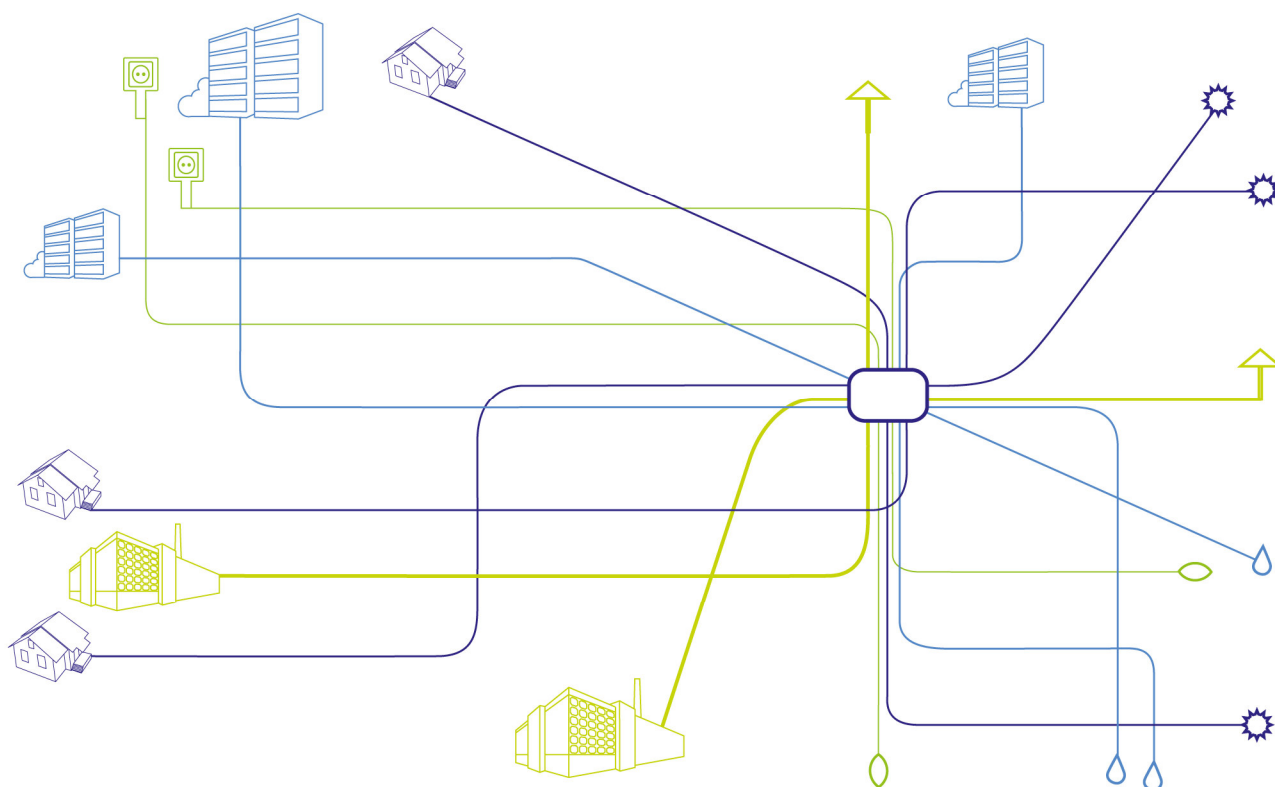




Lastverschiebung in der Abwasserreinigung

Kommunale Kläranlagen als
Bestandteil smarter Energiesysteme



VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung.

Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert. Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „e!Mission.at“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink that reads 'Theresia Vogel' in a cursive script.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

Loadshift-ARA

Lastverschiebung in der Abwasserreinigung Kommunale Kläranlagen als Bestandteil smarter Energiesysteme

AutorInnen:

DI(FH) DI Martin Schloffer, Evelyn Lang, MSc
4ward Energy Research GmbH

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Otto Nowak, DI(FH) Peter Enderle, MSc
Nowak Abwasser Beratung

Ing. Reinhard Pregartbauer
Wastewater Solutions Group

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis.....	4
2	Einleitung	5
2.1	Aufgabenstellung.....	5
2.2	Schwerpunkte des Projektes Loadshift-ARA.....	7
2.3	Einordnung in das Programm	8
2.4	Verwendete Methoden.....	10
3	Rahmenbedingungen und Anforderungen.....	12
3.1	Lastverschiebung aus energetischer und netztechnischer Sicht	12
3.2	Grundsätzliches zu Lastverschiebung bei Abwasserreinigungsanlagen	17
3.3	Rahmenbedingungen aus Sicht der Netzbetreiber / EVUs zur Durchführung von Lastverschiebungsmaßnahmen bei Kläranlagen	25
3.4	Regulatorische und rechtliche Rahmenbedingungen.....	31
3.5	Rahmenbedingungen zur Hebung etwaiger Lastverschiebungspotenziale auf Kläranlagen - Zusammenfassung.....	36
4	Charakterisierung der ausgewählten Kläranlagen	37
4.1	Kläranlage I	37
4.2	Kläranlage II	41
4.3	Kläranlage III	45
4.4	Kläranlage IV	50
5	Erfassung und technische Umsetzung der Lastverschiebungspotenziale auf kommunalen Kläranlagen	56
5.1	Dynamische Simulation der biologischen Abwasserreinigungsstufen als Basis für die Ermittlung der Lastverschiebungspotenziale	56
5.2	Beispiele für die Vorgehensweise zur Ermittlung der Lastverschiebungspotenziale bei einzelnen Kläranlagen.....	57
5.3	Möglicher Beitrag von Eigenstromerzeugungsanlagen	69
5.4	Zusammenfassung - Identifizierte Lastverschiebungspotenziale	72
5.5	Technische Lösungsansätze	75
6	Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen.....	80
7	Zusammenfassung und Ausblick.....	82
8	Verzeichnisse	84
8.1	Literaturverzeichnis	84
8.2	Abbildungsverzeichnis	87
8.3	Tabellenverzeichnis	88
9	Kontaktdaten	89

2 Einleitung

2.1 Aufgabenstellung

2.1.1 Ausgangssituation

Mit steigendem Anteil der dezentralen Stromerzeugung nehmen auch die damit verbundenen Auswirkungen auf das Gesamtsystem „Stromnetz“ zu. Die dezentralen Erzeuger müssen in das Stromsystem integriert bzw. das System muss an die neue Erzeugerstruktur angepasst werden, um einerseits die durch die Integration der erneuerbaren Anlagen anfallenden Kosten zu reduzieren und andererseits die Versorgungssicherheit, trotz der geänderten Erzeugungsstruktur, gewährleisten zu können.

Insbesondere die verbrauchsseitige Flexibilisierung des Stromverbrauchs gewinnt in diesem Zusammenhang immer mehr an Bedeutung. Dabei können Verbraucher auf zwei Arten das Stromsystem beeinflussen:

- Der Stromverbrauch wird mit Hilfe von Effizienzmaßnahmen insgesamt gesenkt
- Der Stromverbrauch wird mit Hilfe eines aktiven Lastmanagements zeitlich verschoben

Während Effizienzmaßnahmen insgesamt von zentraler, energiepolitischer Bedeutung sind, ist für die technische Integration der dezentralen und fluktuierenden Erzeugung vor allem das Lastmanagement relevant. Neue Ansätze des Lastmanagements unterscheiden sich von früheren Versuchen der Lastverschiebung, wie sie zum Beispiel mit speziellen Stromtarifen und Nachtspeicherheizungen durchgeführt wurden. Dabei ging es vor allem darum, die Nachfragekurve tagsüber abzuflachen und den Stromverbrauch in die Nachtzeiten zu verschieben. Die Auslastung der Grundlastkraftwerke sollte damit verbessert und der Einsatz teurer Spitzenlastkraftwerke verringert werden.

Durch die sich ändernde Erzeugerstruktur und die gestiegenen Anforderungen, die sich aus der Zunahme dezentraler und fluktuierender Stromerzeugung ergeben, gewinnt der Aspekt Lastmanagement zunehmend an Bedeutung. Die Integration der dezentralen und fluktuierenden Erzeugung erfordert vor allem eine zeitliche Verschiebung der Nachfrage, die soweit möglich der fluktuierenden Erzeugungsstruktur folgt und damit flexibel wird. Dies stellt eine Erweiterung des bisherigen Verständnisses von Energiesystemen dar, die ausschließlich durch die Anpassung der Versorgungskapazitäten die schwankende Nachfrage befriedigen. Die nachfrageseitige Flexibilität kann einerseits für den Ausgleich zwischen Erzeugung und Bedarf, andererseits aber auch für die Behebung von netzseitigen Engpässen genutzt werden.

Der Bedarf an intelligenter Integration von elektrischen Energieverbrauchern in das Energiesystem für Lastverschiebungsaktivitäten ist daher groß. Dies ist insbesondere in Ländern und Regionen von Bedeutung, welche einen hohen Anteil an Photovoltaik und Windkraft aufweisen (wie z. B. Deutschland). Auch in Österreich wird der Einfluss der volatilen erneuerbaren Erzeuger auf den Tagesgang der Stromproduktion zunehmend größer. Innerhalb dieses erweiterten Energiesystems kommt den Verbrauchern somit auch eine aktive Rolle zu.

Für die Teilnahme am Lastmanagement sind grundsätzlich alle Verbraucher in den Sektoren Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen und private Haushalte geeignet, deren Stromverbrauch unterbrechbar oder zeitlich verschiebbar ist. Diese Eigenschaft weisen zum einen Verbraucher auf, die aufgenommene elektrische Energie zwischenspeichern können, aber auch zeitvariable Verbraucher ohne Speichermöglichkeit, die ihren Stromverbrauch durch eine geänderte Nutzung verschieben oder verändern können. Auch die elektrischen Verbraucher von kommunalen Abwasserreinigungen können in das Lastmanagement eingebunden werden, da einzelne Prozesse der Abwasserreinigung in einem gewissen Maß flexibel hinsichtlich der Betriebsweise sind. Diese Möglichkeiten des Lastmanagements setzen eine aktivere Rolle des Stromkunden voraus.

Zur Ermittlung der Potenziale möglicher Lastverschiebungen ist damit, neben den technischen Verschiebepotenzialen, auch die Bereitschaft der Verbraucher zum Lastmanagement zu betrachten. Hier entscheiden nicht zuletzt die ökonomischen Vorteile, die sich aus Kundensicht erzielen lassen, über das realisierbare Lastmanagementpotenzial. Neben der Höhe des Verschiebungspotentials und der Reaktionsgeschwindigkeit sind vor allem die Kosten der einzelnen Lastverschiebungsmaßnahmen entscheidend für die Umsetzbarkeit.

Es gibt bislang kaum Praxiserfahrungen mit der Realisierung von Lastverschiebung im Bereich der Kläranlageninfrastruktur, mit Ausnahme von kurzfristigen Lastabwürfen zur Verringerung bzw. Vermeidung von Viertelstunden-Spitzenwerten, die die Grundlage für die Stromabrechnung bilden.

2.1.2 Problemstellung

Lastverschiebungen im kommunalen Bereich sind bei Kläranlagen aufgrund der Rahmenbedingungen besonders komplex und schwierig. Bei der Abwasserreinigung ist vom Betreiber der kommunalen Kläranlagen vordringlich auf die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte zu achten. Entscheidend ist, dass kommunale Kläranlagen biologische Abwasserreinigungsanlagen sind. Wie bei anderen biotechnologischen Anlagen ist es auch bei Kläranlagen nicht möglich einzelne Prozesse beliebig ein- und auszuschalten, möchte man nicht das Ergebnis, im Fall von Kläranlagen den Reinigungserfolg, gefährden. Es sind allerdings gewisse Pufferkapazitäten vorhanden, wie im Folgenden dargestellt wird.

Bei der biologischen Reinigung in kommunalen Kläranlagen bzw. bei der Klärtechnik im Allgemeinen sind grundsätzlich drei Medien zu unterscheiden:

- die Feststoffphase, d.h. der Belebtschlamm bei der biologischen Reinigung bzw. der Klärschlamm in der anschließenden Schlammbehandlung,
- die Flüssigphase, d.h. die gelösten Stoffe, die eigentlichen „Schmutzstoffe“, die bei der biologischen Reinigung entfernt bzw. abgebaut werden müssen, sowie
- die Gasphase, d.h. der Sauerstoff, der durch die Belüftung in das aerobe Reinigungssystem eingetragen wird und für den Abbau der gelösten Stoffe benötigt wird.

Ausschlaggebend ist nun die unterschiedliche Aufenthaltszeit der einzelnen Stoffe im System, weshalb diese eine / die wesentliche Randbedingung in Hinblick auf die Möglichkeiten der Lastverschiebung auf kommunalen Kläranlagen darstellt.

Aktuell bestehen hinsichtlich Netzbezugs lediglich geringe wirtschaftliche Anreize für Betreiber kommunaler Kläranlagen Lastverschiebungen durchzuführen (z.B. Verringerung von Viertelstunden-Spitzenwerten). Anreize, die eine Netzentlastung bzw. eine bessere Ausnutzung der verfügbaren Netzkapazitäten mit sich bringen, sind nicht gegeben, da in der liberalisierten Stromwirtschaft dieser Vorteil (noch) nicht „bepreist“ wird. Die Netznutzungsgebühren werden aktuell vom Regulator festgelegt und lassen Lastverschiebungen unberücksichtigt. Einen weiteren wirtschaftlichen Anreiz könnte jedoch die bestmögliche Ausnutzung des Stroms bieten, der von möglichen betriebseigenen Stromerzeugern (hauptsächlich Photovoltaikanlagen) produziert wird. Um dies zu erreichen, bedarf es neben einer optimierten Planung dieser Erzeugungsanlagen auch einem (v. a. zeitlich) optimierten Einsatz von Verbrauchern im Prozess der Abwasserreinigung.

