Gemeinde Karlskron

Energiepotenzialanalyse der Kläranlage Karlskron

vom 17.12.2021

Vorhabensträger: **Gemeinde Karlskron**
Hauptstraße 24
85123 Karlskron
08450/930-0

Landkreis: **Landkreis Neuburg-Schrobenhausen**

Entwurfsverfasser: **WipflerPLAN Planungsgesellschaft mbH**
Hohenwarter Straße 124
85276 Pfaffenhofen an der Ilm
Tel.: 08441 5046-0; Fax: 08441 490204

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

ERLÄUTERUNG

INHALTSVERZEICHNIS

1. VORHABENSTRÄGER 4

2. ZWECK DES VORHABENS 4

3.1. VORBEMERKUNGEN 5

3.2. AUFNAHME DER BESTANDSSITUATION DER KLÄRANLAGE 5

3.2.1 Aktuelle Situation der Kläranlage 5

3.2.2 Klärschlamm 6

3.2.3 Elektro-/Mess-/Steuer-/Regel-Technik 6

3.2.3 Analyse des Energieverbrauchs 7

3.2.4 Ableitung einer Energie- und Treibhausgasbilanz 9

3.2.5 Gegenüberstellung von verbrauchter und erzeugter Energie 10

3.2.6 Personalsituation 10

4.1. DEFINITION VON KURZ-, MITTEL UND LANGFRISTIGEN EINSPAR- UND VERSORGUNGSZIELEN 10

4.2. ERMITTLUNG VON KURZ-, MITTEL UND LANGFRISTIGEN ENERGIEEFFIZIENZPOTENZIALE 11

4.2.1 Klimaschutzpotenziale 11

4.2.2 PV-Anlage 12

4.2.3 Automatisierung und Digitalisierung 12

4.2.4 LED-Beleuchtung 12

4.2.5 Schulung Energieeffizienz 13

4.2.6 Optimierung Heizungsanlage 13

4.3. ENTWICKLUNG EINER STRATEGIE 13

5.1. DURCHGEFÜHRTE MAßNAHMEN 15

5.2. ERNEUERUNG DER BELÜFTUNG 15

5.3. ERNEUERUNG VON PUMPEN UND MOTOREN 16

5.4. ÄNDERUNG DER VERFAHRENSTECHNIK 17
5.4.1 Umstellung auf kombinierte vorgeschaltete Denitrifikation 17
5.4.2 Umbau der Schlammeindickung und Schlammentwässerung 18
5.4.3 Erneuerung der Rücklaufschlammförderung 20
5.4.4 Energiebetrachtung 21
5.5. PV ANLAGE 22
5.6. AUTOMATISIERUNG UND DIGITALISIERUNG 22
5.7. LED-BELEUCHTUNG UND SCHULUNG ENERGIEEFFIZIENZ 24
5.8. OPTIMIERUNG HEIZUNGSANLAGE 24
5.9. BERECHNUNG DES ENERGIEVERBRAUCHS 25
5.10. ABLEITUNG EINER ENERGIE- UND TREIBHAUSGASBILANZ 27
5.11. ERWARTETE KOSTEN 27
5.11.1 Kostenaufstellung Erneuerung der Belüftung 28
5.11.2 Kostenaufstellung Erneuerung von Pumpen und Motoren 29
5.11.3 Kostenaufstellung Änderung Verfahrenstechnik 30
6.1. DECKUNGSQUOTE 31
6.2. SPEZIFISCHER ENERGIEBEDARF 31
6.3. ERNEUERUNG BELÜFTUNG 31
6.4. ERNEUERUNG VON PUMPEN UND MOTOREN 32
6.5. ÄNDERUNG VERFAHRENSTECHNIK 33
6.6. UMSETZUNGSFAHRPLAN 33
6.7. ABLAUF DER BEANTRAGUNG EINER FÖRDERUNG NACH DER KOMMUNALRICHTLINIE 33

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Energie und Treibhausgasbilanz der Kläranlage Karlskron im Bestand ... 7

Tabelle 2: Die größten Verbraucher der Kläranlage im Bestand ... 9

Tabelle 3: Aggregate der Biologie im Bestand ... 9

Tabelle 4: Zeithorizont der vorgesehenen Maßnahmen ... 14

Tabelle 5: Vergleich der nötigen Luftmenge der intermittierenden DeNi ... 16

Tabelle 6: Gegenüberstellung der erneuerten Pumpen und Motoren ... 17

Tabelle 7: Variantenvergleich des Prozesses Gegenwart gegen Zukunft ... 17

Tabelle 8: Treibhausgasbilanz des Stromverbrauchs der Schlammbehandlung im Bestand ... 19

Tabelle 9: Treibhausgasbilanz der Schlammlagerung im Bestand ... 19

Tabelle 10: Energiebilanz der Auswirkung der vorgesehenen Maßnahmen ... 21

Tabelle 11: Energie- und Treibhausgasbilanz nach Erweiterung ... 25

Tabelle 12: Die größten Verbraucher der Kläranlage nach der Erweiterung ... 27

Tabelle 13: Aggregate der Biologie nach der Erweiterung ... 27

Tabelle 14: Kostenaufstellung Erneuerung der Belüftung ... 28

Tabelle 15: Kostenaufstellung Erneuerung von Pumpen und Motoren ... 29

Tabelle 17: Kostenaufstellung Änderung Verfahrenstechnik ... 30

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Regelprinzip der intermittierenden Belüftung ... 16

Abbildung 2 Rücklaufschlamm Regelprinzip ... 21

Abbildung 3: Mögliche Organisation eines Projektes mit verschiedenen Förderschwerpunkten ... 33

Abbildung 4: Ablaufschema einer Förderung nach der Kommunalrichtlinie ... 34

1. Vorhabensträger

Die Gemeinde Karlskron, vertreten durch den 1. Bürgermeister Stefan Kumpf, beauftragte die Planergemeinschaft WipflerPLAN mit Subauftragnehmer HPE, eine Energieanalyse für die Kläranlage der Gemeinde Karlskron durchzuführen.

2. Zweck des Vorhabens

Die Gemeinde Karlskron betreibt eine Kläranlage (Baujahr 1994) mit einer Auslegung für eine BSB_5-Fracht (roh) entsprechend 4.500 EW_{60}.

Die Kläranlage Karlskron ist als Belebungsanlage mit aerober Schlammstabilisierung konzipiert. Hierzu stehen als wichtigste Anlagenteile eine Rechenanlage, ein Belebungsbecken als Rundbecken und ein Nachklärbecken zur Verfügung. Der Überschussschlamm aus dem System wird über eine Zentrifuge eingedickt und in einem Schlammstapelbehälter zwischen-gelagert. Die Entwässerung und Entsorgung des Klärschlamms findet über einen Dienstleis-ter statt. Die weitere Maschinen- und EMSR-Technik, sowie die Sozialräume, sind in einem Betriebsgebäude mit Untergeschoss untergebracht.

Wegen der steigenden Energie-/Rohstoffpreise und der veralteten Gerätschaften wird auf der Kläranlage nach Einsparpotenzialen gesucht und diese dahingehend erweitert.

Die Untersuchung erfolgt im Rahmen der Kommunalrichtlinie des Bundeministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.

In dieser Potenzialstudie zur Betrachtung der Energiesituation und Optimierungsmaßnahmen bei Kläranlagen wird speziell für investive Maßnahmen für

- die Erneuerung der Belüftung,
- die Erneuerung von Pumpen/Motoren und
- die Änderung der Verfahrenstechnik
- eine detaillierte Darstellung erfolgen.

Die Potenzialstudie umfasst zunächst eine energetische und klimaschutzbezogene Aufnahme der Bestandssituation, worauf die Potenzialanalyse aufbaut. Darin werden die zu untersuchenden Bereiche (Erneuerung der Belüftung, Pumpen und Motoren und Änderung der Verfahrenstechnik) in einem speziellen Umsetzungsfahrplan auf kurz-, mittel- und langfristigen Zielen definiert. Zuletzt erfolgt eine ausführliche Schilderung der Optimierungsmaßnahmen mit einer technischen und wirtschaftlichen Bewertung.

Diese Studie für Abwasserbehandlungsanlagen dient dem Zweck der Energieeinsparung, sodass folgende Ziele erreicht werden:

- Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom und Wärme durch auf dem Grundstück umgewandelte Energie mindestens 70 %
- Spezifischer jährlicher Energiebedarf der gesamten Anlage von maximal 23 kWh/Einwohnerwert.

3. Bestandsaufnahme

3.1. Vorbemerkungen

Der Energieverbrauch/-bedarf einer Kläranlage resultiert aus dem Strombedarf aller Maschinen, Pumpen, Gebläse, Beleuchtungen und allgemeinen Elektrogeräte/-installationen. Zu unterscheiden ist der Energiebezug, der bei Anlagen mit Eigenstromerzeugung deutlich geringer ausfällt.

Der Energieverbrauch wird im Wesentlichen durch die Belüftung in der biologischen Reinigung bestimmt.

Die Minimierung des Energieverbrauchs ist verpflichtend im Sinne einer wirtschaftlichen Betriebsführung einer Kläranlage, aber die Abwasserreinigung und die Schlammbehandlung sind primäre, ureigenste Aufgaben einer Kläranlage. Sie müssen immer im Vordergrund bleiben.

Der Energiebedarf einer Kläranlage hängt im Wesentlichen von folgenden Faktoren ab:

- Anlagengröße
- Anlagenauslastung
- Verfahrenstechnik (Art der Schlammstabilisierung)
- Hydraulische Situation (Topographie, Fremdwasser)
- Energieeffizienz der eingesetzten Aggregate
- E/MSR-Technik (Steuerung/Regelung)

3.2. Aufnahme der Bestandssituation der Kläranlage

3.2.1 Aktuelle Situation der Kläranlage

Die bestehende Kläranlage der Gemeinde Karlskron liegt im Landkreis Neuburg-Schrobenhausen.

Die Bauwerke auf dem Gelände wurden auf den damaligen Stand der Technik aufgebaut und befinden sich somit in einem altersentsprechenden Zustand.

