6,00	0,84	77,52%	3				Typ: GM 4 S - Motor 4,80 / 6,00 kW
14	Belebungsbecken	Gebälse 3	Aerzener	1995	27	19.791	380	14,00	6,00	0,84	77,52%	3				Typ: GM 4 S - Motor 4,80 / 6,00 kW
15	Belebungsbecken	Gebälse 4	Aerzener	1995	27	17.172	380	14,00	6,00	0,84	77,52%	3				Typ: GM 4 S - Motor 4,80 / 6,00 kW
16	Belebungsbecken	Gebälse 5	Aerzener	1995	27	17.099	380	14,00	6,00	0,84	77,52%	3				Typ: GM 4 S - Motor 4,80 / 6,00 kW
17	Rücklaufschlamm	RS-Schnecke A	AEG	1995	27	85.846	400	5,40	2,20	0,80	73,51%	3			4,50	
18	Rücklaufschlamm	RS-Schnecke B	AEG	1995	27	85.517	400	5,40	2,20	0,80	73,51%	3				
19	Überschussschlamm	ÜSS-Pumpwerk	KSB	1995	27		400	3,80	1,60	0,82	74,11%	3				Amarex F 50-160
20	Nachklärung	Antrieb Räumerbrücke	SEW-Eurodrive	2020	2		400	0,55	0,18	0,78	60,56%	3		S1		
21	Nachklärung	Rinnenbürste	Nord	1995	27		400	1,87	0,75	0,79	73,28%	3				
22	Nachklärung	Schwimmschlammpumpe														Tauchmotorpumpe
23	Schlammstapelbehälter	Rührwerk	Flygt	2014	8		400	17,00	5,50	0,65	71,84%	3				Flygt - SR 4650.310
24	Schlammstapelbehälter	Rührwerk	Flygt	2018	4		400	17,00	5,50	0,65	71,84%	3				Flygt - 4650.310
25	Schlammstapelbehälter	Trübwasserabzug	Kleine				400	6,00	2,60	0,80	78,18%	3				
26	Schlammstapelbehälter	Exzenterschneckenpumpe	Seepex	1995	27		400		8,50			3				
27																

Info: S1: Dauerbetrieb
 S2: Kurzzeitbetrieb
 S3: Aussetzbetrieb
 S4: Aussetzbetrieb
 S5: Aussetzbetrieb
 S6: Durchlaufbetrieb
 S7: Reservierbetrieb
 S8: Durchlaufbetrieb

Ohne Angabe auf dem Typenschild gilt S1
 Betriebszeit 0,5 bis 90 min
 Einschaltdauer (15; 25; 40; 60%), Spieldauer (10 min)
 Schaltspiele (60 ... 600 /h), Einschaltdauer, Trägheitsfaktor
 Schaltspiele (60 ... 600 /h), Einschaltdauer, Trägheitsfaktor
 Einschaltdauer (15; 25; 40; 60%), Spieldauer (10 min)
 Schaltspiele (60 bis 600 /h), Trägheitsfaktor
 Schaltspiele (60 bis 600 /h), Einschaltdauer, Trägheitsfaktor

ohne Anlauf, ohne Bremsung
 mit Anlauf, ohne Bremsung
 mit Anlauf, mit Bremsung
 mit Aussetzbelastung
 mit veränderlicher Drehzahl