Unter technischen Gesichtspunkten gilt es verschiedene Aspekte der Verbraucherseite (Kläranlagen), Schnittstelle Verbraucher-Netz und der Netzseite (Energieversorger, Netzbetreiber) zu analysieren:

- Identifikation der Kläranlagen (Auslegungsgröße, Kläranlagentyp, etc.) die unter den (spezifischen) gegebenen Voraussetzungen am besten für Lastverschiebungen geeignet sind.
- Abklärung der Voraussetzung, um generell Lastverschiebungen einzelner Teilprozesse durchführen zu können.
- Identifikation der Potenziale einzelner Teilprozesse zur Lastverschiebung.
- Abschätzung des Beitrags von Eigenstromerzeugungsanlagen (Klärgas-BHKWs und PV-Anlagen)
- Feststellung der notwendigen technologischen Systemanpassungen, um Lastverschiebungspotenziale nutzen bzw. vergrößern zu können.
- Identifikation der Anforderungen an die (Echtzeit-)Kommunikationsinfrastruktur, sowie Erarbeitung geeigneter Kommunikationsmechanismen zwischen Verbraucher und Netzbetreiber.
- Abklärung der Verantwortlichkeiten (hinsichtlich Sicherheit des Betriebs)

Ebenso ist es für die Realisierung von Lastverschiebungspotenzialen wichtig die vorhandenen ökonomischen Anreize für Infrastrukturanlagenbetreiber zu erfassen, sowie Lösungsansätze für die Schaffung von Anreizen aufzuzeigen. Darüber hinaus muss ein Abgleich der unterschiedlichen Interessen bzw. Prioritäten der Beteiligten erfolgen.

2.2 Schwerpunkte des Projektes Loadshift-ARA

Mit Bezug auf die zuvor erläuterte Problemstellung, die für eine Vielzahl an Kläranlagen repräsentativ ist, bestehend die prioritäre Zielsetzung des Sondierungsvorhabens in der Erarbeitung der technischen Machbarkeit für die Durchführung von Lastverschiebungsmaßnahmen bei kommunalen Kläranlagen. Weitere Ziele sind:

- Erhebung von Lastverschiebungspotenzialen einzelner Teilprozesse sowie Erzeugungsanlagen von unterschiedlichen Kläranlagentypen, damit die Sinnhaftigkeit und Wirtschaftlichkeit möglicher Realisierungen abgeschätzt werden können.

- Erarbeitung von technischen Lösungsvorschlägen für einzelne Teilprozesse, die im Sinne einer hohen Multiplizierbarkeit einfach, standardisierbar, kostengünstig und praxisgerecht sind.
- Darstellung der bestmöglichen Einbindung von betriebseigenen Stromerzeugungsanlagen, sowie der Auslegung von Anlagen zur Eigenstromversorgung (PV-Anlagen, BHKW)
- Handlungsempfehlungen, wie Anreize für Lastverschiebungen im Bereich der Kläranlageninfrastruktur geschaffen und die unterschiedlichen Interessen der involvierten Akteure bestmöglich ausgeglichen werden können.

Abgrenzung: Herkömmliche Energiespeichertechnologien und Speichermöglichkeiten stehen nicht im Fokus, werden aber im Rahmen der Erarbeitung von Lösungsvorschlägen berücksichtigt. Die generelle Steigerung der Energieeffizienz von Kläranlagen bzw. einzelner Prozesse der Abwasserreinigung sind nicht Thema von Loadshift-ARA. Diesem Themenbereich widmen sich seit einigen Jahren zahlreiche Projekte und Studien deren Ergebnisse den Grundstein dazu gelegt haben, dass Kläranlagen hinsichtlich Energieeinsparungen vor allem in Österreich einen sehr hohen Standard erreicht haben. Das gegenständliche Projekt versteht sich als Wegbereiter eines weiteren Schrittes – der Einbindung von Kläranlagen in ein zukünftiges, smartes Energiesystem.

2.3 Einordnung in das Programm

Das Vorhaben unterstützt die energiestrategischen, systembezogenen und technologiestrategischen Programmziele, wobei das Projekt insbesondere einen Beitrag zu dem Programmschwerpunkt „Intelligente Netze – Stromnetze“ und dem Themenfeld „Energieeffizienz & Energieeinsparung“ mit dem Fokus auf „Energieeffizienz in Industrie und Gewerbe“ leistet.

Lastverschiebungen und optimierte Einbindung dezentraler, regenerativer Erzeuger sind wichtige Bestandteile eines Smart Grids. Im vorliegenden Projekt werden Smart-Grid-relevante Funktionalitäten von Energiesystemen und deren Potenziale im Bereich der kommunalen Kläranlagen unter den dort geltenden spezifischen Randbedingungen (die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte hinsichtlich Abwasserreinigung) untersucht. Weiters adressiert das Projekt „Technologien und Systeme, die eine optimierte automatisierte aktive Verteilnetz-Betriebsführung bzw. automatisierte dezentrale Netzleittechnik unter Berücksichtigung der Netzintegration von dezentralen Erzeugern und Speichern ermöglichen.“ Die Ergebnisse der Sondierung sind ein erster Schritt zur Entwicklung eines Systems zur Nutzung der Lastverschiebungspotenziale bei Kläranlagen wodurch ein Beitrag zur Entlastung der Stromnetze und einer sicheren Betriebsführung geleistet werden kann. Dabei werden dezentrale Erzeuger (Klärgas-BHKW, PV), sowie dezentrale „Speicher“ (Speicherung mittels zeitverschobener Prozessabläufe) berücksichtigt.

Das gegenständliche Projekt behandelt weiters einerseits die optimierte Einbindung von Verbrauchern elektrischer Energie (Kläranlagen) in das Stromnetz (regionale Verteilernetze und überregionale Übertragungsnetze) durch Anpassung der Verbraucher-Lastgänge an die Erzeuger-Lastgänge (Lastverschiebung). Andererseits wird die optimierte Einbindung innerbetrieblicher Stromerzeuger auf Basis regenerativer Energieträger untersucht – dabei geht es um einen möglichst hohen Grad an

Eigennutzung des erzeugten Stromes, sowie um eine Verringerung von Netzbelastungen bei Einspeisung.

Das Vorhaben unterstützt weiters die nachfolgend aufgelisteten Programmziele:

- 1. Beitrag zur Erfüllung der energie-, klima- und technologiepolitischen Vorgaben der österreichischen Bundesregierung:** Mit Hilfe der Erarbeitung der optimierten Einbindung von innerbetrieblichen regenerativen Stromerzeugern im Bereich von Kläranlagen (Klärgas-BHKW, PV) kann dazu beigetragen werden, dass viele Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen deren Vorteile erkennen und umsetzen.
- 2. Erhöhung der Leistbarkeit von nachhaltiger Energie und innovativen Energietechnologien:** Kostensenkung bei hochinnovativen Technologien ist der Schlüssel für die Beschleunigung der Marktdurchdringung. Eine optimierte Einbindung – im Sinne eines möglichst hohen Grades an Eigennutzung des erzeugten Stroms – von innerbetrieblichen regenerativen Stromerzeugern im Bereich von Kläranlagen führt ebenfalls zur Senkung der Stromkosten, zur Verringerung der Amortisationszeiten von Stromerzeugern auf Basis erneuerbarer Energieträger und somit zur Erhöhung der Leistbarkeit von nachhaltiger Energie.
- 3. Aufbau und Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute auf dem Gebiet innovativer Energietechnologien:** Österreich ist einer der Vorreiter bei der Steigerung der Energieeffizienz in der kommunalen Abwasserreinigung. In Österreich gibt es zwei Beispiele für kommunale Kläranlagen mit Stickstoff- und Phosphorentfernung, die in Hinblick auf Strombezug und Stromverbrauch ohne den Einsatz zusätzlicher Energiequellen auf der Anlage, wie Photovoltaik, organische Reststoffe zur Biogaserzeugung etc., nur mithilfe der im Abwasser enthaltenen organischen Stoffe (chemischer Energie) im Jahresmittel eine positive Energiebilanz aufweisen. Aus der internationalen Literatur sind keine weiteren kommunalen Kläranlagen bekannt, die unter den genannten Bedingungen als „energieautark“ zu bezeichnen sind. In der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft ist demnach ein hoher Wissensstand über die Energieoptimierung von Kläranlagen – sowohl in praktischer als auch in theoretischer Hinsicht – vorhanden. Dieser umfangreiche Erfahrungsschatz über die Energieoptimierung von Kläranlagen, der in Österreich generell besteht, kann in Kombination mit Erkenntnissen über die Möglichkeiten der Lastverschiebung genutzt werden, um in diesem Bereich diesbezügliche Dienstleistungen auch international in Regionen anzubieten, in denen der Druck zur Lastverschiebung aufgrund der Randbedingungen (viel Photovoltaik und Windkraft, wenig Speichermöglichkeiten) deutlich größer ist als in den meisten Regionen Österreichs. Somit ergeben sich hier gute Chancen für einen Knowhow-Export. Damit erfolgt eine Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit. Mit dieser Technologiekompetenz wird der Wirtschafts- und Innovationsstandort Österreich gestärkt und es ergeben sich neue Möglichkeiten, die internationale Klimaschutzpolitik Österreichs zu unterstützen.

2.4 Verwendete Methoden

Im Zuge der Projektbearbeitung erfolgte als erster Schritt die Erfassung aller relevanten Rahmenbedingungen hinsichtlich der Lastverschiebung auf Kläranlagen. Ebenso wurden die Anforderungen der Akteure durch eine umfassende Literaturrecherche zum Status Quo, einerseits hinsichtlich bereits erhobener Lastverschiebungspotenziale bei kommunalen Kläranlagen, als auch insbesondere hinsichtlich der rechtlichen und regulatorischen Gegebenheiten, durchgeführt. Die Arbeiten gliederten sich dabei in zwei Ebenen. Zum einen die Rahmenbedingungen und Anforderungen bzgl. der Prozesse in kommunalen Kläranlagen und zum anderen der netztechnischen / energieseitigen Interessen.

Zur Erhebung der Anforderungen aus klärtechnischer Sicht wurden zwei Workshops mit Kläranlagenbetreibern zur Erfassung der grundsätzlichen Möglichkeiten der Flexibilität bzw. Abschaltung einzelner Anlagenteile / Aggregate auf Kläranlagen durchgeführt. Dabei wurde sowohl räumlich als auch hinsichtlich der Anlagengröße die gesamte Palette der kommunalen Abwasserreinigung in Österreich erfasst. Ergänzend zur Recherche bisheriger Arbeiten zum Thema Lastverschiebung und Netze, wurden die Anforderungen und Interessen der Stromnetzbetreiber und Energielieferanten in persönlichen Gesprächen anhand eines erarbeiteten Interviewleitfadens abgefragt. Weiters wurde die relevanten rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen erarbeitet.

Im Rahmen der durchgeführten Expertenworkshops konnte auch das Interesse der teilnehmenden Kläranlagenbetreiber eruiert werden, auf dessen Grundlage dann Besichtigungen von Abwasserreinigungsanlagen durchgeführt wurden. Dabei wurden vier Referenz-Kläranlagen für das Projekt ausgewählt, die für weitere detaillierte Untersuchungen in Frage kamen. Zwei der vier Kläranlagen, die näher untersucht wurden, werden mit simultaner anaerober Schlammstabilisierung, die beiden anderen mit Vorklärung und Schlammfäulung betrieben.

Für die Klärtechnische Analyse erfolgte zu Beginn eine Begehung der Anlagen mit dem Betriebspersonal. Dabei galt es die Verfahrenstechnik kennenzulernen, sowie die Hintergründe der oft im Laufe der Jahre gewachsenen Anlagen nachzuvollziehen. Aufbauend auf der detaillierten Besichtigung der vier ausgewählten Kläranlagen, erfolgte eine Auswertung der zur Verfügung gestellten Unterlagen. Der klärtechnischen Analyse der Prozesse und Aggregate liegen Messwerte und Aufzeichnungen der einzelnen Anlagen zugrunde. Es wurden demnach zunächst die Belastungsdaten mittels Bilanzierung verifiziert. Danach wurden die einzelnen Teilprozesse in Hinblick auf ihren Stromverbrauch eingehend analysiert. In einem nächsten Arbeitsschritt wurde überlegt, welche Aggregate (Verbraucher) kontinuierlich, also 24 Stunden am Tag, durchlaufen müssen bzw. welche Verbraucher nur über wenige Stunden betrieben werden, oder betrieben werden können und inwieweit deren Energieverbrauch dementsprechend in Zeiten mit höherem Stromdargebot verschoben werden kann. Für die energetische Analyse wurde einerseits der Energieverbrauch der einzelnen Anlagenteile bzw. Aggregate-Cluster (Belüftung, Rührwerke usw.) ausgewertet und andererseits wurde der Energiebedarf von maschinellen Einrichtungen (Prozessen), die nicht kontinuierlich betrieben werden müssen und deren Stromverbrauch dementsprechend zeitlich verschoben werden kann, zusammengefasst. Anhand der Energieanalyse wurde der spezifische Stromverbrauch der einzelnen Anlagenteile bzw. Prozesse identifiziert und zur Verifizierung mit gängigen Literaturwerten verglichen.