- Rechenanlage mit Rechengutpresse
- Betriebsgebäude
- Gebläsestation
- Zentrifuge zur Schlammeindickung
- Belebungsbecken
- Rücklaufschlamm-Pumpwerk
- Nachklärbecken
- Schlammsilo mit 3 Kammern
- Auslaufbauwerk

Es befinden sich keine Eigenstromversorgungsanlagen auf der Kläranlage.

Durch die gute Betriebsführung durch fachlich ausgebildete Klärwärter werden die Ablaufwerte nicht nur eingehalten sondern unterschritten.

Das Reinigungverfahren besteht aus einer einstufigen Belebungsanlage mit simultaner aerober Schlammstabilisierung, aufgeteilt in einer mechanischen Stufe, biologischen Stufe, Nachklärung und Schlammbehandlung.

3.2.2 Klärschlamm

Der Belebtschlamm wird über die Überschussschlammpumpe im Rücklaufschlammpumpwerk in die Stapelbehälter (3 Stück) oder zur Zentrifuge gepumpt. Der entwässerte Schlamm wird in Stapelbehältern für den späteren Transport gelagert.

3.2.3 Elektro-/Mess-/Steuer-/Regel-Technik

Die bestehenden Schaltanlagen befinden sich in einem altersentsprechenden Zustand. Einige Installationen entsprechen nicht mehr den aktuellen Sicherheits- und VDE-Vorschriften. Hinzukommend ist eine Anzahl an Komponenten verbaut, zu denen keine Ersatzteile mehr lieferbar sind. Die Schaltanlagen sind platztechnisch ausgereizt und bieten kaum Reserven, dies stellt einen zusätzlichen Aufwand bei Wartungsarbeiten dar.

Zur Automatisierung und Fernwirktechnik besitzt die Kläranlage vereinzelt Steuereinheiten.

Es ist kein übergeordnetes Prozessleitsystem für den Kläranlagenbetrieb installiert.

Eine umfängliche Überwachung, Auswertung und Dokumentation aller Anlagen und Werte ist nicht gegeben. Dies hat wiederum Einfluss auf einen effizienten Betrieb der Anlage.

Die Messtechnik, bestehend aus Füllstands-, Durchfluss-, Sauerstoff-, Ammonium-, Nitrat- und pH-, Temperaturmessungen, befindet sich in einem allgemein überholten Zustand, worauf sich auch die Steuer- und Regeleinheiten beziehen und keine optimalen Verhältnisse schaffen.

3.2.3 Analyse des Energieverbrauchs

Zur Bewertung des Energieverbrauchs wurden den elektrischen Verbrauchern die vorhandenen Betriebszeiten zugeordnet und mit den elektrischen Leistungen multipliziert. Zur Erfassung des tatsächlichen Energieverbrauches wurden vor Ort die vorhandenen Strommessgeräte abgelesen. Sofern keine Strommessgeräte vorhanden waren, wurde die Angaben des Typenschildes übernommen.

Soweit die Laufzeiten durch die Automatisierung nicht erfasst werden, wurden Schätzwerte der Klärmeister eingesetzt.

In den folgenden Tabellen wird bei den Aggregaten die Energie pro Jahr in kWh und der CO2 Emissionsausstoß in kg aufgeführt. Dieses Angaben beziehen sich auf die tatsächlich im Betrieb befindliche Anlagenleistung in Bezug auf den Gleichzeitigkeitsfaktor und CosPhi.

Tabelle 1: Energie und Treibhausgasbilanz der Kläranlage Karlskron im Bestand

Aggregate Kläranlage	Energie pro Jahr [kWh]	CO2 Emission [kg]	Anteil Stromverbrauch [%]
Feinrechen	1.168	513	0,58
Rechengutpresse	964	423	0,47
Belebungsbecken Fahrwerk	17.666	7.755	8,70
Gebläse 1	28.105	12.338	13,84
Lüfter Gebläse 1	128	56	0,06
Gebläse 2	28.105	12.338	13,84
Lüfter Gebläse 2	128	56	0,06
Gebläse 3	51.100	22.433	25,16
Lüfter Gebläse 3	128	56	0,06
Minimator	183	80	0,09
NKB Antrieb	964	423	0,47
NKB Rinnenwaschgerät	1.351	593	0,66
NKB Hubmotor	11	5	0,01
NKB Schwimmschlammpumpe	6.074	2.666	2,99
Rücklaufschnecke	3.373	1.481	1,66
Überschußschlammpumpe	7.358	3.230	3,62
Trübwasserpumpe	3.679	1.615	1,81

Beschickerpumpe Silo	1.577	692	0,78
Umwälzpumpe Silo	5.749	2.524	2,83
Dickschlammpumpe	5.366	2.355	2,64
Beschickerpumpe Schlammeindickung	920	404	0,45
Schlammeindickungsanlage (Dekanter)	9.198	4.038	4,53
Zentratwasserpumpe	3.066	1.346	1,51
Flockmittelpumpe	219	96	0,11
Probenehmer	1.095	481	0,54
Brauchwasserpumpe	2.628	1.154	1,29
Kellerentwässerungspumpe Gebläse	8	4	0,00
Außenbeleuchtung	2.628	1.154	1,29
Gesamt	**182.935**	**80.309**	

Heizung über Allgemeinstrom	Energie pro Jahr [kWh]	CO2 Emission [kg]	Anteil Stromverbrauch [%]
Nachtspeicherofen 1 Schaltraum	2.628	1.154	1,29
Nachtspeicherofen 2 Labor	2.628	1.154	1,29
Nachtspeicherofen 3 Umkleide	2.628	1.154	1,29
Nachtspeicherofen 4 Bad	2.628	1.154	1,29
Heizlüfter Bad	894	392	0,44
Gesamt	**11.406**	**5.007**	

Räume	Energie pro Jahr [kWh]	CO2 Emission [kg]	Anteil Stromverbrauch [%]
Betriebsgebäude EG	6.132	2.692	3,02
Betriebsgebäude KG	2.628	1.154	1,29
Gesamt	**8.760**	**3.846**	

Gesamtbedarf	**203.101**	**89.161**	

Der Gesamtstromverbrauch der Kläranlage der Durchschnittsberechnung der Messangaben im Betriebstagebuch gegenüber den Jahren 2017 bis 2020 beträgt ca. 202.725 kWh. Für die einzelnen Verbraucher wurden die Stromverbräuche rechnerisch ermittelt. In der Summe ergeben sich hierbei 203.101 kWh. Der ermittelte Gesamtstromverbrauch wurde mit dem tatsächlichen Jahresstromverbrauch aus den Stromrechnungen verglichen. Hierbei entstand eine Abweichung von nur 0,2 %. Die rechnerischen Werte sind als plausibel zu betrachten, da diese Abweichung aufgrund von Erfahrungswerten entsteht und als normal einzuordnen ist.

Für die nachfolgenden Betrachtungen wird der berechnete Jahresstromverbrauch verwendet, um einen besseren Vergleich in den Punkten Potenzialanalyse und Optimierungsmaßnahmen zu schaffen. Dies ergibt bei den aktuell angeschlossenen 4.500 EW einen spezifischen Stromverbrauch von 45,1 kWh/EW.

Tabelle 2: Die größten Verbraucher der Kläranlage im Bestand

Größte Verbraucher (Vor Sanierung)	Energie pro Jahr [kWh]	CO2 Emis-sion [t]	Anteil Stromver-brauch [%]
Gebläse 3	51.100	22,4	25,2
Gebläse 1	28.105	12,3	13,8
Gebläse 2	28.105	12,3	13,8
Belebungsbecken Fahrwerk	17.666	7,8	8,7
Schlammeindickungsanlage (Dekanter)	9.198	4,0	4,5
Überschussschlammpumpe	7.358	3,2	3,6
Gesamt	**141.532**	**62**	**70**

Tabelle 3: Aggregate der Biologie im Bestand

Biologie (Vor Sanierung)	Energie pro Jahr [kWh]	CO2 Emis-sion [t]	Anteil Stromver-brauch [%]
Belebungsbecken Fahrwerk	17.666	7,8	8,7
Gebläse 1	28.105	12,3	13,8
Lüfter Gebläse 1	128	0,1	0,1
Gebläse 2	28.105	12,3	13,8
Lüfter Gebläse 2	128	0,1	0,1
Gebläse 3	51.100	22,4	25,2
Lüfter Gebläse 3	128	0,1	0,1
Minimator	183	0,1	0,1
Gesamt	**125.543**	**55**	**62**

Der Bedarf der Biologie beläuft sich auf 125.543 kWh mit 55 t CO2. Dies entspricht einen Prozentsatz von 62 % vom Gesamtstrombedarf.

3.2.4 Ableitung einer Energie- und Treibhausgasbilanz

Zur Betrachtung der Energie- und Treibhausbilanz wurde in einer Studie des Öko-Instituts im Jahr 2021 der aktuelle CO2-Emissionsfaktor ausgewertet. Dieser bezieht sich für den Strombedarf im Inland und beträgt 0,439 kg CO2/kWh.

Mit einem bilanzierten Stromverbrauch von 203.101 kWh beträgt der CO2-Ausstoß ca. ca. 89 Tonnen im Jahr.

Die Emissionsfaktoren für die größten Verbraucher und Biologie wurden im vorigen Punkt schon mitaufgegriffen und erläutert.

3.2.5 Gegenüberstellung von verbrauchter und erzeugter Energie

Auf der Kläranlage befinden sich keine energieerzeugenden Anlagen, so kann keine Gegenüberstellung betrachtet werden.

3.2.6 Personalsituation

Zu den grundlegenden Qualifikationen für geprüfte Abwassermeister gehören rechtsbewusstes Handeln, betriebswirtschaftliches Handeln, das Anwenden von Methoden der Information und Kommunikation, Zusammenarbeit im Betrieb sowie die Berücksichtigung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten.

Im Handlungsbereich Organisation benötigen sie Erfahrung für Kostenwesen, Betriebsführung, Betriebsüberwachung, Kundenorientierung, Gesundheitsschutz und Recht. Zudem benötigen sie Erfahrung in der Personalführung, Personalentwicklung und im Managementsystem.

4. Potentialanalyse

4.1. Definition von kurz-, mittel und langfristigen Einspar- und Versorgungszielen

Die Begriffe kurz-, mittel- und langfristige Energieeffizienzpotenziale definieren sich nach der Zeitspanne von der Umsetzung bis eine erwähnenswerte Einsparung voraussichtlich aufzuzeichnen ist. So werden kurzfristige Ziele als Potenziale angegeben, welche in null bis zwei Jahren einen bedeutenden Unterschied machen. Mittelfristige Ziele sind von zwei bis fünf Jahre nach der Umsetzung bemerkbar. Einsparungen, welche sich nach über fünf Jahren erst deutlich hervorheben, werden als langfristige Einspar- und Versorgungsziele definiert.

4.2. Ermittlung von kurz-, mittel und langfristigen Energieeffizienzpotenziale

4.2.1 Klimaschutzpotenziale

Um die Klimaschutzziele zu erreichen, werden entsprechende Maßnahmen durchgeführt.

Erneuerung der Belüftung

Es wird die Belüftungsanlage erneuert und auf vollflächige Plattenbelüfter im Belebungsbecken umgestellt. Der Betrieb wird auf eine intermittierende Belüftung ausgelegt. Das Lufteintragssystem hat prozentual im Jahresstromverbrauch einen starken Einfluss und müssen daher so effizient wie möglich ausgelegt werden.

Weiterhin werden zwei der drei bestehenden Gebläse der Belüftung durch zwei neue, hocheffiziente, regelbare Kompressoren mit energieeffizienten Motoren der Effizienzklasse IE5 mit jeweils 18,5 kW ausgetauscht. Hierdurch wird bei der neuen Belüftung auch Wert auf eine effiziente Anordnung sowie einer Installation und Einrichtung durch qualifiziertes externes Fachpersonal usw. gelegt. Daher werden die Gebläse betriebsabhängig geregelt.

Erneuerung von Pumpen und Motoren

Ebenfalls werden die alten Pumpen und Motoren durch neue ersetzt. Diese neuen hocheffizienten Komponenten werden benötigt, da die aktuellen dem Alter entsprechend eine deutlich geringere Effizienz aufweisen. So werden bestehende Pumpen und Motoren durch energieeffiziente Motoren der Effizienzklasse IE4, bestehende Motoren durch drehzahlgeregelte Motoren der Effizienzklasse IE3 und bestehender Pumpen durch energieeffiziente Pumpen mit einem Energieeffizienzindex von EEI < 0,23 ersetzt.

Änderung der Verfahrenstechnik

Da die derzeitige Abwasserreinigung durch ein ineffizientes Verfahren realisiert ist, wird ein neues Reinigungsverfahren mit einer Reduktion des Energieverbrauches eingesetzt. Es wird die Reinigungsleistung nicht eingeschränkt, sondern verbessert. Als Ziel gilt es durch die Änderung der Verfahrenstechnik min. 25 % an Energie einzusparen.

Hierbei sind mehrere Maßnahmen zu treffen, die nur in Kombination die Effizienz steigern.

Als erste erfolgt die Erweiterung der Ausbaugröße auf 7.500 EW mit der Umstellung auf Kombination von vorgeschalteter und intermittierender Denitrifikation. Hinzu werden neue Aggregate und Anlagen für die DeNi-Stufe benötigt und bestehende saniert.

Die zweite inbegriffene Maßnahme ist die Eindickung des Überschussschlammes, derzeit noch per ineffizienter Zentrifuge. Zukünftig wird diese z.B. durch einen Scheibeneindicker ersetzt und eine stationäre Schneckenpresse zur darauf aufbauenden Entwässerung vorgesehen.

Um im Belebungsbecken die Biologie anreichern zu können, wird der Belebtschlamm aus dem Nachklärbecken mit Hilfe des Rücklaufschlammpumpwerks zum Belebungsbecken gepumpt. Die Aggregate im Pumpwerk werden in Abhängigkeit der Messtechnik drehzahlgeregelt, um einen effizienten Betrieb zu erreichen.

4.2.2 PV-Anlage

Auf den weiteren Dächern und den Gebäudeneubauten werden PV-Anlagen installiert. Allgemeine Vorteile, welche für den Einsatz von PV-Modulen sprechen, sind zum Beispiel:

- CO2-emissionsfreie Betrieb
- Reduzierung der Verwendung von fossilen Brennstoffen
- Verfall von Transportwege für die Energieträger (Öl, Gas, Holz)
- geringe Wartungskosten
- hohe Lebensdauer

4.2.3 Automatisierung und Digitalisierung

Der Grad der Automatisierung trägt ebenfalls eine entscheidende Rolle bei der Gesamtenergiebilanz der Kläranlage. Je mehr Automatisierungstechnik verbaut ist, desto geringer werden die Chancen für menschliches Versagen und Fehleinschätzungen. Zudem werden die Arbeitskräfte in physischer und psychischer Hinsicht entlastet.

Weiterhin liegt auf der Kläranlage derzeit kein vollständig für den Betrieb geeignetes Prozessleitsystem vor. Dieses soll im Rahmen der Sanierung durch ein neues vollumfängliches Kläranlagensystem ersetzt werden. Prozessleitsysteme dienen zur Überwachung, Steuerung und Regelung der gesamten Kläranlage und weiteren Gewerken bzw. Außenstationen.

4.2.4 LED-Beleuchtung

Die vorhandene Beleuchtung wird durch LED-Technologie ersetzt. Dies hat mehrere Vorteile. Der größte Bewegpunkt für den Tausch ist die hohe Effizienz. So liegt die ungefähre Einsparung im Vergleich zu den jetzigen Leuchtstoffröhren bei ungefähr 85 %. Weitere Punkte für einen Tausch gegen LED Beleuchtung sind, dass LED Leuchten im Gegensatz zu Leuchtstoffröhren flackerfrei sind, eine sehr hohe Lebensdauer von ca. 50.000 Stunden haben (Leuchtstoffröhren haben vergleichsweise ca. 30.000 Stunden), das Licht bei LED-Röhren zielgerichtet strahlt und die LED-Röhren bruchsicher sind, da sie aus Polycarbonat

bestehen. Ein weiterer wichtiger Punkt, der nicht unterschlagen werden darf, ist die Umweltfreundlichkeit dieser Produkte, da kein Quecksilber in den Röhren enthalten ist.

4.2.5 Schulung Energieeffizienz

Die effizientesten und modernsten Technologien nützen zumeist nichts, wenn der Nutzer sie falsch verwendet. Deshalb sind Schulungen und die Steigerung der Motivation der Mitarbeiter in puncto Energieverbrauch wichtig. Hierdurch wird gesichert, dass die Mitarbeiter die Anlagen und Geräte energieeffizient nutzen. Durch diese Maßnahmen können bis über 15 Prozent an Einsparung möglich sein (siehe Pilotprojekt Nachhaltige Energieeffizienz am Institut für Psychologie der Universität Freiburg: Durchführung verhaltensbedingter Energieeffizienzmaßnahmen, ergänzt durch vorbereitende und geringinvestive technische Maßnahmen wie zum Beispiel dem Einsatz von abschaltbaren Steckdosenleisten).

Bei dieser Einsparung muss jedoch beachtet werden, dass die angegebenen 15% nicht komplett übertragbar auf das vorliegende Objekt sind, da in diesem Fall keine Kläranlage betrachtet wurde. Hierdurch kann diese Einsparung auch nur auf den Verbrauch der Beleuchtung und der Allgemeinen Installationen der einzelnen Räume/Bauwerke bezogen werden. Umsetzung solcher Motivationsmaßnahmen können verschiedenermaßen aussehen. So können zum Beispiel zu Beginn Broschüren verteilt, Plakate am Arbeitsplatz aufgehängt und Energieeinsparziele festgelegt werden.

4.2.6 Optimierung Heizungsanlage

Die bestehenden ineffizienten Nachtspeicheröfen werden durch eine Wärmepumpe ersetzt. Für die dazu benötigte Energie wird nach Möglichkeit die vor Ort erzeugte Energie eingesetzt. Als weitere Kosteneinsparungen gelten der geringe Installationsaufwand gegenüber anderen Heizsystemen und geringe jährliche Wartungskosten.

Für die Wärmeabgabe werden in den jeweiligen Räumen KlimaSplit-Endgeräte installiert.

4.3. Entwicklung einer Strategie

Kurzfristige Potenziale lassen den Stromverbrauch bereits in kürzerer Zeit sinken, während mittelfristige Potenziale einige Jahr benötigen, um einen effizienten Betrieb zu erreichen. Langfristige Potenziale benötigen durch eine längere Einspielzeit der Anlagen und Erreichung der Abwasserwerte entsprechend Zeit.

Tabelle 4: Zeithorizont der vorgesehenen Maßnahmen

Bezeichnungen	Kurzfristige Potenziale	Mittelfristige Potenziale	Langfristige Potenziale
Erneuerung der Belüftung	X		
Erneuerung von Pumpen und Motoren	X		
Änderung der Verfahrenstechnik (Verfahrenstechnische Umstellung, Umbau Schlammeindickung und Schlammentwässerung, Erneuerung Rücklaufschlammförderung)		X	
PV-Anlage	X		
Automatisierung und Digitalisierung		X	
LED-Beleuchtung	X		
Schulung Energieeffizienz			X
Optimierung Heizungsanlage		X	

5. Optimierungsmaßnahmen

5.1. Durchgeführte Maßnahmen

Zum jetzigen Zeitpunkt sind bei der Kläranlage noch keine Maßnahmen zur Energieeinsparung, Effizienzsteigerung sowie weitere Klimaschutzmaßnahmen oder Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel und deren Wirkungen, durchgeführt worden.