Basierend auf den Ergebnissen aus den vorangegangenen Arbeiten wurde mit Hilfe des „Activated Sludge Model No. 1“ (ASM1) ein dynamisches Simulationsmodell für die Referenzanlagen erarbeitet, um festzustellen, in welchem Ausmaß sich der Energieverbrauch der Belüftung des Belebungsbeckens verschieben lässt. Für die Simulation wurden typische Tagesganglinien des Abwasserzuflusses sowie der CSB- und Gesamt-N- bzw. $\text{NH}_4\text{-N}$ -Zulaufkonzentration erhoben.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Simulation und den Erkenntnissen aus den Workshops wurde für die beiden Anlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung versucht den Stromverbrauch der Anlage an den Lastgang einer fiktiven Photovoltaikanlage am jeweiligen Standort anzupassen. Die installierte Leistung der PV-Anlage wurde mit der daraus zu erwartenden Stromproduktion für die Monate Jänner und Juli dem idealisierten Energieverbrauch nach Lastverschiebung aus der Modellrechnung angepasst. Weiters wurde untersucht, wie die Teilprozesse der Klärtechnik sowie der Erzeugeranlagen technisch adaptiert, sowie die Betriebsweise von Erzeugeranlagen angepasst werden könnten, um die Lastverschiebungspotenziale zu vergrößern bzw. zu generieren.

Durch Recherchen zu am Markt befindlichen Technologien intelligenter Managementsysteme und den Erkenntnissen aus den Gesprächen mit den Stromnetzbetreibern wurden die Anforderungen an eine (Echtzeit-)Kommunikationsinfrastruktur zwischen Energieversorger, Stromnetz und Managementsystemen in Kläranlagen erarbeitet.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurden mögliche betriebseigene elektrische Erzeuger, wie z.B. Photovoltaikanlagen und BHKWs hinsichtlich der optimalen Einbindung (möglichst hohe Eigenstromabdeckung) in den Kläranlagenbetrieb analysiert.

Anhand der erarbeiteten Ergebnisse konnten für die jeweiligen Referenzanlagen Lösungsansätze zur technischen Machbarkeit des Lastverschiebungspotenzials auf Kläranlagen erarbeitet werden.

3 Rahmenbedingungen und Anforderungen

Grundsätzlich ist bei Lastverschiebungen zu berücksichtigen, wo, in welchem Ausmaß und mit welchem Zeitumfang diese erfolgen sollen. Zudem setzt eine Potenzialanalyse die Erhebung der Interessen und Aufgabengebiete der jeweiligen Akteure voraus. Wesentlich für die Frage, inwieweit kommunale Kläranlagen durch Unterbrechung bzw. Verzögerung der klärtechnischen Prozesse einen Beitrag zum Ausgleich kurzfristiger (und saisonaler) Lastschwankungen im Stromnetz leisten können, ist das Vorhandensein eines flexiblen Stromnetzes [Kopf, 2013]. Auf die Rahmenbedingungen und weiteren Anforderungen wird in den nachfolgenden Kapiteln eingegangen.

3.1 Lastverschiebung aus energetischer und netztechnischer Sicht

3.1.1 Begriffserklärung: Lastmanagement

Unter Lastmanagement (Demand-Side-Management; DSM) versteht man die verbrauchsseitige Anpassung des Strombedarfs an das jeweilige Stromangebot im Netz. Der Begriff Demand Side Management fasst demnach alle Maßnahmen zusammen, die die Art und Höhe des Energieverbrauchs bei den Endkunden beeinflussen. DSM bezieht sich also grundsätzlich auf Energieeffizienz- und Energiesparmaßnahmen. In Abhängigkeit der zeitlichen Dimension und der Auswirkung der Maßnahme, von permanenten Energieeffizienzmaßnahmen bis zu Maßnahmen im Sekundenbereich, kann eine Einteilung in vier Kategorien erfolgen (siehe Abbildung 3.1).

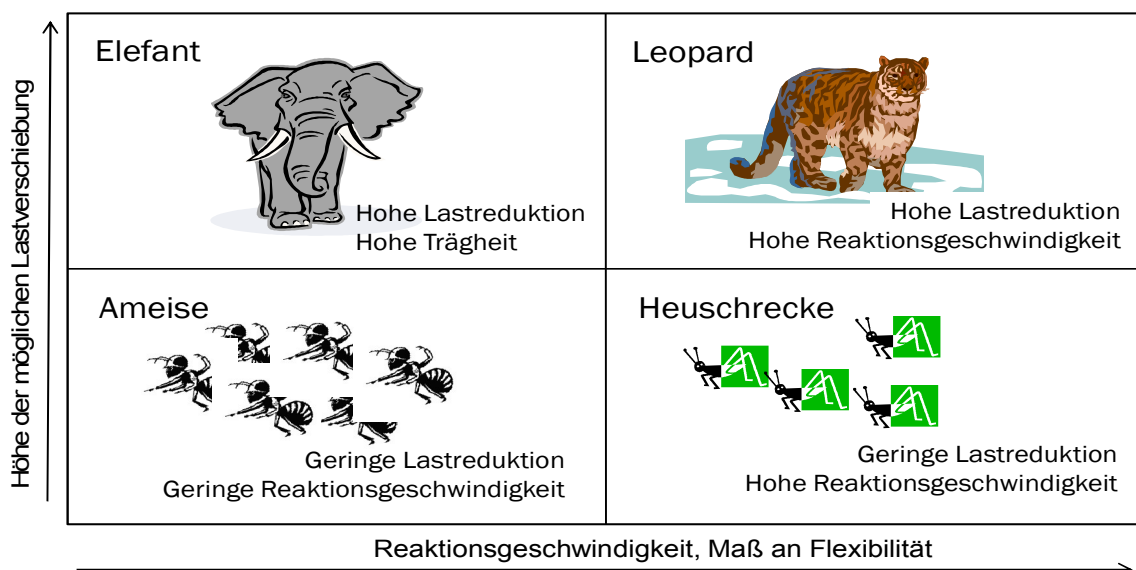


Abbildung 3.1: Kategorien des Demand Side Management

Quelle: [Hinterberger und Polak, 2011]

Lastverschiebung (Demand Response), als Unterbegriff von Demand-Side-Management, ist als die Vielzahl an Möglichkeiten zu verstehen, wie das Stromverbrauchsverhalten von Endkunden (durch ein

Signal) beeinflusst werden kann und zielt auf eine kurzfristige Veränderung des Strombedarfs ab. Die Flexibilisierung steht hier im Gegensatz zu reinen Energiesparmaßnahmen im Vordergrund. Demand Response umfasst Maßnahmen zur Beeinflussung der Lastkurve durch Vermeidung bzw. die Verschiebung von Spitzenlasten. Innerhalb des erweiterten Elektrizitätssystems kommt den Verbrauchern also eine aktivere Rolle zu.

Die Einsatzgebiete von Lastverschiebung beziehen sich demnach auf die folgenden Bereiche:

- *Fahrplanmanagement und Netzregelung* (global) was eine aktive Beteiligung an der Fahrplanerstellung zur Beseitigung von Engpässen vorsieht. Dieses Ereignis ist planbar und erfordert eine unmittelbare Bereitstellung von zusätzlicher Regelleistung. Auf Grund der festgelegten Voraussetzungen (siehe Abschnitt 3.1.2.2) ist es für Kläranlagen, unter anderem aufgrund der zu geringen Leistungen, nicht möglich am Regelenergiemarkt teilzunehmen. Es gibt jedoch aktuell Bestrebungen, die Zugangshürden zum Regelenergiemarkt (u. a. hinsichtlich der zur Teilnahme erforderlichen Mindestleistungen) zu minimieren. Es ist also nicht ausgeschlossen, dass zukünftig auch Betreiber kleineren Anlagen an diesem Markt teilnehmen können.
- *Spannungshaltung* (lokal) durch das koordinierte Ab- und Zuschalten von Lasten in sensiblen Netzbereichen je nach Spannungssituation. Dafür könnten Kläranlagen bei einem entsprechenden nutzbaren Potenzial beitragen.
- *Thermische Überbelastung* (lokal) die ein koordiniertes Ab- und Zuschalten von Lasten in sensiblen Netzbereichen bei drohender Überbelastung erfordert.

Abbildung 3.2 zeigt hierzu verschiedene Lastmanagementstrategien auf.

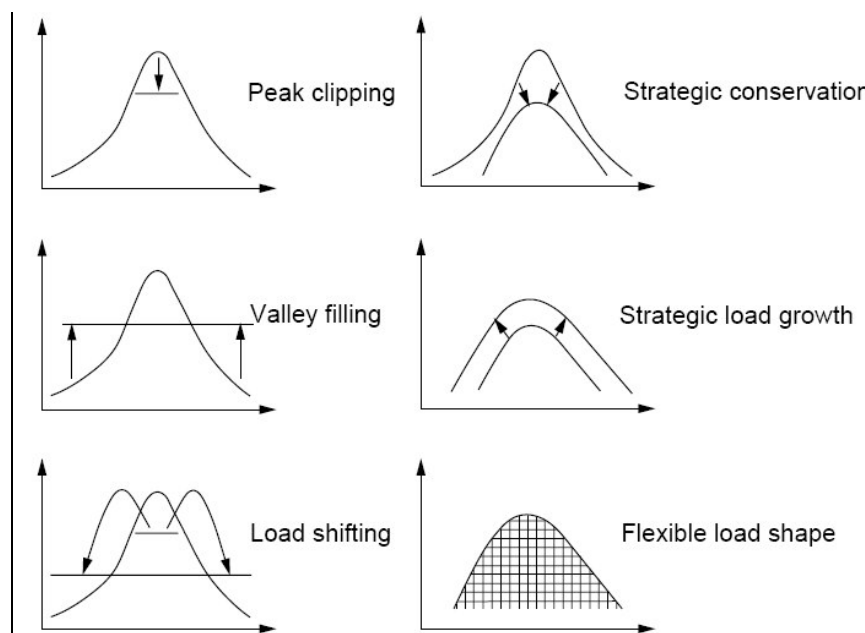


Abbildung 3.2: Handlungsalternativen zur Lastgangbeeinflussung im Rahmen von Lastmanagement

Quelle: [Abaravicius et al, 2006]

Für die Integration der dezentralen und fluktuierenden Erzeugung sowie die Reduktion von Spitzenlast sind in Zukunft „Peak Clipping“, „Valley Filling“, „Load Shifting“ und vor allem eine „Flexible Load Shape“ gefragt, bei der die Nachfragekurve nicht nach dem ex-ante bestimmbar Muster angepasst wird, sondern jeweils einer sich stochastisch ändernden Erzeugung folgt.

3.1.2 Grundsätzliches zum österreichischen Strommarkt

Durch die Liberalisierung des österreichischen Strommarktes im Jahr 2001 kam es zu wesentlichen technischen und organisatorischen Veränderungen für die Marktteilnehmer. Das aktuelle österreichische Marktmodell basiert auf folgenden Grundprinzipien [E-Control, 2013]:

- Der Bereich Netzbetrieb hat von den anderen Wettbewerbsbereichen, wie Erzeugung, Handel und Vertrieb getrennt zu erfolgen.
- Der sichere Betrieb des Netzes, die Messdatenerfassung und die Verwaltung der Netzbenutzerdaten liegt in der Verantwortung der Verteilnetzbetreiber.
- Übertragungsnetzbetreiber haben für den zuverlässigen Betrieb der Übertragungsnetze Sorge zu tragen. Darüber hinaus müssen sie in ihrer Rolle als Regelzonenführer, zu jedem Zeitpunkt die Ausgeglichenheit von Erzeugung und Verbrauch sicherstellen.
- Es erfolgt die Einführung eines sogenannten Bilanzgruppensystems, um Verbrauchern, Erzeugern, Lieferanten und Händlern die Abwicklung beliebiger Geschäfte untereinander zu ermöglichen.
- Jeder Netzbenutzer (Verbraucher oder Erzeuger) hat jeweils einen Vertrag mit den betroffenen Netzbetreiber und mit einem Lieferanten bzw. Händler seiner Wahl abzuschließen.
- Die in das Netz eingespeisten bzw. entnommenen Strommengen werden grundsätzlich als 1/4-Stundenwerte prognostiziert bzw. abgerechnet. Erzeuger und Verbraucher mit weniger als 50 kW Anschlussleistung oder weniger als 100.000 kWh Erzeugung bzw. Produktion pro Jahr (im wesentlichen Haushalte und Gewerbebetriebe) werden in der Regel aber nur einmal pro Jahr gemessen. Für alle anderen Netzbenutzer werden Erzeugung bzw. Verbrauch als 1/4-Stundenwerte erfasst.

3.1.2.1 Akteure am Strommarkt und deren Aufgaben

Durch die Liberalisierung der Energiemärkte wurden neue Marktteilnehmer und Rollen geschaffen und die Rechte und Pflichten der bestehenden Marktteilnehmer verändert. Im Folgenden werden die relevanten Marktteilnehmer beschrieben [E-Control, 2013]:

Netzbetreiber: Ein Betreiber eines Übertragungs- oder Verteilernetzes mit einer Nennfrequenz von 50 Hz. Der Netzbetreiber ist für die ordnungsgemäße Zählung, die vertrauliche Verwaltung der Daten der Netzbenutzer und die diskriminierungsfreie Übermittlung der Informationen an alle Marktteilnehmer verantwortlich und gewährleistet, dass nur Berechtigte die ihnen zustehenden Daten erhalten.

Übertragungsnetzbetreiber: Ist für den Betrieb, die Wartung sowie erforderlichenfalls den Ausbau des Übertragungsnetzes und gegebenenfalls der Verbindungsleitungen zu anderen Netzen, sowie für die Sicherstellung der langfristigen Fähigkeit des Netzes, eine angemessene Nachfrage nach

Übertragung von Elektrizität zu befriedigen, verantwortlich. Übertragungsnetzbetreiber in Österreich ist die Verbund-Austrian Power Grid AG.