5.2. Erneuerung der Belüftung

Zur biologischen Abwasserreinigung wird die komplette Belüftungsanlage erneuert. Hierbei wird die erforderliche Druckluft in den Belebungsbecken mittels Gebläse erzeugt und über Belüftungssysteme in den Becken eingeblasen. Die Gebläse werden verhältnismäßig auf Basis des Betriebes und der Sauerstoff- und Ammoniumkonzentration frequenzgeregelt. So erhält man einen effizienten Betrieb und spart an elektrischer Energie ein. Die alten werden durch neue, hocheffiziente regelbare Kompressoren mit energieeffizienten Motoren der Effizienzklasse IE5 ausgetauscht.

In der EMSR-Technik werden mehrere Messungen, Sauerstoff, Ammonium, Nitrat, Luftdruck, Temperatur, Phosphat, und eine übergreifende Steuereinheit mit Regelfunktion und allen benötigten Gerätschaften benötigt.

Im Verfahren wird je nach Reinigungsphase, Kohlenstoffabbau und Nitrifikation oder Denitrifikation, die Belüftung aktiv oder inaktiv (intermittierende Denitrifikation) geschaltet. Die Ansteuerung der Belüftungsphasen erfolgt über die Messung der angebrachten Sauerstoff- und Ammonium-/Nitratmesssonde.

Der Beginn und das Ende der belüfteten und unbelüfteten Phasen werden über die NH_4-/NO_3-Messung bestimmt. Bei Unterschreitung der zulässigen NO_3-Restkonzentration wird die DeNi-Phase beendet bzw. im Voraus noch eine Anaerob-Phase zwischengeschaltet, um eine biologische Phosphor-Elimination zu bewirken. Sekundär wird ein Zeitfenster hinterlegt, das die Dauer der belüfteten und unbelüfteten Phase nach unten und oben begrenzt.

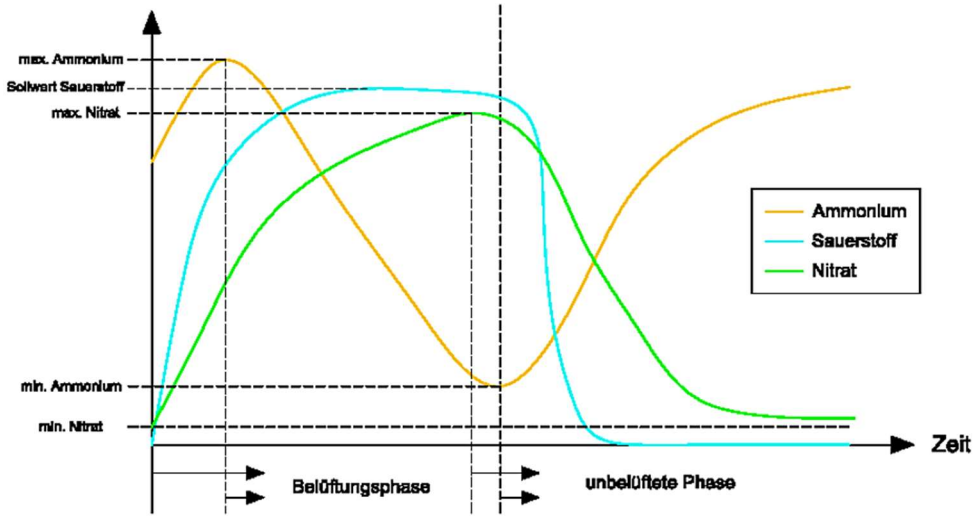

Abbildung 1: Regelprinzip der intermittierenden Belüftung

Weiterhin wird durch die Ablösung der alten Stabbelüfter eine effizienterer Lufteintrag durch neue feinblasige Plattenbelüfter in der intermittierenden Denitrifikation gewährleistet. So kann die eingetragene Luftmenge maßgeblich reduziert werden.

Tabelle 5: Vergleich der nötigen Luftmenge der intermittierenden DeNi

Kompressoren (Vor Sanierung)	Energie pro Jahr [kWh]
Gebläse 1	28.105
Gebläse 2	28.105
Gebläse 3	51.100
Gesamt	**107.310**

Kompressoren Effizienzklasse IE4 (Nach Sanierung)	Energie pro Jahr [kWh]
Gebläse 1	23.634
Gebläse 2	23.634
Gebläse 3	25.550
Gesamt	**72.818**

Wie in der Auflistung zu sehen ist, gibt es durch die Verwirklichung der genannten Maßnahmen bezüglich der Erneuerung der Belüftungsanlage eine Energieeinsparung von 34.493 kWh pro Jahr.

5.3. Erneuerung von Pumpen und Motoren

Zur Erneuerung von Pumpen und Motoren auf der Kläranlage werden dort, wo die bestehenden einen zu geringen Wirkungsgrad aufweisen, alte Antriebe durch neue hocheffiziente Komponenten ersetzt. Die neuen Pumpen und Motoren werden mit einer Effizienzklasse IE4 und diejenigen mit drehzahlgeregelten Motoren mit einer Effizienzklasse IE3 ausgestattet. Weiterhin erhalten die Pumpen einen Energieeffizienzindex von EEI < 0,23.

Tabelle 6: Gegenüberstellung der erneuerten Pumpen und Motoren

Austausch Pumpen(Vor Sanierung)	Energiepro Jahr[kWh]
NKB Schwimmschlammpumpe	6.074
Rücklaufschlammschnecke	3.373
Überschussschlammpumpe	7.358
Trübwasserpumpe	3.679
Beschickerpumpe Silo	1.577
Umwälzpumpe Silo	5.749
Dickschlammpumpe	5.366
Beschickerpumpe Schlammeindickung	920
Zentratwasserpumpe	3.066
Brauchwasserpumpe	2.628
Gesamt	**37.161**

Austausch Pumpen (Nach Sanierung)	Energiepro Jahr[kWh]
NKB Schwimmschlammpumpe	2.891
Rücklaufschlammpumpe 1	4.106
Überschussschlammpumpe	2.464
Trübwasserpumpe	1.752
Beschickerpumpe Silo	876
Umwälzpumpe Silo	2.803
Beschickungspumpe SE	1.095
Schneckenpresse SE	438
Zentratwasserpumpe	1.402
Brauchwasserpumpe	1.191
Gesamt	**17.827**

Austausch Motoren (Vor Sanierung)	Energie pro Jahr [kWh]
Feinrechen	1.168
Rechengutpresse	964
NKB Antrieb	964
NKB Rinnenwaschgerät	1.351
Schlammeindickungsanlage (Dekanter)	9.198
Gesamt	**13.644**

Austausch Motoren (Nach Sanierung)	Energie pro Jahr [kWh]
Feinrechen	934
Rechengutpresse	876
NKB Antrieb	803
NKB Rinnenwaschgerät	1.095
Trogförderschnecke SE	2.168
Gesamt	**5.877**

Wie in der Auflistung zu sehen ist, gibt es durch die Verwirklichung der genannten Maßnahmen bezüglich der Erneuerung der Pumpen eine Energieeinsparung pro Jahr von 19.334 kWh und bei den Motoren 7.767 kWh.

5.4. Änderung der Verfahrenstechnik

Durch die Erweiterung von 4.500 EW auf 7.500 EW und die damit verbundenen Umbaumaßnahmen wird das alte ineffiziente Verfahren auf ein effizienteres umgestellt. Hierbei sind mehrere Maßnahmen für die Umsetzung nötig.

5.4.1 Umstellung auf kombinierte vorgeschaltete Denitrifikation

Im Vergleich zur energieintensiveren Weiterverwendung des gegenwärtigen Prozesses der intermittierenden Denitrifikation ist künftig eine Kombination aus vorgeschalteter und intermittierender Denitrifikation vorgesehen.

Tabelle 7: Variantenvergleich des Prozesses Gegenwart gegen Zukunft

Parameter	Einheit	Bestandsprozess mit künftiger Last	Vorzugsprozess mit künftiger Last
Prozessart	-	Reine intermittierende Denitrifikation	Kombinierte vorgeschaltete mit intermittierender Denitrifikation
Mittlerer Luftbedarf	m³/h	1.650	797

Der Vergleich der in den jeweiligen Lastfällen je nach Prozess nötigen Belüftungsmenge zeigt die einsparbare Energiemenge anschaulich. Dies reicht jedoch für einen direkten quantitativen Vergleich nicht aus, da die Belüftungsdauer in den Prozessen variiert. Die Einsparung ist vornehmlich im geringen Belebungsbeckenvolumen bei vorgeschalteter Denitrifikation, gegenüber der intermittierenden Denitrifikation begründet. Hinzu kommt eine effizientere Kohlenstoffelimination, die den Luftbedarf verringert.

Da diese Werte Beispiele einzelner Betriebszustände darstellen und nicht die Gesamtheit der Wetter und Lastzustände repräsentieren, wird eine eigene, auf die Anlage spezialisierte Betrachtung zur Energieeinsparung durchgeführt (siehe Kapitel 5.4.4 Energiebetrachtung).

5.4.2 Umbau der Schlammeindickung und Schlammentwässerung

Die maschinelle Überschussschlammeindickung wird zum gegenwärtigen Zeitpunkt mittels einer Zentrifuge durchgeführt. Im Schlammsilo wird der eingedickte Überschussschlamm teils aerob durch diffundierenden Sauerstoff, teils anaerob in der sogenannten Kaltfaulung weiter abgebaut. Der so weiter, mineralisierte Schlamm wird mehrmals jährlich durch einen Dienstleister behandelt, der mit einer mobilen Zentrifuge den im Schlammsilo stabilisierten Schlamm entwässert.

In diesen Behandlungsschritten kann künftig durch die Installation energieeffizienterer Aggregate, z.B. eines Scheibeneindickers zur Schlammeindickung sowie einer fest installierten Schneckenpresse zur Schlammentwässerung der Energieverbrauch gesenkt werden. Darüber hinaus kann mit einer stationären Entwässerung künftig die Verweilzeit des Überschussschlamms in den Silos stark verkürzt werden, was Effekte der Kaltfaulung und die damit einhergehende Methanentwicklung (CO2-Äquivalenzfaktor 25) reduzieren wird.