Verteilnetzbetreiber: Der Betrieb, die Wartung sowie erforderlichenfalls der Ausbau des Verteilernetzes in einem bestimmten Gebiet und gegebenenfalls der Verbindungsleitungen zu anderen Netzen liegt in ihrem Verantwortungsbereich. Durch die Verknüpfungen mit dem Verbundnetz steht der Verteilebene ein stabiles Netz zur Verfügung, welches hohe Leistungen abgeben, aber auch aufnehmen kann. In Österreich gibt es 124 Verteilnetzbetreiber, wobei mehr als $\frac{3}{4}$ davon in der Steiermark beheimatet sind. Der VNB ist ebenso für die Spannungshaltung zuständig und muss mit seinen vorhandenen Mitteln die Spannung innerhalb der vorgeschriebenen Grenzen (EN50160) halten können. Zusätzlich kann es zu lokalen Überlastungen aufgrund von hohen Stromflüssen kommen, falls sich ungünstige Erzeuger/Verbraucher-Konstellationen ergeben.

Einspeiser: Ein Erzeuger oder ein Elektrizitätsunternehmen, der oder das elektrische Energie in das Stromnetz abgibt.

Regelzonenführer (RZF): Der für die Leistungs-Frequenz-Regelung in einer Regelzone verantwortliche Marktteilnehmer. Durch die Koordination von Regelkraftwerken ist sicherzustellen, dass ein Gleichgewicht zwischen Erzeugung und Verbrauch herrscht und die Soll-Netzfrequenz von 50 Hz eingehalten wird.

Bilanzgruppe: Zusammenschluss zwischen Lieferanten und Kunden zu einer virtuellen Gruppe innerhalb derer ein ausgeglichenes Verhalten zwischen Erzeugung und Verbrauch herrschen muss.

Bilanzgruppenkoordinator (BKO): Berechnet die Differenz zwischen Prognose der Bilanzgruppenverantwortlichen und den tatsächlichen Werten, die von den Netzbetreibern gemessen wurden und verrechnet die jeweils benötigte Ausgleichsenergie.

Bilanzgruppenverantwortlicher (BGV): Koordiniert die Vorgänge innerhalb seiner Bilanzgruppe.

Stromhändler: Eine natürliche oder juristische Person oder Erwerbsgesellschaft, die Strom in Gewinnabsicht verkauft.

Lieferant: Eine natürliche oder juristische Person, die Strom anderen natürlichen oder juristischen Personen zur Verfügung stellt.

Endverbraucher: Eine natürliche oder juristische Person, die elektrische Energie für den Eigenverbrauch kauft.

Die nachfolgende Abbildung 3.3 veranschaulicht das Zusammenspiel der unterschiedlichen Akteure des Strommarktes.

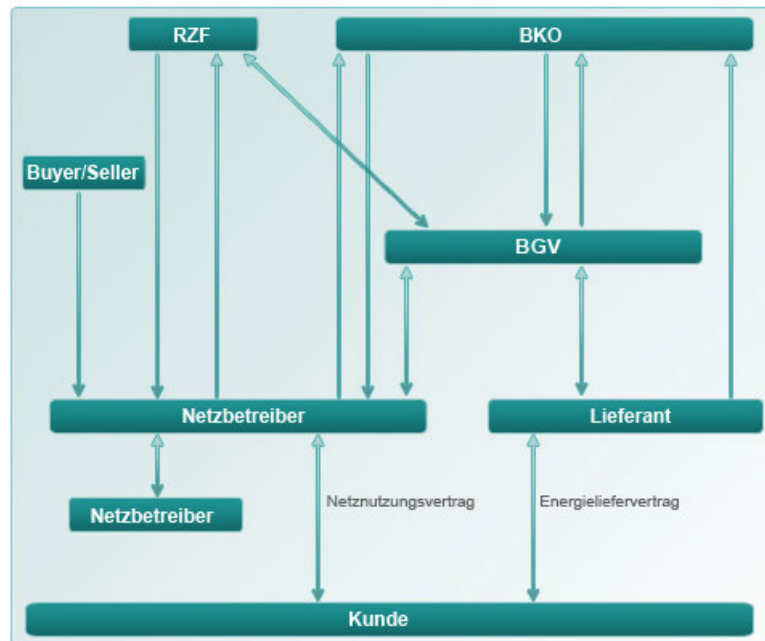


Abbildung 3.3: Schematische Darstellung des Strommarktes in Österreich

Quelle: [E-Control, 2015 a]

3.1.2.2 Regel- und Ausgleichsenergiemarkt

Für eine sichere Stromversorgung muss zu jedem Zeitpunkt exakt genau so viel Strom erzeugt werden, wie verbraucht wird. Es braucht ein Gleichgewicht, das den sicheren Betrieb des Stromnetzes bei einer konstanten Frequenz von 50 Hz gewährleistet.

Im europäischen Übertragungs- und Verbundnetz gewährleisten die Regelzonenführer über die Leistungs-Frequenz-Regelung die Funktionsfähigkeit und die Stabilität der Stromnetze. In Österreich übernimmt der Übertragungsnetzbetreiber die Verantwortung bzw. die Aufgaben des Regelzonenführers. Die Sicherstellung der Leistungsbilanz erfolgt durch Fahrplanmanagement und Netzregelung. Dem Regelzonenführer stehen dafür die Primärregelung, Sekundärregelung und Tertiärregelung (= Minutenreserven) als Werkzeuge zur Ressourcenverteilung zur Verfügung. Dabei werden Differenzen zwischen erzeugter und verbrauchter Leistung, die zu einer Änderung der Netzfrequenz führen, durch entsprechende Regelvorgänge bei Erzeugungseinheiten ausgeglichen. Der Begriff Regelenergie meint also die Abweichung einer Prognose in der Regelzone. Die Regelenergieressourcen unterscheiden sich grundsätzlich hinsichtlich der Aktivierungs- und Änderungsgeschwindigkeiten:

- Die Primärregelung stabilisiert innerhalb weniger Sekunden die Frequenz bei einem Leistungsungleichgewicht; wird automatisch wirksam.
- Die Sekundärregelung führt mit Zeitkonstanten im Minutenbereich die Frequenz wieder auf die Sollfrequenz zurück und stellt innerhalb ihrer Regelzone ein Leistungsgleichgewicht her. Die technische Präqualifikation sieht folgende Anforderungen vor [APG, 2011]:

Mindestregelband je technischer Einheit: ± 2 MW

- Mindestleistungsgradient je technischer Einheit: 2% der Nennleistung pro Minute

- Maximal 5 Minuten vom aktuellen Arbeitspunkt zu den Grenzen des Regelbandes des gesamten Pools
 - Volle Leistungs- und Arbeitsverfügbarkeit im vertraglichen Zeitraum
 - Mindestgebot eines Anbieters: 5 MW (Poolleistung)
- Die Tertiärregelung dient zur Ablösung der Sekundärregelung und wird üblicherweise manuell aktiviert. Für die Tertiärregelenergie wurde ein eigener Markt etabliert, über den die fehlende oder überschüssige Energie bezogen bzw. abgegeben werden kann. In diesem Markt können vom Regelzonenführer präqualifizierte Erzeuger und Verbraucher day-ahead Energie anbieten, die kurzfristig geliefert oder zusätzlich aufgenommen werden kann. Für die Aufbringung der Tertiärregelleistung erfolgt in der Regelzone APG, die Gesamtösterreich umfasst, eine Ausschreibung, bei der nach technischer Präqualifikation für Bezug bzw. Lieferung von Tertiärregelreserve teilgenommen werden kann. Die ausgeschriebenen üblichen Mengen in der Regelzone APG sind + 280 MW Leistungserhöhung (d.h. der Anbieter liefert an das Netz) und - 125 MW Leistungsreduktion (d.h. Anbieter entnimmt Energie aus dem Netz) [EIWOG, 2014]. Somit ist für bestimmte Verbrauchseinheiten eine Teilnahme an diesem Ausschreibungsverfahren möglich, sofern die geforderten Leistungsgradienten, Arbeitsverfügbarkeiten, Mindestleistungen und informationstechnischen Anbindungen gegeben sind. Es bestehen weiters folgende Voraussetzungen für die Teilnahme am Tertiärregelungsmarkt [APG, 2011]:
Mindestregelband je technischer Einheit: $\pm 0,5$ MW
 - Maximal 10 Minuten vom aktuellen Arbeitspunkt zu den Grenzen des Regelbandes des gesamten Pools
 - Volle Leistungs- und Arbeitsverfügbarkeit im vertraglichen Zeitraum
 - Mindestgebot eines Anbieters: 10 MW (Poolleistung)

Die Ausgleichsenergie dient ebenso wie die Regelenergie der Herstellung des Gleichgewichts zwischen Erzeugung und Verbrauch. Ausgleichsenergie wird durch eine Abweichung der Prognose in einer Bilanzgruppe verursacht. Der Differenzbetrag der Ausgleichsenergie für alle Bilanzgruppen einer Regelzone ergibt den Regelenergiebedarf. Einfacher ausgedrückt ergibt die Abweichung einer Prognose in der Regelzone einen Bedarf an Regelenergie und die Abweichung der Prognose in einer Bilanzgruppe ist die Ausgleichsenergie [E-Control, 2015 b].

3.2 Grundsätzliches zu Lastverschiebung bei Abwasserreinigungsanlagen

3.2.1 Energiebedarf auf Kläranlagen

In Österreich sind 94,5 % der Bevölkerung an ein öffentliches Kanalnetz mit kommunaler Kläranlage angeschlossen. Gemäß dem österreichischen Bericht zur kommunalen Abwasserrichtlinie der EU sind derzeit 1.842 Kläranlagen unterschiedlicher Größenklassen in Betrieb, was einer vorhandenen Ausbaupazität von insgesamt rund 21,6 Mio. EW₆₀ entspricht [BMLFUW, 2014].

In der Regel sind Abwasserreinigungsanlagen die größten Stromverbraucher im kommunalen Bereich (siehe Abbildung 3.4).

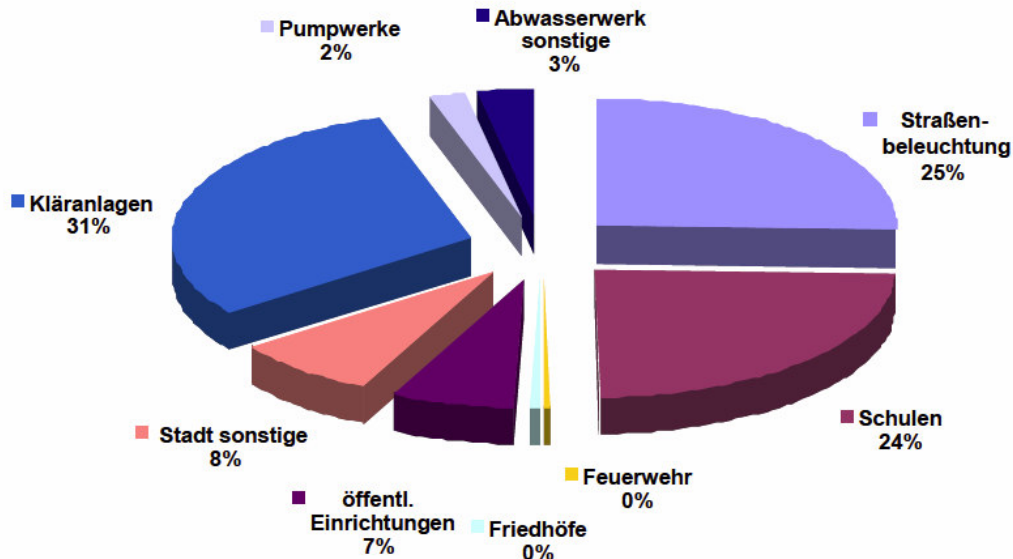


Abbildung 3.4: Kommunalen Stromverbrauch

Quelle: [Seibert-Erling, 2010]

Vor diesem Hintergrund wurde in den 1990-er Jahren, zunächst in der Schweiz, in der Folge in Deutschland und in Österreich begonnen „Energieanalysen“ auf kommunalen Kläranlagen durchzuführen mit dem Ziel ihren Energiebedarf zu reduzieren. In Österreich wurde das erste Projekt zu diesem Thema in den Jahren 1999 bis 2001 abgewickelt [Agis, 2001] [Agis, 2002] [Kroiss und Nowak, 2001] [Nowak, 2002]. In den folgenden Jahren wurden zahlreiche weitere Arbeiten über Energieanalysen und die Energieoptimierung von kommunalen Kläranlagen durchgeführt. Mittlerweile gibt es in Österreich zwei kommunale Kläranlagen mit einer Reinigungsleistung entsprechend den hohen österreichischen Standards, welche im Jahresmittel ohne den Einsatz nicht-abwasserbürtiger Energiequellen als „energieautark“ zu bezeichnen sind [Nowak et al., 2011].

Durch die zahlreichen Projekte zur Energieoptimierung von Kläranlagen verfügt man inzwischen über einen hohen und detaillierten Kenntnisstand in Hinblick auf

- den Energiebedarf einzelner Teilprozesse kommunaler biologischer Kläranlagen sowie auf
- die „Benchmarks“ für den Energieverbrauch dieser Teilprozesse, wobei zwischen den unterschiedlichen Anlagentypen und den verschiedenen Größenklassen unterschieden werden muss.