Für Schneckenpressen und Scheibeneindicker sind gewichtsbezogen lediglich je 0,03 kWh/kg TM an Energieverbrauch anzusetzen. Die gegenwärtigen verwendeten Zentrifugen kommen dahingegen auf 2 x 0,075 kWh/kg TM zur Überschussschlammeindickung und Schlammentwässerung.

Tabelle 8: Treibhausgasbilanz des Stromverbrauchs der Schlammbehandlung im Bestand

Ausbaugröße	7.500,0	EW
nach DWA T1/2015		
Schlammart	g TM/E/d	t/a
Überschussschlamm lt. Bemessung	79,6	217,9
Stabilisierter Schlamm	49,0	134,2

Gegenwärtiger Prozess

Aggregat	t/a	kWh/t	kWh/a
Eindickung Dekanter	217,9	75,0	16.344,2
Mobile Entwässerung Dekanter	134,2	75,0	10.067,2
Gesamt			26.411,4

Zukünftiger Prozess

Aggregat	t/a	kWh/t	kWh/a
Scheibeneindicker (PS+ÜS)	217,9	30,0	6.537,7
Schneckenpresse	49,0	30,0	1.470,0
Gesamt			8.007,7

Einsparung	18.403,7	kWh/a
	70%	
dt. Strommix	440,000	gCO2e/kWh
THG Emission vermieden	8,1	tCO2e/a

Durch die beschriebene Umstellung der Schlammbehandlung würden somit ein Großteil der elektrischen Energie eingespart werden.

Die Kaltfaulung wird durch direktes Verpressen des Überschussschlamms künftig weitgehend unterbunden. Zur Ermittlung der vermiedenen Methanemissionen aus dem langsam im Schlammsilo nachfaulenden Klärschlamm kann wie folgt vorgegangen werden.

Tabelle 9: Treibhausgasbilanz der Schlammlagerung im Bestand

Ausbaugröße	7.500,0	EW
Schlammart	g $oTM_{,abb}$/E/d	t/a
Stabilisierter Schlamm	13,0	35,6
Biologisch verfügbare Masse	13,0	35,6

Davon im Silo abgebaut	20%
von Abbau im Silo aerob stabilisiert	5%
von Abbau im Silo Kaltfaulung	95%

	g $oTM_{,abb}$/E/d	t oTM,abb/a
in Kaltfaulung umgesetzt	2,5	6,8

davon Methan	0,50	Nm^3 /kg_{oTMabb}
	3.383,1	Nm^3/a
	0,5	Nm^3/EW*a
	2.270,1	kg Methan/a
In CO2-Äquivalenten	56,8	tCO2e/a

5.4.3 Erneuerung der Rücklaufschlammförderung

Das Belebtschlamm-Wasser-Gemisch aus der Biologie wird dem Nachklärbecken zugeführt, in dem sich der Schlamm dort unterstützt von einem Räumer in der Beckenmitte absetzt. Von dort aus wird der Schlamm wieder der Biologie rückgeführt. Mehrfach täglich wird zudem ÜS entnommen.

Beim Betrieb werden die Rücklaufschlammpumpen in Abhängigkeit von Messungen (z.B. Zulaufmenge) zugesteuert. Unterschreitet die Zulaufmenge den Wert QZ1, so wird eine Mindestrücklaufschlammmenge Q1 gefördert. Bei Erreichen einer Zulaufmenge QZ1 ist die Rücklaufschlammmenge linear zu erhöhen. Bei einem Zulauf von QZ2 wird die Rücklaufschlammenge von Q2 gefördert. Bei steigender Zulaufmenge bleibt die Rücklaufschlammmenge bis zum Erreichen eines Zulaufes von QZ3 konstant. Steigt der Zulauf über den Wert von QZ3, so wird der Rücklaufschlamm linear reduziert, bis bei einem Zulauf von QZ4 der Wert für die Rücklaufschlammmenge Q3 erreicht wird. Steigt die Zulaufmenge weiter, so bleibt die Rücklaufschlammmenge konstant. Die Eckpunkte werden am PLS als Sollwertvorgaben dargestellt.

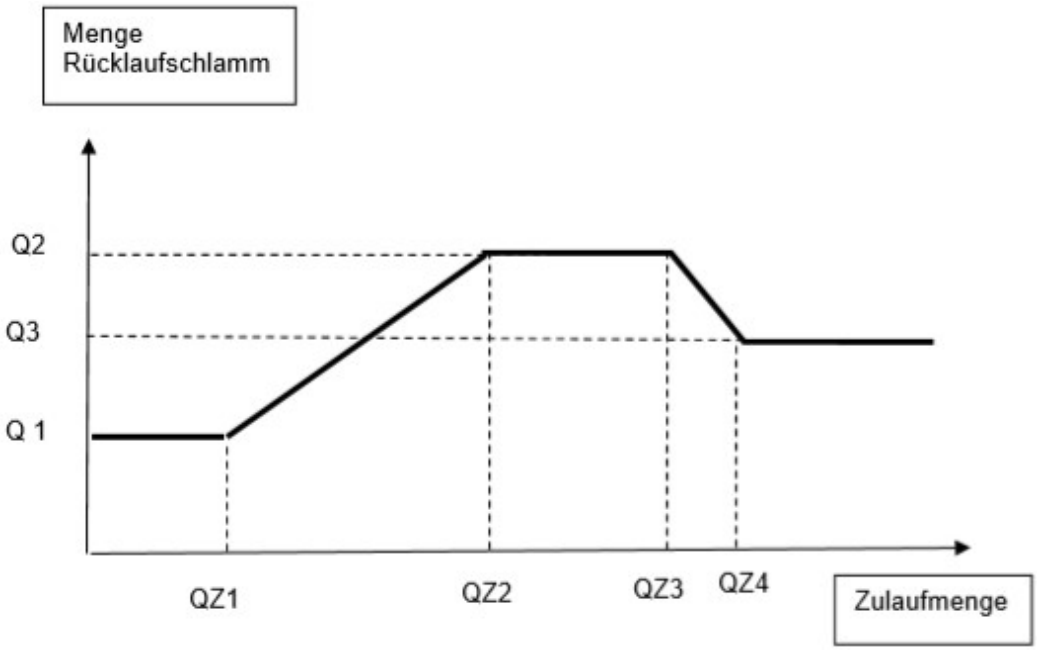

Abbildung 2 Rücklaufschlamm Regelprinzip

5.4.4 Energiebetrachtung

Tabelle 10: Energiebilanz der Auswirkung der vorgesehenen Maßnahmen

Änderung Verfahrenstechnik (Vor Sanierung)	Energie pro Jahr [kWh]
Belebungsbecken Fahrwerk	17.666
Gebläse 1	25.295
Lüfter Gebläse 1	115
Gebläse 2	25.295
Lüfter Gebläse 2	115
Gebläse 3	45.990
Lüfter Gebläse 3	115
Minimator	183
Rücklaufschnecke	3.373
Überschußschlammpumpe	7.358
Trübwasserpumpe	3.679
Beschickerpumpe Silo	1.577
Umwälzpumpe Silo	5.749
Dickschlammpumpe	5.366
Beschickerpumpe Schlammeindickung	920
Schlammeindickungsanlage (Dekanter)	9.198
Gesamt	**151.991**

Änderung Verfahrenstechnik (Nach Sanierung)	Energie pro Jahr [kWh]
Gebläse 1	23.634
Gebläse 2	23.634
Gebläse 3	25.550
Rezirkulationspumpe	9.855
Rücklaufpumpe 1	4.106
Rücklaufpumpe 2	4.106
Überschußschlammpumpe	2.464
Trübwasserpumpe	1.752
Beschickerpumpe Silo	876
Umwälzpumpe Silo	2.803
Scheibeneindicker SE	1.051
Silobeschickungspumpe SE	1.752
Rührwerk Silo 1	2.628
Rührwerk Silo 2	2.628
Rührwerk Silo 3	2.628
Beschickungspumpe SE	1.095
Schneckenpresse SE	438
Trogförderschnecke SE	2.168
FHM Station SE	788
Gesamt	**113.956**

Wie in der Auflistung zu sehen ist, gibt es durch die Verwirklichung der genannten Maßnahmen, in Summe, bezüglich der Änderung der Verfahrenstechnik eine Energieeinsparung pro Jahr von 38.035 kWh. Dies entspricht eine Einsparung von ca. 25 %.

5.5. PV Anlage

Bei der Stromversorgung der Kläranlage wurde eine Selbstversorgung mithilfe regenerativer Energien bevorzugt. Hierbei entschied man sich bei diesem Projekt speziell für den Einsatz von PV-Anlagen. Die örtlichen Gegebenheiten ermöglichen PV-Anlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 107 kWp mit ca. 107.800 kWh produzierter Energie pro Jahr. Die PV-Anlage wird auf den Dachflächen der Gebäude und ergänzend als Freiflächenanlage konzipiert werden.

Alle PV-Anlagen auf dem Gelände werden als Eigenverbrauchsanlagen konzipiert und dienen auch für die Erreichung des Ziels der Deckungsquote des Stromverbrauchs von mindestens 70 %. Weiterhin werden alle PV-Anlagen in den Bereich kurzfristige Klimaschutzpotenziale definiert, da diese sofort nach Aufbau und Inbetriebnahme Strom erzeugen.

Da die Leistung immer in der Kläranlage, in Zusammenarbeit mit einem Energiemanagementsystem, sofort nach PV-Produktion abgenommen werden kann, beträgt die Deckungsquote ca. 72 %.

So ist das Ziel der Deckungsquote zum Energiebedarf von mindestens 70 % erreicht.

5.6. Automatisierung und Digitalisierung

Der Grad der Automatisierung spielt ebenfalls eine entscheidende Rolle bei der Gesamtenergiebilanz der Kläranlage. Je mehr Automatisierungstechnik verbaut ist, desto geringer werden die Chancen für menschliches Versagen und Fehleinschätzungen. Zudem werden die Arbeitskräfte in physischer und psychischer Hinsicht entlastet.

Weiterhin ist auf der Kläranlage kein Prozessleitsystem in Bezug auf die Ressourcenbetrachtung vorhanden. Dieses soll im Rahmen der Sanierung durch weitere Managementmodule ergänzt bzw. durch ein vollumfängliches Kläranlagensystem erneuert werden. Prozessleitsysteme dienen zur Überwachung, Steuerung und Regelung der gesamten Kläranlage und weiteren Gewerke bzw. Außenstationen. Die Darstellung aller Komponenten und Dokumentation der Messwerte erfolgen am Leitrechner im Büro des Betriebsgebäudes. In das Prozessleitsystem werden alle Anlagenteile der Kläranlage und die Außenstationen eingebunden. Das Prozessleitsystem übernimmt die gesamte Steuerung, Optimierung, Bedienung, Aufzeichnung und Archivierung aller Meldungen und Messwerte der Kläranlage. Alle relevanten Daten werden in einem Betriebstagebuch aufgenommen. Im Prozessleit-

system können alle Soll- und Schwellwerte vorgegeben und Messwerte überwacht und kontrolliert werden. Somit werden die Informationen über sich ändernden Prozessparameter sofort vom Leitrechner erfasst und angezeigt. Damit ist ein optimaler und energiesparender Betrieb der Kläranlage möglich.

Es werden Anlagenbilder in das Prozessleitsystem integriert. Sie dienen zur Visualisierung des aktuellen Prozesszustandes. Ein Anlagenbild besteht immer aus einem festen Hintergrundbild, welches die statische, unveränderliche Information (Leitungen, Beschriftungen, Gebäudekonturen, etc.) enthält und einem veränderbaren, dynamischen Vordergrundbild das die Darstellung der Prozessvariablen übernimmt. Vorder- und Hintergrundbild werden nun auf dem Bildschirm überlagert abgebildet und stellen so den aktuellen Prozesszustand dar. Die Darstellung von Prozessvariablen erfolgen als Zahlenwert, Balkendiagramm, Linienschreiber oder Zustandssymbol. Die Archive werden wie folgt ausgelegt:

- 1-Minuten-Werte: Prozessvariable über 9 Tage
- 15-Minuten-Werte: Prozessvariable über 2 Monate
- Stundenwerte: Prozessvariable über 400 Tage
- Tageswerte: Prozessvariable über 2 Jahre
- Monatswerte: Prozessvariable über 5 Jahre

Bei Änderungen im Archiv werden automatisch alle abhängigen Werte nachgerechnet. Dies bezieht sich auf Tages-, Monats- und alle Rechenwerte. Somit wird eine Gesamtdokumentation entsprechend Eigenüberwachungsverordnung in einem vollautomatischen, elektronischen Betriebstagebuch ermöglicht. Alle elektronisch erfassten Messwerte auf der Kläranlage werden automatisch in das Betriebstagebuch eingetragen. Handgemessene Werte, Labormesswerte und Wetterwerte sind von Hand in das Betriebstagebuch einzutragen.

Störmeldungen werden vom Leitsystem über Sprachausgabe, SMS oder E-Mail an das Betriebspersonal weitergeleitet. Dies geschieht in hierarchischer Reihenfolge für alle Personen, die für die Kläranlage zuständig sind.

Neben dem Automatikbetrieb ist ein Handbetrieb aus dem Prozessleitsystem, an der Schaltanlage und vor Ort bei den Aggregaten möglich. Der Handbetrieb vor Ort hat immer Vorrang vor dem Handbetrieb an der Schaltanlage. Der Handbetrieb an der Schaltanlage hat immer Vorrang vor dem Automatikbetrieb.

Die Energieeinsparung der Automatisierung und Digitalisierung lässt sich schwer eingrenzen, jedoch kann hier der Stromverbrauch vor der Sanierung mit dem der nach Sanierung verglichen und eine Differenz gebildet werden. Dazu wird anhand von Erfahrungswerten ein Prozentsatz von 10 % gebildet und man erhält die Energieeinsparung für dieses Potenzial.

Bei auszugehenden 203.101 kWh mit folgenden 149.072 kWh liegt die Differenz bei 54.029 kWh. Somit beträgt die Energieeinsparung bzgl. der Automatisierung und Digitalisierung ca. 5.403 kWh.

5.7. LED-Beleuchtung und Schulung Energieeffizienz

Die vorhandene Beleuchtung wird, wie in Kapitel 4.2.4 erläutert, durch LED-Technologie ersetzt. Die Einsparung im Vergleich zu den jetzigen Leuchtstoffröhren liegt bei ungefähr 85 %. Da die Anzahl der Leuchtmittel zum Bestand gleichbleibt, kann hierbei wie schon erwähnt eine Gesamteinsparung von 85 % definiert werden.

Die Schulungen und Steigerung der Motivation der Mitarbeiter in puncto Energieverbrauch sind ebenfalls für einen wirtschaftlichen Umgang mit Energie wichtig. Hierdurch wird gesichert, dass Mitarbeiter Anlagen und Geräte energieeffizient nutzen. Die durch in Kapitel 4.2.5 angegebene Einsparung von 15 Prozent ist jedoch nicht komplett übertragbar auf das vorliegende Objekt, da in Kläranlagen andere Energieverbraucher vorhanden sind und benötigt werden als in dem zugrundeliegenden Pilotprojekt. Hierdurch kann die Einsparung auch nur auf einen Teil der Elektroinstallationen in den Räumen und Gebäuden bezogen werden.

Aus diesem Grund wird der Einsatz der LED-Beleuchtung und die Schulung auf Energieeffizienz als eine Einsparung gebündelt und auf insgesamt 15 % geschätzt.

Die Energieeinsparung der effizienten Beleuchtung und Schulung Energieeffizienz beträgt damit 1.314 kWh.

5.8. Optimierung Heizungsanlage

Die alte Heizungsanlage, bestehend aus 4 Nachtspeicheröfen, wird durch eine effizientere Wärmepumpenanlage mit KlimaSplit-Endgeräten ersetzt. In diesem Zuge muss zuerst die Gebäudeheizlast berechnet werden. In Bezug auf das Alter der Anlage bzw. Betriebsgebäude ist ein Wärmebedarf von ca. 75 W/m² anzurechnen. Die zu beheizende Fläche beträgt ca. 60 m², was mit dem Wärmebedarf eine Gebäudeheizlast von ca. 4,5 kW entspricht.

Als Wärmepumpe kommt eine leistungsgeregelte Luft Wasser Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 4,5 kW zum Einsatz. Um auch eine angenehme Behaglichkeit in den Räumen herzustellen, wird die Wärmepumpenanlage die drei Kategorien dazu erfüllen, Heizen, Kühlen und Luftaustausch.

Bei der Art der Wärmeübertragung in den Räumen wurde sich für KlimaSplit-Endgeräte entschieden. Dies hat mehrere ausschlaggebende Gründe. Zum einen wird auf den Einsatz von einer Fußbodenheizung verzichtet, da bei diesem Projekt die Umsetzung sehr schwierig ist. Zum anderen wurde auf die Kombination Luft Wasser Wärmepumpe und Heizkörper

verzichtet, da sonst die Heizkörper aufgrund der niedrigeren Vorlauftemperatur der Wärmepumpe größer dimensioniert werden müssen oder spezielle Wärmepumpenheizkörper, Mittel oder Hochtemperatur-Wärmepumpen eingesetzt werden. Vorteile von Klima Split Geräten bei diesem Projekt sind zum Beispiel, dass diese nicht nur hervorragend zum Heizen, sondern auch zum Kühlen geeignet sind.

Mit dieser Heizungsanlage lässt sich eine Einsparung von 6.483 kWh erreichen (Vor Sanierung 11.406 kWh; Nach Sanierung 4.923 kWh).

5.9. Berechnung des Energieverbrauchs

Zur Bewertung des Stromverbrauchs nach der Sanierung und zur Zielsetzung eines spezifischen jährlichen Energiebedarfes der gesamten Anlage von maximal 23 kWh/EW wird nachfolgend die Aggregateliste nach der Sanierung dargestellt. Da es sich auch um eine Erweiterung der Kläranlage mit neuen Bauwerken und Anlagen handelt, kann sich der Strombedarf zum Bestand wiederum erhöhen.

In den folgenden Tabellen wird bei den Aggregaten die Energie pro Jahr in kWh und der CO2 Emissionsausstoß in kg aufgeführt. Diese Angaben beziehen sich auf die tatsächlich im Betrieb befindliche Anlagenleistung in Bezug auf den Gleichzeitigkeitsfaktor und CosPhi.

Tabelle 11: Energie- und Treibhausgasbilanz nach Erweiterung

Aggregate Kläranlage	Energie pro Jahr [kWh]	CO2 Emission [kg]
Feinrechen	934	410
Rechengutpresse	876	385
Gebläse 1	23.634	10.375
Gebläse 2	23.634	10.375
Gebläse 3	25.550	11.216
Rezirkulationspumpe	9.855	4.326
NKB Antrieb	803	353
NKB Rinnenwaschgerät	1.095	481
NKB Hubmotor	15	6
NKB Schwimmschlammpumpe	2.409	1.058
Rücklaufpumpe 1	4.106	1.803
Rücklaufpumpe 2	4.106	1.803
Überschußschlammpumpe	2.464	1.082
Trübwasserpumpe	1.752	769
Beschickerpumpe Silo	876	385
Umwälzpumpe Silo	2.803	1.231
Scheibeneindicker SE	1.051	461
Silobeschickungspumpe SE	1.752	769
Rührwerk Silo 1	2.628	1.154
Rührwerk Silo 2	2.628	1.154

Rührwerk Silo 3	2.628	1.154
Beschickungspumpe SE	1.095	481
Schneckenpresse SE	438	192
Trogförderschnecke SE	2.168	952
FHM Station SE	788	346
Zentratwasserpumpe	1.402	615
Flockmittelpumpe	219	96
Probenehmer	1.095	481
Brauchwasserpumpe	2.243	984
Kellerentwässerungspumpe Gebläse	8	4
Außenbeleuchtung	3.504	1.538
Gesamt	**128.559**	**56.437**

Heizung über Allgemeinstrom	Energie pro Jahr [kWh]	CO2 Emis-sion [kg]
LW-Wärmepumpe (4,5 kW)	2.628	1.154
KlimaSplit	1.402	615
Heizlüfter Bad	894	392
Gesamt	**4.923**	**2.161**

Räume	Energie pro Jahr [kWh]	CO2 Emis-sion [kg]
Betriebsgebäude EG	5.212	2.288
Betriebsgebäude KG	2.234	981
Maschinenhaus	8.144	3.575
Gesamt	**15.590**	**6.844**

Gesamtbedarf	**149.072**	**65.443**

Nach Auswertung der neuen Liste mit den Aggregaten um Jahresstromverbrauch ergibt sich nach der Sanierung ein elektrischer Bedarf von 149.072 kWh. Da die Anlage von 4.500 EW auf 7.500 EW erweitert wird und dadurch auch mehrere neue Aggregate hinzukommen, ist trotz dieser Erweiterung der spezifische Strombedarf durch verschiedene Energieeinsparungspotenziale um ca. 36 % gesunken. Dies liegt hauptsächlich am effizienten Einsatz der Anlagen, Verfahren und Steuerungs-/Regelungstechnik.