Der Jahresstromverbrauch aller kommunalen Kläranlagen Österreichs ist seit Jahren weitgehend konstant und betrug 2011 ca. 550 GWh/a [Lindtner, 2012]. Dies entspricht etwa der Hälfte der erzeugten Elektrizität des Kraftwerkes Freudenu [Lindtner, 2010]. Bei der Eigenstromabdeckung (ca. 130 GWh/a;

siehe Abbildung 3.5) ist zu beachten, dass bei Kläranlagen unter ca. 20.000 EW eine Stromerzeugung mittels BHKW nach dem derzeitigen Stand der Technik als nicht wirtschaftlich angesehen wird.

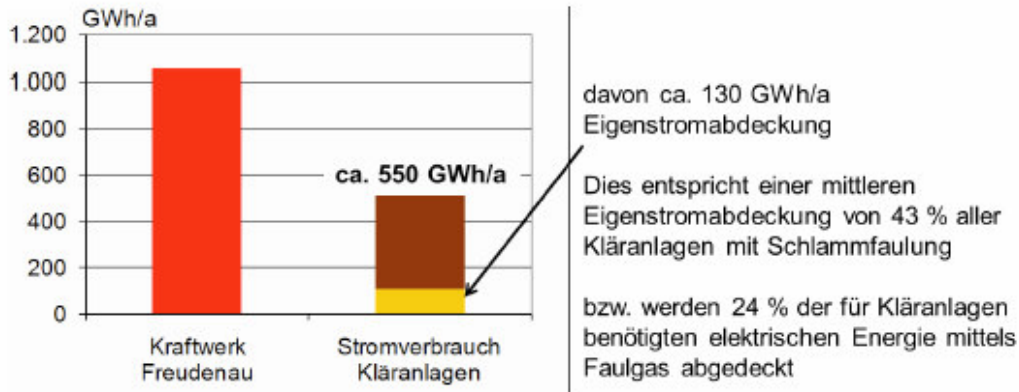


Abbildung 3.5: Jahresstromverbrauch aller kommunalen Kläranlagen in Österreich

Quelle: [Lindtner, 2010]

In Österreich wurden im Mittel der Jahre 2008 und 2009, auf die sich die Angabe von „ca. 550 GWh/a“ bezieht, insgesamt von „Endverbrauchern“ 61,7 TWh/a an elektrischem Strom verbraucht. In Haushalten wurden im gleichen Zeitraum 10,3 TWh/a verbraucht. Demnach entspricht der Stromverbrauch der kommunalen Kläranlagen etwa 0,9 % des gesamten Stromverbrauchs bzw. ca. 4,2 % des Stromverbrauchs der Haushalte. Insgesamt wurde für die Summe der kommunalen Kläranlagen Österreichs ein Einsparpotenzial von 137 GWh/a (entspricht ca. 17.700 t CO₂) bzw. rund 25 % ausgemacht [Lindtner, 2010] [Lindtner, 2012].

3.2.2 Voraussetzungen für Lastverschiebung auf Kläranlagen

Bevor man in einem konkreten Anwendungsfall über Lastverschiebung nachdenkt, ist einerseits

- sicherzustellen, dass die gemessene Anlagenbelastung der Realität entspricht – und andererseits ist jedenfalls
- eine detaillierte Energieanalyse durchzuführen.

Die Verifikation der Belastungsdaten sollte vorzugsweise anhand von Bilanzierungen erfolgen, wie in früheren Publikationen erläutert (z.B. [Nowak, 1997]; [Nowak et al., 1999b]). Zusätzlich sollten zur Überprüfung der Anlagenbelastung (CSB-Zulaufkraft) die spezifische Fracht an organischer Substanz (oTS) im Klärschlamm herangezogen werden. Für Kläranlagen mit „vollständiger Schlammstabilisierung“, d.h. mit beheizter Schlammfäulung, gilt, dass die zu erwartende spezifische oTS-Fracht im Klärschlamm bei rund 18 g oTS/(EW.d) liegt – bezogen auf eine spezifische Zulaufkraft von 110 g CSB/(EW.d) [Nowak, 1995]; [Nowak et al., 1996]. Bei Kläranlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung ist die spezifische oTS-Fracht im Überschussschlamm abhängig vom Schlammalter sowie von der durchschnittlichen Temperatur im Belebungsbecken über den Bilanzzeitraum. In Abhängigkeit von diesen Parametern (Schlammalter und Temperatur im

Belebungsbecken) liegt auch bei Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung die spezifische Klärschlammfracht in einem relativ engen Bereich [Nowak et al., 1999a]; [Nowak, 2002].

Bei der detaillierten Energieanalyse wird von den einzelnen Teilprozessen der Stromverbrauch erfasst, entweder über die Erfassung der Betriebsstunden und die Messung der Stromaufnahme von Hand oder – vorzugsweise – durch eine kontinuierliche Strommessung. Bislang wird außer dem Gesamtstromverbrauch der Kläranlage in der Regel lediglich der Energieverbrauch der biologischen Stufe gemessen, worunter der Stromverbrauch für die Belüftung und für die Umwälzung des Belebungsbeckens verstanden wird. Als für die Energieanalyse sehr nützlich erweist sich jedenfalls die Aufzeichnung der Betriebsstunden von allen Aggregaten, die eine nennenswerte elektrische Leistung aufweisen. Die Ergebnisse dieser detaillierten Energieanalyse können dann mit gängigen Literaturwerten [Agis, 2002]; [Nowak, 2003]; [Lindtner, 2008] für den zu erwartenden spezifischen Energieverbrauch einzelner Teilprozesse verglichen werden.

Die Energieanalyse ist erforderlich, da es verständlicherweise keinen Sinn macht über Lastverschiebung, d.h. über das bewusste Variieren und Verschieben des Stromverbrauchs von einzelnen Anlagenteilen bzw. Teilprozessen im Tagesverlauf nachzudenken, wenn noch keine Energieoptimierung, soll heißen keine Minimierung des Stromverbrauchs, auf der Kläranlage vorgenommen wurde. Die Erfahrung zeigt, dass auch Prozessstufen bzw. Aggregate, die hinsichtlich ihres Stromverbrauchs von vermeintlich untergeordneter Bedeutung sind, wie z.B. das Sandfanggebläse, die Nutzwasserpumpen für die Bereitstellung von Waschwasser im Bereich der maschinellen Überschussschlammeindickung bzw. Schlamm entwässerung, einen ungerechtfertigt hohen Energieverbrauch hervorrufen können.

Die nachfolgenden Ausführungen der Abschnitte 3.2.3 und 3.2.4 basieren auf den Workshops und Gesprächen mit österreichischen Kläranlagenbetreibern hinsichtlich der Variabilität der Teilprozesse und Aggregate auf Kläranlagen.

3.2.3 Möglichkeiten der Lastverschiebung in der Abwasserlinie

Die größten Stromverbraucher auf der Kläranlage sind die Belüftung des Belebungsbeckens, in der Regel gefolgt von den Aggregaten zur Umwälzung des Belebungsbeckens. Daneben sind in der Abwasserlinie einer Kläranlage noch die (quasi) kontinuierlich betriebenen Pumpen des Abwasserhebewerks (Zulaufpumpen) und der Rücklaufschlammförderung hinsichtlich ihres Stromverbrauchs von Relevanz.

3.2.3.1 Belebungsbecken - Belüftung

Bei der Belüftung des Belebungsbeckens gilt, dass heute außer den Oberflächenbelüftern (Mammutrotoren, Kreiselbelüfter) auch die meisten „Gebälse“ (Luftverdichter) in Hinblick auf ihre Abnutzung relativ bedenkenlos kurzfristig zu- und abgeschaltet werden können. Dies gilt bei den

Luftverdichtern weitgehend uneingeschränkt für Drehkolbenverdichter, aber nach Herstellerangaben auch für Turboverdichter neuerer Bauart.

Festzuhalten ist, dass es für die Frage, ob die Belüftung in Hinblick auf die Einhaltung der Emissionswerte über einen längeren Zeitraum (d.h. ein bis mehrere Stunden) abgestellt werden kann, neben der Konzeption des Belebungsbeckens insbesondere die Belastung des Belebungsbeckens bzw. das Schlammalter von entscheidender Bedeutung ist. Bei sehr schwach belasteten Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung mit einem Schlammalter von 40 Tagen und mehr besteht die Möglichkeit die Belüftung über lange Zeiträume während der Nachtstunden abzustellen. Dies ist bei Belebungsanlagen mit getrennter Schlammstabilisierung (z.B. Schlammfäulung) und entsprechend spezifisch kleinerem Belebungsbecken nicht in gleicher Weise möglich.

3.2.3.2 Belebungsbecken – Umwälzung (Rührwerke)

Die Rührwerke zur Umwälzung des Belebungsbeckens rufen insbesondere bei spezifisch großen Belebungsbecken, wenn sie ständig in Betrieb sind, einen erheblichen Stromverbrauch hervor. Bei den meisten Belebungsbecken können die Rührwerke während der Belüftungsphasen abgestellt werden. Die einzige Ausnahme stellen Umlaufbecken dar, die nur auf einer Seite mit Druckbelüftung ausgestattet sind, bzw. Umlaufbecken, bei denen der Ablauf in der Nähe des Zulaufs angeordnet ist.

Sind die Rührwerke für einen längeren Zeitraum (mehrere Stunden) abgestellt, wodurch sich der Belebtschlamm absetzt, ist davon auszugehen, dass bei Wiederinbetriebnahme der Belebtschlamm problemlos wieder in Schwebe gebracht werden kann. Zu bedenken ist allerdings, dass durch das Entmischen von Belebtschlamm und Abwasser, wenn nach Abstellen der Rührwerke nach einer gewissen Zeit (ca. 10 ÷ 15 min.) der Belebtschlamm abzusetzen beginnt, die mikrobiologische Aktivität weitgehend zum Erliegen kommt, zumal die Mikroorganismen nicht mehr (gut) an die im Abwasser gelösten Substrate gelangen.

Je nach Beckenkonfiguration kann statt durch Umwälzung mittels Rührwerken der Belebtschlamm auch durch „Stoßbelüftung“ in Schwebe gebracht bzw. auch weitgehend in Schwebe gehalten werden. Unter „Stoßbelüftung“ ist in diesem Zusammenhang ein kurzes „Auflüften“ alle 20 Minuten für die Dauer von etwa 1 bis 2 Minuten zu verstehen.

3.2.3.3 Rücklaufschlammumpen

Bei der Rücklaufschlammförderung ist zu beachten, dass diese nur dann für eine gewisse Zeit abgestellt werden kann, wenn es nur wenig Zulauf gibt bzw. auch der Zulauf abgestellt ist. Ein Abschalten der Rücklaufschlamm-Pumpen für eine Dauer von 1 bis 2 Stunden bei geringem Zulauf wird in der Regel kein Problem darstellen. Ob die Rücklaufschlammumpen für eine längere Zeit abgestellt werden können, hängt wiederum von der Größe der Belebungsbecken und der Kapazität der Nachklärbecken ab. Bei kleineren Vorbecken (Selektor oder kleines Denitrifikationsbecken) ist ein Abstellen der Rücklaufschlamm-Pumpen, falls gleichzeitig Abwasser dem Belebungsbecken zufließt, problematisch, weil die Gefahr besteht, dass der TS-Gehalt in dieser kleinen Belebungsbecken-Kaskade dann zu stark abfällt.

Generell ist bei der Rücklaufschlammförderung darauf zu achten, dass die TS-Konzentration im Belebungsbecken weitgehend konstant bleibt und dass im Nachklärbecken ein kritischer Schlamm Spiegel (Höhe des Schlammbetts) nicht überschritten wird.

3.2.3.4 Zulaufpumpwerk

Beim Abwasserhebewerk wird ein kurzfristiges Abstellen der Zulaufpumpen (ca. ein halbe Stunde) im Allgemeinen möglich sein. Dies ist jedoch stark abhängig vom vorgelagerten Zulaufkanal zur Kläranlage. Ein Übertreten von Abwasser über Mischwasserüberläufe in das Gewässer bzw. in Keller von Häusern ist jedenfalls zu vermeiden. Ob ein längerfristiges Ausschalten der Zulaufpumpen möglich ist, ist von der örtlichen Situation abhängig.

Auswirkungen auf den nachgelagerten biologischen Reinigungsprozess werden nicht beobachtet, jedenfalls nicht bei einem Abstellen des Zulaufs über 1 (bis 2) Stunden.

3.2.3.5 Sandfang

Erfahrungsgemäß kann auch das Sandfanggebläse einen erheblichen Stromverbrauch hervorrufen. Es kann aber in der Regel nicht zu- und abgeschaltet werden, sondern es sollte betrieblich mittels Frequenzumformer (FU) die optimale Strömung eingestellt werden, bei der es weder zum Absetzen organischer Stoffe noch zu einem Ausschwemmen der mineralischen Stoffe („Sand“) kommt und außerdem, so ein Fettfang integriert ist, das Fett in zufriedenstellender Weise dort zurückgehalten wird.

3.2.3.6 Auswirkung Mischwasserzufluss

Zu beachten ist, dass bei Mischwasserzufluss, insbesondere in den ersten etwa ein bis vier Stunden nach Beginn des Regenereignisses je nach Konzeption der Kläranlage, eine „Lastverschiebung“ nicht in gleicher Weise möglich ist wie bei Trockenwetterzufluss. Es muss mehr Abwasser gepumpt werden und es kommt auch frachtmäßig eine Stoßbelastung auf die Kläranlage, die eine intensivere Belüftung (bzw. längere Belüftungsphasen) erfordert. Damit erhöht sich auch der Energiebedarf für die Belüftung der Belebungsbecken. Insgesamt sind bei starkem Abwasserzufluss die Möglichkeiten der Lastverschiebung eingeschränkt.