Zum Ziel der Energieeinsparung mit einem maximalen spezifischen jährlichen Energiebedarf von 23 kWh/EW im Jahr liegt dieser Wert mit der neu berechneten Strombedarfsliste bei 20 kWh/EW im Jahr. Somit wird das Ziel aller Vorraussicht nach ereicht.

Tabelle 12: Die größten Verbraucher der Kläranlage nach der Erweiterung

Größte Verbraucher (Nach Sanierung)	Energie pro Jahr [kWh]	CO2 Emis-sion [t]	Anteil Stromver-brauch [%]
Gebläse 3	25.550	11,2	17,1
Gebläse 1	23.634	10,4	15,9
Gebläse 2	23.634	10,4	15,9
Rezirkulationspumpe	9.855	4,3	6,6
Rücklaufschlammpumpe 1	4.106	1,8	2,8
Rücklaufschlammpumpe 2	4.106	1,8	2,8
Gesamt	**90.885**	**40**	**61**

Tabelle 13: Aggregate der Biologie nach der Erweiterung

Biologie (Nach Sanierung)	Energie pro Jahr [kWh]	CO2 Emis-sion [t]	Anteil Stromver-brauch [%]
Gebläse 1	23.634	10,4	15,9
Gebläse 2	23.634	10,4	15,9
Gebläse 3	25.550	11,2	17,1
Rezirkulationspumpe	9.855	4,3	6,6
Gesamt	**82.673**	**36**	**55**

Der Bedarf der Biologie beläuft sich auf 82.673 kWh mit 36 t CO2. Dies entspricht einen Prozentsatz von 55 % vom Gesamtstrombedarf.

5.10. Ableitung einer Energie- und Treibhausgasbilanz

Zur Betrachtung der Energie- und Treibhausbilanz wurde in einer Studie des Öko-Instituts im Jahr 2021 der aktuelle CO2-Emissionsfaktor ausgewertet. Dieser bezieht sich für den Strombedarf im Inland und beträgt 0,439 kg CO2/kWh.

Mit einem bilanzierten Stromverbrauch von 149.072 kWh beträgt der CO2-Ausstoß ca. 65 Tonnen im Jahr.

Die Emissionsfaktoren für die größten Verbraucher und Biologie wurden im vorigen Punkt schon mitaufgegriffen und erläutert.

5.11. Erwartete Kosten

Zur Darstellung der zu erwartenden Kosten der geplanten Sanierung und Erweiterung der Kläranlage wurde dies in den folgenden Tabellen dargestellt.

Für eine möglichst detaillierte Berechnung der Investitionskosten wurden zahlreiche örtliche und spezifische Randbedingungen berücksichtigt. Zu den primären Kosteneinflussfaktoren zählen unter anderem die topographischen Verhältnisse des Anlagenstandortes, Baugrundverhältnisse des Anlagenstandortes, Ausbaugrad und Art der Regenwasserbehandlung, hydraulische und biologisch-chemische Belastung der Anlage Art des Abwasserreinigungsverfahrens.

Zusätzlich zu den vorgenannten primären Einflussfaktoren der Investitionskosten können auch die schwer quantifizierbaren Sekundäreinflüsse, wie beispielsweise regionale Marktverhältnisse oder konjunkturelle Preisverhältnisse die Investitionskosten maßgebend bestimmen.

Alle Kosten verstehen sich in Brutto-Angaben und sind auf, die nach Förderrichtlinie anrechenbaren Kosten begrenzt. Sie stellen nicht die Gesamtkosten der geplanten Erweiterung dar.

5.11.1 Kostenaufstellung Erneuerung der Belüftung

Tabelle 14: Kostenaufstellung Erneuerung der Belüftung

01.01	**Messtechnik**	
01.01.1	Sauerstoffmessung	11.900 €
01.01.2	Ammoniummessung	8.330 €
01.01.3	Nitratmessung	8.330 €
01.01.4	Druckluftmessungen	3.570 €
01.01.5	Temperaturmessungen	238 €
01.01.6	Phosphatmessung	11.900 €
	Gesamtsumme	**51.884 €**

01.02	**Steuerungstechnik**	
01.02.1	Schaltanlage	4.165 €
01.02.2	Bedien- und Meldegeräte	2.380 €
01.02.3	Steuereinheit	47.600 €
	Gesamtsumme	**67.235 €**

01.03	**Regelungstechnik**	
01.03.1	Regelungstechnische Komponenten	28.560 €
	Gesamtsumme	**28.560 €**

01.04	**Verfahrenstechnik**	

01.04.1	Armaturen und Rohrleitungen	47.600 €
01.04.2	Belüftungseinrichtungen	116.322,50 €
01.04.3	Anpassung BT an Verfahrenstechnik	152.320 €
	Gesamtsumme	**316.242,50 €**

01.05	**Kompressoren**	
01.05.1	Gebläse 2x	80.920 €
01.05.2	Montage / Demontage (2x)	1.000 €
	Gesamtsumme	**81.920 €**

5.11.2 Kostenaufstellung Erneuerung von Pumpen und Motoren

Tabelle 15: Kostenaufstellung Erneuerung von Pumpen und Motoren

02.01	**Pumpen**	
02.01.1	NKB Schwimmschlammpumpe	3.927 €
02.01.2	Rücklaufschlammschnecke 1	17.850 €
02.01.3	Überschussschlammpumpe	14.280 €
02.01.4	Trübwasserpumpe	3.570 €
02.01.5	Beschickerpumpe Silo	3.570 €
02.01.6	Umwälzpumpe Silo	11.424 €
02.01.7	Beschickungspumpe SE	7.140 €
02.01.8	Schneckenpresse SE	2.618 €
02.01.9	Zentratwasserpumpe	10.710 €
02.01.10	Brauchwasserpumpe	6.069 €
02.01.11	Montage / Demontage (10x)	5.000 €
	Gesamtsumme	**86.158 €**

02.02	**Motoren**	
02.02.1	Feinrechen	714 €
02.02.2	Rechengutpresse	892,50 €
02.02.3	NKB Antrieb	535,50 €
02.02.4	NKB Rinnenwaschgerät	535,50 €
02.02.5	Trogförderschnecke SE	4.319,70 €
02.02.6	Montage / Demontage (5x)	2.500 €
	Gesamtsumme	**9.497,20 €**

5.11.3 Kostenaufstellung Änderung Verfahrenstechnik

Tabelle 16: Kostenaufstellung Änderung Verfahrenstechnik

03.01	**Bautechnik**	
03.01.1	Denitrifikationsbecken und Rezirkulation	467.550 €
03.01.2	Schlammentwässerung	160.650 €
03.01.3	Rücklaufschlammförderung	13.090 €
	Gesamtsumme	**227.290 €**

03.02	**Maschinentechnik**	
03.02.1	Denitrifikationsbecken und Rezirkulation	92.820 €
03.02.2	Schlammentwässerung	369.221,30 €
03.02.3	Rücklaufschlammförderung	65.450 €
	Gesamtsumme	**527.491,30 €**

03.03	**Elektrotechnik**	
03.03.1	Denitrifikationsbecken und Rezirkulation	48.790 €
03.03.2	Schlammentwässerung	89.666,50 €
03.03.3	Rücklaufschlammförderung	26.180 €
	Gesamtsumme	**164.636,50 €**

6. Fazit

Im Folgenden werden die geplanten Maßnahmen zusammengefasst und das erreichte Ziel den gesetzten Zielen gegenübergestellt.

6.1. Deckungsquote

Durch die Richtlinie zur Förderung von Klimaschutzprojekten im kommunalen Umfeld „Kommunalrichtlinie“ vom 22. Juli 2020 ist vorgegeben, dass eine Deckungsquote des Energiebedarfs für Strom und Wärme durch auf dem Grundstück umgewandelter Energie von mindestens 70 % erreicht werden muss.

Durch den Einsatz mehrerer PV-Anlagen kann die Deckungsquote auf Basis des berechneten neuen Energiebedarfes eingehalten werden.

6.2. Spezifischer Energiebedarf

In der Richtlinie wurde der maximale spezifische jährliche Energiebedarf der gesamten Anlage von 23 kWh/Einwohnerwert genannt, der durch die Sanierungsmaßnahmen erreicht werden sollte.

Im Hinblick der Zusammenstellung der gesamten Verbraucher in der neuen berechneten Energiebedarfsliste gibt diese bekannt, dass der zielgerichtete Wert eingehalten wird. Das Ergebnis lautet 20 kWh/EW.

6.3. Erneuerung Belüftung

Wie durch die Bestandsaufnahme dieser Potenzialstudie festgestellt wurde, ist der Stromverbrauch der bestehenden Kläranlage durch die technisch veralteten Gebläse hoch. Hierdurch wurden der Austausch und Einsatz von effizienten Gebläsen als erforderlich eingestuft.

Je nach Reinigungsphase, Kohlenstoffabbau und Nitrifikation oder Denitrifikation, ist die Belüftung aktiv oder inaktiv (intermittierende Denitrifikation). Die Ansteuerung der Belüftungsphasen erfolgt über die Messung der angebrachten Sauerstoff- und Ammonium-/Nitratmesssonde. Hierdurch schaffen die nach der Sanierung eingesetzten Gebläseeinheiten die zuvor gestellte Anforderung zur Förderung.

Zuwendungsfähig nach 2.13.5. Kommunalrichtlinie ist der Austausch

- bestehender Kompressoren zur Belüftung durch neue, hocheffiziente, regelbare Kompressoren mit energieeffizienten Motoren der Effizienzklasse IEE und Möglichkeit zur Wärmeauskopplung in externe Prozesse.
- Ausgaben zur Anschaffung von Mess-, Steuer- und Regeltechnik zur Anpassung der Drucklufterzeugung an eine geeignete Messgröße.
- Ausgaben für verfahrenstechnische Maßnahmen.
- Ausgaben für die Installation und Einrichtung durch qualifiziertes externes Fachpersonal.

6.4. Erneuerung von Pumpen und Motoren

Wie in dieser Potenzialstudie dargestellt wurde, werden Pumpen und Motoren der Effizienzklasse IE4 und drehzahlgeregelte Motoren der Effizienzklasse IE3 getauscht. Außerdem kommen energieeffiziente Pumpen mit einem Energieeffizienzindex von EEI < 0,23 zum Einsatz.

Durch diese Maßnahmen werden die gestellten Ziele der Förderung eingehalten.

Die Richtlinie stellt im Unterpunkt 2.13.3 dar, dass

- *„Ausgaben für den Austausch bestehender Motoren durch energieeffiziente Motoren der Effizienzklasse IE4,*
- *Ausgaben für den Austausch bestehender Motoren durch drehzahlgeregelte Motoren der Effizienzklasse IE3,*
- *Ausgaben für den Austausch bestehender Pumpen durch energieeffiziente Pumpen mit einem Energieeffizienzindex von EEI <0,23,*
- *Ausgaben für Neu- und Umbaumaßnahmen im kommunalen Abwassernetz, die dem Rückbau von Pumpen und Hebewerken dienen, z. B. die Umstellung von Pumpen auf Saugheber und die Schaffung von Netzstrukturen, durch die mindestens 25 % der für das Kanalnetz eingesetzten Energie bezogen auf den Energieeinsatz der letzten drei Jahre eingespart werden können sowie*
- *Ausgaben für die Einrichtung und Durchführung durch qualifiziertes externes Fachpersonal,“*

förderfähig sind.

6.5. Änderung Verfahrenstechnik

Für eine ganzheitliche Kläranlagenenergieeinsparung wird die komplette Verfahrenstechnik durch ein neues energieeffizientes Verfahren ersetzt. Weiterhin wird durch die hocheffiziente Verfahrenskombination nicht nur die Reinigungsqualität verbessert, sondern es wird zudem min. 25 % an Energie eingespart.

Hierbei sind folgende Ausgaben zuwendungsfähig:

- *„Ausgaben für Leitungen und Pumpen*
- *Hocheffiziente Verfahrenskombination*
- *Ausgaben für die Einrichtung und Durchführung durch qualifiziertes externes Fachpersonal“*

6.6. Umsetzungsfahrplan

Der vorgesehene Zeitplan für die Sanierung und Erweiterung der Kläranlage ist wie folgt:

- Ausschreibung und Vergabe: bis 4. Quartal 2022
- Realisierung: bis 3. Quartal 2024

Die Sanierung und Erweiterung der Kläranlage hat so zu erfolgen, dass die bestehende Anlage weiterhin in Betrieb bleibt und die Reinigungsleistung der Bestandsanlage so gering wie möglich beeinträchtigt wird. Deshalb werden die Neubau- und Umbaumaßnahmen immer in Abstimmung mit dem Klärpersonal und beauftragten Ingenieurbüros durchgeführt.

6.7. Ablauf der Beantragung einer Förderung nach der Kommunalrichtlinie

Zur erfolgreichen Beantragung der Förderung nach der Kommunalrichtlinie sind verschiedene Details in der Organisation eines Projektes zu beachten (s. Abbildung 3).

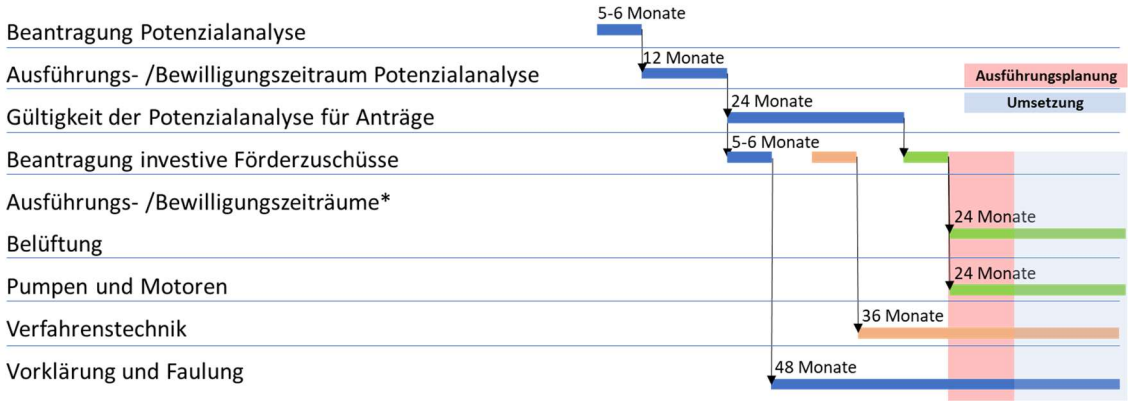

Abbildung 3: Mögliche Organisation eines Projektes mit verschiedenen Förderschwerpunkten

Zu beachten sind die hierbei jeweils gültigen Bewilligungszeiträume für Förderbescheide, welche unterschiedliche Längen aufweisen. Dies muss bei übergeordneten Baumaßnahmen terminlich berücksichtigt werden. Der detaillierte Ablauf der Förderung erfolgt dann wie in Abbildung 4 dargestellt.

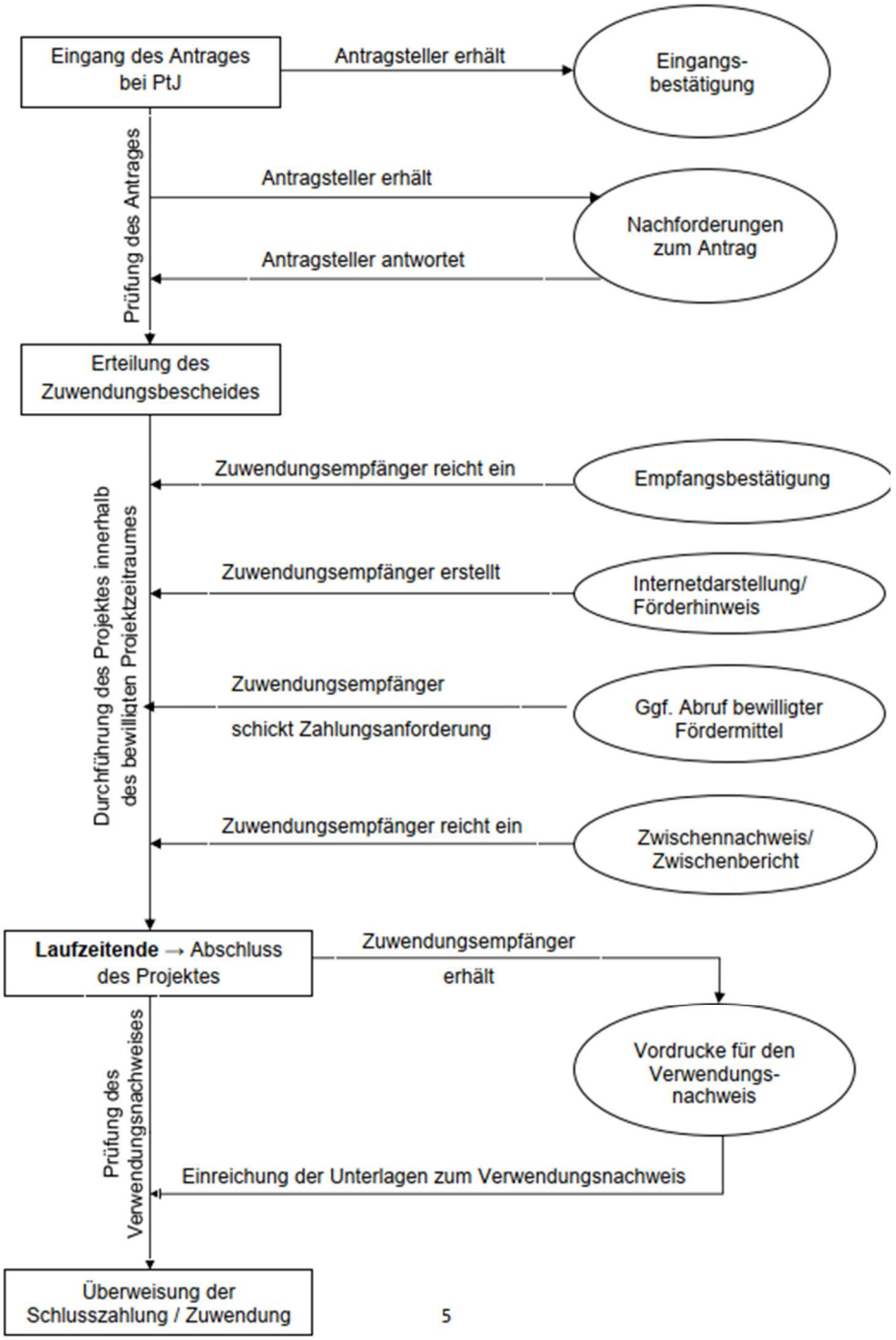

Abbildung 4: Ablaufschema einer Förderung nach der Kommunalrichtlinie

Die Verfasser.

Pfaffenhofen, den 17.12.2021

WipflerPLAN
Planungsgesellschaft mbH

Dr.-Ing. Andreas Vogl
Dipl.-Ing. (FH) Max Müller