3.2.4 **Möglichkeiten der Lastverschiebung bei der Schlammbehandlung**

Die wesentlichen Stromverbraucher im Bereich der Schlammbehandlung sind die Schlammmentwässerung, allenfalls die maschinelle Überschussschlammeindickung (MÜSE) sowie die Umwälzeinrichtungen der Schlammfäulung.

3.2.4.1 Schlammmentwässerung

Bei der maschinellen Schlammmentwässerung ist hinsichtlich der Möglichkeiten und Dauer des Abstellens zwischen den unterschiedlichen Aggregat-Typen zu unterscheiden:

- Bei der Schneckenpresse dauert der Anfahrbetrieb relativ lange, wobei von 2 bis 3 Stunden auszugehen ist. Das gleiche gilt für das Abstellen der Anlage. Kurzfristige Stillstände von mehreren Stunden sind aber grundsätzlich möglich, aber auch dann ist für das Abstellen und Anfahren der Anlage mit etwa 15 bis 30 Minuten zu rechnen. Der Energieverbrauch ist bei diesem Aggregat allerdings vergleichsweise gering.
- Die Zentrifuge (Dekanter) weist demgegenüber einen nennenswerten Energieverbrauch auf. Wie die Schneckenpresse wird die Zentrifuge kontinuierlich betrieben. Ein kurzfristiges Abschalten ist auch hier nicht möglich, da das „Abfahrprogramm“ etwa eine halbe Stunde dauert. Die Zentrifuge ist daher nur längerfristig zu- und abschaltbar.
- Die Kammerfilterpresse wird diskontinuierlich betrieben. Sie wird befüllt und entleert. Beim Füllvorgang können die Beschickungspumpen für einen Zeitraum von bis zu 2 Stunden abgestellt werden. Es wurde die Erfahrung gemacht, dass sich bei einer längeren Dauer des Abstellens der Beschickungspumpen an den Außenflächen des Schlammkuchens eine feste Schicht bildet, die das Austreten des Schlammwassers aus dem Inneren des Schlammkuchens unterbindet, was zu einem sehr schlechteren Entwässerungsergebnis führt.

3.2.4.2 Maschinelle Überschussschlamm-Eindickung (MÜSE)

Die maschinelle Überschussschlammeindickung weist zwar einen relativ geringen, aber keinen vernachlässigbaren Energieverbrauch auf.

Allgemein kann gesagt werden, dass bei der MÜSE das Lastverschiebungspotenzial von der Kapazität dieses Aggregates in Relation zum Überschussschlammmanfall abhängt. Zudem ist die Kapazität der maschinellen Überschussschlammeindickung auch vom Schlammindex abhängig. Ein Abstellen der MÜSE ist grundsätzlich möglich, sollte aber nicht öfter als einmal am Tag erfolgen. Bei ausreichender Kapazität der MÜSE kann diese z.B. für einen halben Tag abgestellt werden. Es muss aber gleichzeitig sichergestellt sein, dass die Schlammfäulung gleichmäßig bzw. regelmäßig verteilt über den Tag mit Überschussschlamm beschickt wird.

3.2.4.3 Schlammfäulung

Die wesentlichen Stromverbraucher in einer Schlammfäulungsanlage sind die interne und die externe (außenliegende) Umwälzung.

Eine gute und ausreichende außenliegende Umwälzung ist einerseits erforderlich um das Aufheizen des Schlammes bzw. die Wärmezufuhr in den Faulbehälter sicherzustellen und andererseits um den Rohschlamm (das Substrat) in der Umwälzleitung in einem ausreichenden Verhältnis mit Faulschlamm (den Mikroorganismen) zusammenzubringen, also zu vermischen. Die externe Umwälzung kann daher abgestellt werden, wenn in der verbleibenden Zeit die erforderliche Wärme eingebracht werden kann. Da die Beschickung der Fäulung mit Rohschlamm, insbesondere mit Primärschlamm, möglichst kontinuierlich erfolgen soll, dürfen die Intervalle von Zu- und Abschalten der Umwälzpumpen nicht allzu lang sein. Bewährt hat sich z.B. ein Intervallbetrieb mit einer 1 Stunde Betrieb und 1 Stunde Pause.

Ein größeres Einspar- und Lastverschiebungspotenzial besteht im Allgemeinen bei der internen Umwälzung, wobei die entsprechenden Aggregate (Rührwerke, Schraubenschaufler, Gaseinpressung) auf vielen Kläranlagen wesentliche Stromverbraucher sind. Generell wurde die Erfahrung gemacht, dass die interne Umwälzung im Wesentlichen dafür benötigt wird Ablagerungen möglichst hintanzuhalten – insbesondere bei Schlammfäulungsanlagen, die mit Co-Vergärung betrieben werden. Für eine gute Vermischung des Faulschlamm, bzw. der darin enthaltenen Biomasse, mit dem Substrat Rohschlamm ist ja bereits bei der Einbringung des Rohschlamm in den Faulbehälter zu sorgen. Zudem führt die Gasproduktion durch das Aufsteigen der Gasbläschen auch zu einer Umwälzung des Inhalts des Faulbehälters. Im Allgemeinen reicht es aus, die interne Umwälzung 2 bis 4 Stunden pro Tag zu betreiben. Bei Faulbehältern mit einer langen Aufenthaltszeit jenseits von 40 Tagen wird die interne Umwälzung zum Teil nur dann betrieben, wenn kurzfristig mehr Gas zur Energieerzeugung benötigt wird. Generell wurde festgestellt, dass die Intensität der internen Umwälzung über einen längeren Zeitraum betrachtet keinen Einfluss auf die Gasproduktion hat. Der Betrieb bzw. die Intensivierung des Betriebes der entsprechenden Aggregate führt lediglich zu einer kurzfristigen Steigerung der Gasproduktion.

Die Beschickungspumpen für Primärschlamm und Überschussschlamm können grundsätzlich abgestellt werden. Es ist allerdings zu beachten, dass die Beschickung der Schlammfäulung mit dem Substrat, dem Rohschlamm, insbesondere dem Primärschlamm, möglichst kontinuierlich erfolgen sollte.

3.2.5 Variabilität des Betriebs von BHKWs zur elektrischen Nutzung des Faulgases

Es gibt natürlich auch andere Wege das anfallende Faulgas effizient zu verwerten, wie z.B. die direkte Verwendung als Primärenergieträger oder die Erzeugung von „Bio-Methan“, aber die Nutzung zur Stromerzeugung direkt auf der Kläranlage wird in den meisten Fällen die sinnvollste Variante darstellen.

Diese wird im Regelfall mittels Blockheizkraftwerk (BHKW) erfolgen, wobei heute schon für kleinere Kläranlagen mit Schlammfäulung Aggregate mit relativ geringer Leistung von weniger als 20 kW_{elektrisch} mit einem hohen Wirkungsgrad zur Verfügung stehen.

Es steht außer Frage, dass ein Blockheizkraftwerk (BHKW) dann am effizientesten in Hinblick auf die spezifischen Gestehungskosten je erzeugter Kilowattstunde elektrisch betrieben wird, wenn es ohne Unterbrechung – außer zu Wartungszwecken – mit der Nennlast, d.h. auf voller Leistung, betrieben wird. Nun ist es schon im Normalbetrieb einer Kläranlage aufgrund des schwankenden Faulgasanfalls nicht möglich ein BHKW stets mit voller Leistung zu betreiben, es sei denn, das BHKW ist zu klein dimensioniert und das überschüssige Faulgas wird „abgefackelt“.

Grundsätzlich sind bei BHKWs hinsichtlich einer variablen Betriebsweise durch Teillastbetrieb oder durch häufiges An- und Abstellen folgenden Faktoren zu beachten:

- Verminderung des Wirkungsgrads im Teillastbetrieb
- Betriebsaufwendungen, wie Ölwechsel, Wechsel der Zündkerzen bzw. des Zylinderkopfes beziehen sich auf die Betriebsstunden des BHKWs und nicht auf die gewonnene elektrische Energie.

- Allzu lange Phasen mit Teillastbetrieb, zu häufige Starts und allgemein zu wenige Betriebsstunden pro Jahr reduzieren die Lebensdauer des BHKWs bezogen auf die Gesamtdauer der Betriebsstunden.

Während die ersten Faktoren (Wirkungsgrad bei Teillastbetrieb und Betriebsaufwendungen) monetär hinterlegt werden können, ist das beim letzten Punkt (Verminderung der Lebensdauer) nicht einfach möglich, es sei denn, es wurde ein Wartungsvertrag abgeschlossen, der sich verteuert, wenn die angeführten Parameter über- bzw. unterschritten werden.

Grundsätzlich ist es bei den meisten BHKWs heute möglich, diese kontinuierlich mit schwankender Leistung bis etwa 50 % der Nennleistung zu betreiben und auf diese Weise die Stromproduktion dem Bedarf bzw. dem Gasanfall anzupassen. Beim elektrischen Wirkungsgrad im Teillastbetrieb ist allerdings zwischen

- BHKWs mit Saugmotor – und
- BHKWs mit Turbolader zu unterscheiden.

Während sich bei BHKWs mit Turbolader der elektrische Wirkungsgrad im Teillastbetrieb kaum reduziert (z.B. von 35 % bei Nennlast auf 33,5 % bei 50 % der Nennleistung), geht bei BHKWs mit Saugmotor, d.h. ohne Turbolader, der elektrische Wirkungsgrad deutlich zurück (z.B. von 34 % bei Nennlast auf 27 % bei 50 % der Nennleistung). Um die Wirtschaftlichkeit eines Teillastbetriebs bzw. eines häufigen An- und Abstellens eines BHKWs beurteilen zu können müssen alle die angesprochenen Faktoren berücksichtigt und bewertet werden. Zudem ist zu beachten, dass nach Herstellerangaben viele BHKWs nach einem Neustart über eine gewisse Zeit (z.B. für 6 Stunden) betrieben werden müssen.

3.3 Rahmenbedingungen aus Sicht der Netzbetreiber / EVUs zur Durchführung von Lastverschiebungsmaßnahmen bei Kläranlagen

Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf den Erkenntnissen aus den Gesprächen mit den Stromnetzbetreibern bzw. Energielieferanten.

3.3.1 Vorteile durch Lastverschiebungsmaßnahmen für Netzbetreiber

Netzbetreiber unterliegen den Vorgaben der Regulierungsbehörde und müssen mit den Erlösen des Netznutzungs- und Verlustentgeltes wirtschaften. Zudem sind sie verpflichtet, Ausfallzeiten gering zu halten und die Zuverlässigkeit der Spannungsversorgung zu gewährleisten.

Die Vorteile von Lastverschiebung für Stromnetzbetreiber sind zum einen die Behebung netzseitiger Engpässe, sowie auch die konstante Auslastung der Netze, die aufgrund des steigenden Anteils dezentraler Einspeiser eine große Herausforderung darstellt.

Lastverschiebungsmaßnahmen werden insbesondere als ein wichtiges Instrument zur Erreichung der EU 20-20-20-Ziele gesehen. So hält die Energieeffizienzrichtlinie (RL 2012/27/EU) folgendes fest:

Die Laststeuerung (engl. Demand Response, Anm. d. Verf.) ist ein wichtiges Instrument zur Verbesserung der Energieeffizienz, da sie den Verbrauchern oder von ihnen benannten Dritten erheblich mehr Möglichkeiten einräumt, aufgrund von Verbrauchs- und Abrechnungsinformationen tätig zu werden; sie liefert somit einen Mechanismus, um den Verbrauch zu verringern oder zu verlagern, was zu Energieeinsparungen sowohl beim Endverbrauch als auch — durch bessere Nutzung der Netze und Erzeugungskapazitäten — bei der Energieerzeugung, -übertragung bzw. -fernleitung und -verteilung führt.

Die Erhöhung der Flexibilität der Nachfrageseite ist demnach aus Sicht der EU, als auch aus Sicht der Stromnetzbetreiber, eine Möglichkeit den ansonsten notwendigen Netzausbau zu vermeiden bzw. zu verzögern, sowie den Bau zusätzlicher fossiler Erzeugungskapazitäten zu reduzieren. Um ein Maximum der bereitgestellten erneuerbaren Energiequellen zu nutzen, kann Lastverschiebung eine Anpassung des Verbrauchs an die Erzeugerkurve leisten.

Ein weiterer positiver Aspekt ist der Beitrag zur Versorgungssicherheit, da verbraucherseitige Maßnahmen gezielt einsetzbar sind, um in Ausnahmesituationen des Übertragungsnetzes effektiv reagieren zu können [Gutschi & Stigler, 2008]. Denn der Netzbetreiber muss auch bei kritischer Auslastung die Netzkapazität gewährleisten können.

3.3.2 Positive Aspekte durch Lastverschiebung für Energieversorger

Die Vorteile für Energieversorger ergeben sich einerseits in Hinblick auf den Ausgleich von Erzeugung und Nachfrage, da so bei entsprechend großen Lastverschiebungspotenzialen der Bau von Spitzenlastkraftwerken vermieden bzw. verzögert werden kann. Neben der Verringerung der Spitzenlast und der dafür notwendigen Kraftwerkskapazitäten kann durch die Flexibilisierung der Nachfrage, d.h. die Verschiebung des Verbrauchs von Spitzenlast- in Niederlastzeiten, eine Vergleichmäßigung des Lastprofils erreicht werden. Dies hat eine bessere Auslastung der Kraftwerke zur Folge.

Zum anderen könnte sich für Energieversorger ein Wettbewerbsvorteil ergeben, da durch Lastverschiebung eine größere Flexibilität gegeben ist und daher eine stärkere Kundenbindung erfolgen kann. Im Gegensatz zu Netzbetreibern ist es für Energieversorger aus rechtlicher und regulatorischer Sicht einfacher möglich neue Geschäftsmodelle zu entwickeln bzw. monetäre Anreize zu schaffen (siehe Abschnitt 3.4.2).

3.3.3 Anforderungen an bzw. Herausforderungen für Abwasserreinigungsanlagen aus Sicht der Netzbetreiber

Kläranlagenbetreiber haben das Ziel bzw. den klaren Auftrag zur Reinigung von Abwasser. Diese Aufgabe hat bei allen Betreibern immer höchste Priorität, andere Themen wie Energieoptimierung oder Lastverschiebung haben sich dem unterzuordnen. Um mögliche Lastverschiebungspotenziale bei Kläranlagen nutzen zu können, bestehen vor allem in Hinblick auf die IKT-Infrastruktur vor Ort und den Schnittstellen zwischen Netzbetreiber und Kunden große Anforderungen.

Eine wichtige Voraussetzung ist, dass die Anlagenbetreiber hinsichtlich der (energetischen) Prozesse Bescheid wissen (energetische Optimierung des Betriebs muss durchgeführt werden) bzw. im Idealfall

ein Energiemanagementsystem in der Kläranlage vorhanden ist. Ebenso muss eine Lastprofilmessung erfolgen und das Potenzial muss bekannt sein.

Die größte Herausforderung sehen die Netzbetreiber in der Planbarkeit und Flexibilität der Prozesse bzw. Lasten, da die Potenziale auf lokaler Ebene meist sehr kurzfristig zu einem bestimmten Zeitpunkt zur Verfügung stehen müssen.

3.3.4 Kommunikation im Zuge der Durchführung von Maßnahmen zur Lastverschiebung

Einig sind sich die Anlagenbetreiber und Stromnetzbetreiber darüber, dass die Schaltung der Lastverschiebung vom Netzbetreiber erfolgen muss, da nur dieser einen Überblick über die Situation im Verteilnetz hat. Beispielhaft für eine derartige Kommunikation können bereits durchgeführte Lastverschiebungsmaßnahmen bei Industriebetrieben genannt werden, die im Rahmen eines Projektes der Salzburg AG durchgeführt wurden (siehe Abbildung 3.6).



Abbildung 3.6: Kommunikation der Lastverschiebung in der Industrie

Quelle: in Anlehnung an [Salzburg AG, 2013]

Ebenso stimmen die befragten Netzbetreiber darin überein, dass die Datenverwaltung vom jeweiligen Netzbetreiber erfolgen muss, da dieser zur sicheren Versorgung und Messdatenerfassung gesetzlich verpflichtet ist.

Die Information, dass ein Lastverschiebungspotenzial vorhanden ist, muss vom Kunden kommen, da nur dieser den Ablauf der Prozesse in der Anlage kennt. Es müsste demnach eine entsprechende IKT-Infrastruktur in den Anlagen installiert werden. Es ist in diesem Zusammenhang mindestens eine Lastprofilmessung, aber besser noch eine Echtzeit-Daten-Erfassung erforderlich (Stichwort: Smart Meter).

Voraussetzung für die Durchführung einer nachfrageseitigen Lastverschiebung ist daher die Nutzung von intelligenten Stromzählern. Neben einer effizienten Steuerung der vernetzten Komponenten ist das flexible Lastmanagement somit nur im Rahmen von Smart Grids möglich.

3.3.4.1 Exkurs: Anforderungen an die Kommunikationsinfrastruktur

Für den Datentransport in Smart Grids kommen neben den Infrastrukturnetzen auch die Telekommunikationsnetze in Frage. Dabei stellen sich für die Datenübertragung grundsätzlich die Frage der ökonomischen Effizienz und andererseits auch die Frage der faktischen Zugangsmöglichkeiten und technischen Schnittstellen.

Durch die zunehmende Vernetzung der IKT mit dem Energiebereich treten viele verschiedene Akteure auf den Markt, wobei es allen Akteuren offen stehen sollte, die notwendige Infrastruktur aufzubauen bzw. die existierende Infrastruktur zu nutzen. Allerdings gilt es die grundlegenden Eigenschaften einzuhalten, um den störungsfreien Betrieb der Stromnetze sicherzustellen. Folgende zwei Möglichkeiten sind dabei für die Datenübermittlung im Rahmen von Smart Grids denkbar [Bremer Energie Institut et al, 2012]:

- (1) Die Energieversorger verfügen über eigene, von den öffentlichen Kommunikationsnetzen unabhängige Möglichkeiten zum Datentransport. Ein geschlossenes System ist aus Sicht der Energieversorgungsunternehmen sinnvoll, da dadurch die Ausfalls- und Datensicherheit gewährleistet werden. Demzufolge könnte diese bei einer Integration von mehreren Infrastrukturen, sofern beim Datentransport auch auf öffentliche Infrastruktur zurückgegriffen würde, durch den Netzbetreiber nicht mehr gewährleistet werden. Derzeit basieren etwa 70 % der laufenden Smart Meter Vorhaben der Verteilnetzbetreiber in Österreich auf der Powerline Carrier (PLC)4-Technologie.
- (2) Vertretern der Telekommunikationsbranche hingegen sind der Meinung, dass moderne Breitband-Kommunikationsnetze im Mobilfunk und Festnetz höhere Datenübertragungsraten bei vergleichbarem Sicherheitsniveau bieten, als die PLC4-Technologie. Ein weiteres Argument ist, dass man in den elektronischen Kommunikationsmärkten erfahrener im Umgang mit Sicherheitsaspekten der Datenübertragung ist, weshalb bereits entsprechend hochentwickelte Lösungskonzepte (closed networks, virtuelle Kanäle, diverse Verschlüsselungstechnologien) zur Verfügung stehen. In Hinblick auf potentielle Netzinvestitionen stünden breitbandige Kommunikationsnetze bereits zur Verfügung bzw. wären die darauf aufbauenden Netzausbaukosten, um den effizienten Datentransport in Smart Systems zu gewährleisten sehr gering.

Fraglich ist, ob Energieversorgungsunternehmen an einer Integration von Strom- und Datennetzen in Form einer marktorientierten Kooperation mit Kommunikationsbetreibern interessiert sind. Laut [Bremer Energie Institut et al, 2012] ist aus derzeitiger Sicht Für die Mehrzahl der (größeren) EVUs von einem eher geringem Kooperationsinteresse auszugehen.

3.3.5 **Erforderliche Anpassung der rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen um Investitionen in intelligente Verteilnetze von Netzbetreibern voranzutreiben**

Alle Akteure sind sich einig, dass die Etablierung smarter Komponenten im Stromnetz eine zentrale Voraussetzung für die Durchführung von Lastverschiebungsmaßnahmen ist. Die Regelung der Netzinvestitionsanreize erfolgt in der Verordnung SNT-VO 2010. Diese erlaubt den Netzbetreibern anfallende Investitionskosten (auf Ist-Kostenbasis) zeitgleich und ohne explizite Effizienzüberprüfung der

E-Control in die Erlösobergrenze weiterzureichen (der sogenannte Investitions- und Betriebskostenfaktor). Dadurch wird gewährleistet, dass der Erlösrückfluss möglichst zeitnah beginnt, was zur Folge hat, dass kapitalintensive Investitionen derzeit vom System bevorzugt werden. Dabei erfolgt keine Unterscheidung zwischen konventionellem Netzausbau und „smarten“ Investitionen“, da beide Investitionen auf Buchwertbasis anerkannt werden. Netzbetreiber haben also Anreize, auch „smarte“ Investitionen zu tätigen, wenn diese dazu beitragen, den vorgeschriebenen Kostenpfad einzuhalten. Eine entscheidende Rolle spielt daher die Investitionsbewertung im aktuellen Regulierungsrahmen, wobei die Effizienzprüfung der Investition später im Rahmen des Benchmarking erfolgt. Das Benchmarking vergleicht die relative Effizienz der Netzbetreiber untereinander und dient als Basis für die erforderliche Effizienzsteigerung. Entscheiden sind dabei die Bewertung langfristiger Investitionen und die Definition geeigneter Output-Parameter für smarte Systeme [Bremer Energie Institut, 2012].

Netzbetreiber könnten zusätzliche Dienstleistungen, wie beispielsweise Energieberatung oder Home Automation am Markt anbieten. Die Problematik dabei ergibt sich dadurch, dass sobald diese auch Gewinne abwerfen, diese Gewinne den regulierten Netzkosten gegengerechnet werden. Sofern zusätzliche Dienstleistungen dem Netzbetreiber Verluste bescheren, werden diese jedoch von der E-Control nicht anerkannt. Diese restriktiven Regulierungsregeln werden von den Stromnetzbetreibern als investitionshemmend wahrgenommen.

3.3.6 Nutzbare Größenordnung des Lastverschiebungspotenzials aus Sicht der Stromnetzbetreiber

Aus Sicht der Netzbetreiber sind zwei Möglichkeiten der Lastverschiebung interessant:

1. Lastreduktion und Erhöhung der Erzeugung zum Ausgleich von Leistungsdefiziten im Netz (positive Regelleistung)
 - a. *Zwischenzeitliche Reduktion des Strombezugs*

Die Reduktion des Strombezugs wird erreicht, in dem bestimmte Prozesse oder einzelne Aggregate ausgeschaltet werden. Dabei werden primär die relevanten Stromverbraucher betrachtet, da sonst der Aufwand für die Regelung grösser ist als der Ertrag durch die Stromeinsparung.
 - b. *Zwischenzeitliche Erhöhung der Stromproduktion*

Ist eine Anlage zur Kraftwärmekopplung in den ARA vorhanden, kann aus dem anfallenden Klärgas Strom erzeugt werden. Je nach Bedarf wird mehr oder weniger Gas in Strom umgewandelt, der Rest wird als Wärme in den Prozessen (z.B. Schlammfäulung) verwendet.
2. Lasterhöhung und Reduktion der Erzeuger zum Ausgleich von Leistungsüberschüssen im Netz (negative Regelleistung)
 - a. *Zwischenzeitliche Minimierung der Stromproduktion (Gasspeicherung)*

Die Stromproduktion auf der ARA kann unterbrochen werden. Das produzierte Gas wird im Gasspeicher gespeichert. Fast alle ARA, die Strom produzieren, sind mit einem Gasspeicher ausgestattet, der als Zwischenspeicher für das Klärgas dient. Die mögliche Dauer der Gasspeicherung ist abhängig vom Volumen des Speichers.

Eine weitere Möglichkeit zur Bereitstellung negativer Regelenergie ist die Leistung eines etwaigen Klärgas-BHKW, bei entsprechend hoher Produktion von Solar- und Windstrom, zu reduzieren und die Abwasserreinigungsanlage vollständig aus dem öffentlichen Netz zu versorgen [Riße et al, 2011].

Hinsichtlich der Größenordnung der verschiebbaren Last ergeben sich, aufgrund der Befragung der einzelnen Stromversorger, bedingt durch die spezifischen Gegebenheiten im jeweiligen Netz, unterschiedliche Anforderungen. So sind einige der befragten Experten der Meinung, dass jedes Potenzial (kW) brauchbar ist, wenn der Zustand im Netz dadurch positiv beeinflusst wird. Dabei muss aber immer der Nutzen der Lastverschiebung im Verhältnis zum Aufwand gesehen werden.

Aus technischer Sicht haben andere Experten angegeben, dass die folgenden Mindestanforderungen erfüllt werden müssen:

- Im Niederspannungsnetz sind verschiebbare Lasten unter 5 – 10 kW nicht relevant
- Im Mittelspannungsnetz sind verschiebbare Lasten unter 50 – 100 kW nicht relevant

Bzgl. der Dauer, die ein vorhandenes Potenzial verfügbar sein soll, sind sich die Stromnetzbetreiber einig, dass zumindest für 15 Minuten eine entsprechende verschiebbare Last zur Verfügung stehen muss. Wünschenswert wäre es das vorhandene Potenzial bereits day-ahead (also mindestens 24 h im Voraus) voranzukündigen, um es in die Fahrplanerstellung für den nächsten Tag einfließen lassen zu können. Das Potenzial müsste, wenn es benötigt wird, sehr kurzfristig (innerhalb von Sekunden bis zu wenigen Minuten) abrufbar sein.

3.3.7 Möglichkeiten der Verbrauchssteuerung durch Dritte

(Zwangs-)Abschaltung durch den Netzbetreiber

Durch die Vereinbarung von unterbrechbaren Tarifen, bietet sich dem Netzbetreiber die Möglichkeit, im Rahmen einer freiwilligen vertragliche Regelung zwischen ihm und dem Kunden, in Spitzenlastzeiten und bei Engpässen auf bestimmte elektrische Geräte in Haushalten und Betrieben ferngesteuert zuzugreifen und diese aus und/oder einzuschalten. Technisch realisiert wird dies durch die Installation einer Rundsteueranlage. Als Gegenleistung erhält der Kunden monetäre Anreize, beispielsweise eine Reduktion des Strompreises.

Die fremdbestimmte (ohne Zustimmung des Verbrauchers) Speicher- bzw. Verbrauchssteuerung ist im österreichischen Elektrizitätsrecht im Allgemeinen nicht geregelt. Unter einer fremdbestimmten Speicher- oder Verbrauchssteuerung versteht man, dass der Netzbetreiber in Situationen des Elektrizitätsüberschusses im Wege der Datenfernübertragung steuernd auf Speicheranlagen (z.B. auf Batterien) oder auf Verbrauchsanlagen (z.B. Kühlhäuser) zugreift und damit eine Steigerung des Stromverbrauchs bewirkt [de Bruyn et al, 2012]. In Anbetracht der fehlenden gesetzlichen Regelung sind einseitige Eingriffe in die Rechtspositionen der Speicherbetreiber oder der Verbraucher (Zu- und/oder Abschalten elektrischer Verbraucher), ohne eine vorherige vertragliche Vereinbarung zwischen dem Kunden und dem Netzbetreiber, derzeit nicht möglich.

Zu einer Zwangsabschaltung durch den Netzbetreiber kommt es nur, wenn bereits ein störungsbehafteter Netzbetrieb vorliegt. Mit dieser Maßnahme soll eine Störungsausweitung und damit ein Netzzusammenbruch verhindert werden, um die Versorgungssicherheit wieder schnell herzustellen. Die zwangsweise Trennung des Netzbenutzers vom Netz bildet in Österreich allerdings eine seltene Ausnahme.

(Zwangs-)Abschaltung durch den Lieferanten

Die geltende Rechtsordnung erlaubt es dem Lieferanten nicht, den Verbrauch des Kunden eigenmächtig gegen dessen Willen zu steuern. Darüber hinaus besitzt er auch gar nicht über die praktischen und technischen Möglichkeiten hierzu.

3.3.8 Möglichkeiten der Anreizregulierung hinsichtlich Lastverschiebung aus Sicht der Stromnetzbetreiber

Im Gegensatz zu den Bereichen Energieerzeugung, -handel und -vertrieb, ist der Bereich Netze durch regulatorische Vorgaben stark beeinflusst bzw., in Bezug auf die Bereitstellung (monetärer) Anreize hinsichtlich Lastverschiebung auch stark eingeschränkt (nähere Erläuterungen siehe Abschnitt 3.4.1).

Vor allem das starre Tarifsysteem sehen Stromnetzbetreiber als Hindernis, um Modelle für monetäre Anreizsysteme schaffen zu können. Die Tarifstruktur müsste eine Berücksichtigung der flexiblen Lasten zulassen. Insbesondere eine flexiblere Gestaltung des Netznutzungsentgeltes könnte gewisse Anreize schaffen.

Ein wesentlicher Faktor ist in diesem Zusammenhang aus Sicht der befragten Stromnetzbetreiber eine verursachergerechte Verrechnung der Netzentgelte. Denn zurzeit ist es so, dass ein Verbraucher, der gleichzeitig auch Energie erzeugt und Überschussstrom in das Netz einspeist, weniger bezahlt, da nur Entnehmer die Netznutzungsgebühr zu entrichten haben. Dennoch muss die maximale Entnahmeleistung bei, z.B. schlechtem Wetter wenn die solare Stromerzeugung nicht ausreicht, vom Netzbetreiber bereitgestellt werden. Ebenso muss in Hinblick auf die Netzentgelte eine leistungsorientierte Verrechnung erfolgen, d.h. der Leistungsanteil der Entgelte muss erhöht werden, damit die Verbraucher einen wirklichen Anreiz haben, Spitzenlasten zu vermeiden.

3.4 Regulatorische und rechtliche Rahmenbedingungen

Die nachfolgenden Abschnitte sollen als Ergänzung bzw. Erläuterung der Anforderungen der Stromnetzbetreiber und Energielieferanten dienen, da im Zuge der persönlichen Gespräche vor allem von Seiten der Stromnetzbetreiber auf die Vorgaben des Regulators in Bezug auf die Entwicklung mögliche Anreize für Lastverschiebungsmaßnahmen bei Endkunden verwiesen wurde.

3.4.1 Systemnutzungsentgelte

Die Netzbenutzer (Verbraucher und Erzeuger) haben für die Inanspruchnahme der Leistung der Netzbetreiber und der Regelzonenführer Systemnutzungsentgelte zu bezahlen. Die Grundlage für die Bestimmung der Netztarife (Systemnutzungsentgelte) bilden § 51 EIWOG 2010, sowie SNE-VO 2012. Das Systemnutzungsentgelt setzt sich dabei aus folgenden Komponenten zusammen [EIWOG, 2014]:

Netznutzungsentgelt: Abgeltung der Kosten des Netzbetreibers für Errichtung, Ausbau, Instandhaltung und Betrieb des Stromnetzsystems.

Netzverlustentgelt: Von Entnehmern und Einspeisern ab einer Engpassleistung von 5 MW zu entrichten, um dem Netzbetreiber die Kosten für die Beschaffung der für den Ausgleich von Netzverlusten erforderlichen Energiemengen abzugelten.

Netzzutrittsentgelt: Einmalig zu bezahlendes Entgelt, um die Kosten des Netzbetreibers für die erstmalige Herstellung eines Netzanschlusses oder die Abänderung eines bestehenden Anschlusses, abzudecken. Das Netzzutrittsentgelt wird aufwandsorientiert verrechnet.

Netzbereitstellungsentgelt: Vom Verbraucher für den zur Ermöglichung des Anschlusses notwendigen netzausbau zu entrichten. Es wird als Pauschalbetrag verrechnet.

Systemdienstleistungsentgelt: Dadurch werden dem Regelzonenführer die Kosten für die Bereitstellung der Sekundärregelleistung aufgrund von Lastschwankungen abgegolten. Für die Bemessung des Systemdienstleistungsentgeltes ist ein arbeitsbezogener Systemdienstleistungspreis tarifmäßig zu bestimmen.

Entgelt für Messleistungen: Abgeltung jener direkt zuordenbaren Kosten des Netzbetreibers, die mit der Errichtung und dem betrieb von Zählern, der Eichung und Datenauslesung in Zusammenhang stehen.

Entgelt für sonstige Leistungen

Ggf. Entgelte für internationale Transaktionen

Die Komponenten werden bis auf das Netzzutrittsentgelt und das Entgelt für internationale Transaktionen durch die Regulierungsbehörde per Verordnung als Festpreise bzw. Höchstpreise fixiert.

Hinsichtlich der Thematik Lastverschiebung wird nachfolgend nur auf die Komponente Netznutzungsentgelt eingegangen, da die übrigen Entgelte kein Potenzial für Anreize zur Lastverschiebung bei Endkunden bieten [de Bruyn & Moser, 2014].

Die Höhe des jeweiligen **Netznutzungsentgelts** wird entsprechend der Netzebene und dem Netzbereich (z.B. Netzbereich Energienetz Steiermark oder Netzbereich Salzburg AG) an den die Anlage des Verbrauchers angeschlossen ist, bemessen. Dadurch sind die von der Regulierungsbehörde festgelegten Tarife verbindlich und der Netzbetreiber hat keine Möglichkeit (auch hinsichtlich der Höhe) die Entgelte unabhängig festzulegen. Das Systemnutzungsentgelt muss darüber hinaus dem Grundsatz der Gleichbehandlung aller Netzbewerber, der Kostenorientierung und der Verursachergerechtigkeit entsprechen [de Bruyn & Moser, 2014].

Entsprechend § 52 Abs.1 EIWOG 2010 kann die Regulierungsbehörde das Netznutzungsentgelt je nach Netzbereich und Netzebene allerdings zeit- und/oder lastvariabel gestalten. Diese Möglichkeit hat die Regulierungsbehörde bisher allerdings nur in Form der zeitvariablen Netznutzungsentgelte (Hoch- und Niedertarife für Sommer und Winter; SHT, SNT, WHT und WNT) genutzt. Eine lastvariable Tarifgestaltung wird bisher für keine Netzebene und für keinen Netzbereich angeboten.

Weiters besteht die Möglichkeit sogenannte unterbrechbarer Tarife zu nutzen, welche für alle Verbraucher der Netzebene 7 angeboten werden. Dieser Tarif ist ein gesonderter, aber meist nicht

schwankender Tarif, welcher im Vergleich mit dem Netznutzungsentgelt bei nicht gemessener Leistung einen preislichen Vorteil für den Kunden bringen kann. Diese Vergünstigung ergibt sich durch eine vertragliche Vereinbarung zwischen Netzbetreiber und Kunden, die dem Netzbetreiber eine Zugriffsmöglichkeit auf die unterbrechbaren Lasten des Entnehmers für eine gewisse Dauer ermöglichen, d.h. Lasten von Endkunden können von der Stromzufuhr getrennt werden. Dieser preisliche Vorteil stellt somit, sofern sich dieser Tarif wegen der Notwendigkeit eines zweiten Zählers wirtschaftlich für den Verbraucher rechnet, einen Anreiz dar, dem Netzbetreiber die Steuerung von Verbrauchseinrichtungen (z.B. Stromspeicherheizung oder Wärmepumpe) aufgrund vertraglicher Vereinbarung zu gestatten.

3.4.2 Strompreise

Seit der Liberalisierung des Strommarktes im Jahr 2001 können die Energiepreise, im Gegensatz zu den Systemnutzungsentgelten, von den Lieferanten festgelegt werden, d.h. sie unterliegen keiner Regulierung wodurch bei der Festlegung der Strompreise eine hohe Variabilität gegeben ist.

Im Sinne der Energieeffizienzsteigerung bzw. der Optimierung des Stromverbrauchs ist es wünschenswert, wenn die Elektrizitätsunternehmen neue Preismodelle für die Realisierung von Lastverschiebungsmaßnahmen entwickeln würden. Variable (Mehrfach-)Tarifsysteme setzen allerdings eine (viertelstündige) Verbrauchserfassung mittels Leistungsmessung oder Smart Meter voraus.

Die Laststeuerung wird dabei aber aufgrund der finanziellen Anreize über den jeweiligen Strompreis nur durch den Kunden selber, also entweder eigenhändig oder aber mit Hilfe automatisierter Geräte, vorgenommen werden können, indem er zu einer preisgünstigen Zeit z.B. die Waschmaschine laufen lässt. Die Aufgabe des Lieferanten liegt demnach darin dem Kunden ein bestimmtes Produkt (einen Stromtarif) zu verkaufen, ihn darüber und auch über den Stromverbrauch zu informieren und diesen abzurechnen. Da das EIWOG 2010 jedoch keine konkreten Vorgaben für die Ausgestaltung solcher neuer Preismodelle beinhaltet, haben die Lieferanten gerade bei Lieferverträgen einen weiten Gestaltungsspielraum, wenn es sich bei den Kunden um Unternehmer handelt. Das bedeutet, die Lieferanten können mit den Kunden Preismodelle aushandeln, die auch nicht bei der Regulierungsbehörde angezeigt werden müssen

Entscheidend bei der Gestaltung neuer Preismodelle ist, dass die Kunden die Tarife verstehen und nachvollziehen können. Eine Änderung der vertraglich vereinbarten Preise muss dem Verbraucher mindestens drei Monate vor dem in Kraft treten der Änderungen schriftlich vom Lieferanten mitgeteilt werden. Im Zuge der Rechnungslegung muss der Lieferant eine periodengenaue Abrechnung vornehmen (er muss somit in Form von Teilbeträgen angeben, zu welchem Zeitraum er welche Preise verrechnet hat), die Bekanntgabe allein des Gesamtbetrages ist nicht ausreichend. Nur eine Ausweisung des Strompreises bezogen auf sämtliche Preisperioden in Cent/kWh ermöglicht dem Kunden eine Nachverfolgung der Preisentwicklung [de Bruyn & Moser, 2014].

3.4.3 Möglichkeiten zur Schaffung von Anreizen

3.4.3.1 Rechtliche Möglichkeiten hinsichtlich des Systemnutzungsentgelts

Wie bereits zuvor erläutert, bietet in Bezug zur Lastverschiebung nur das Netznutzungsentgelt, als Teil der statistischen Systemnutzungsentgeltkomponenten, eine Möglichkeit Anreize zu schaffen. Dies kann durch die Ausgestaltung zeit- und/oder lastvariabler Netznutzungsentgelte erfolgen, wobei der Regulator dies festlegen muss. Dies würde eine Möglichkeit bieten, Netzbewutzer aller Netzebenen mittels preislicher Anreize zu animieren, ihre Verbräuche eigenständig bzw. mittels automatisierter Geräte zu verschieben und damit zu einer gleichmäßigen Netzauslastung beizutragen. Dazu müsste das zeitvariable Netznutzungsentgelt in der SNE-VO noch variabler, also zeitlich engmaschiger, ausgestaltet werden. In jedem Fall ist es essentiell, dass das Netznutzungsentgelt grundsätzlich variabel ausgestaltet ist, d.h. eine Schwankung der Tarife ermöglicht wird, um eine Anreizwirkung zu erreichen.

Die derzeitige Abrechnung der Netznutzungsentgelte erfolgt wie zuvor erläutert nach der transportierten kWh. Wer mehr verbraucht, zahlt auch mehr Netztarife. Dieses Modell kann allerdings nur so lange aufrechterhalten werden, wie der Großteil des Strombedarfs über das Stromnetz geliefert wird. Wenn aber mehr und mehr Strom durch dezentrale Erzeuger bereitgestellt wird und nur mehr in erzeugungslosen oder erzeugungsarmen Zeiten Strom vom Netz bezogen wird, so funktioniert dieses Prinzip nicht mehr, da alle, die keine eigene Erzeugung haben, weit überproportional das Stromnetz finanzieren würden, obwohl, in erzeugungsschwacher Zeit, die gesamte Leistung für alle bereitstellen werden muss [Giselbrecht et al, 2011].

Stromnetzbetreiber kommen daher zu dem Schluss, dass es im Sinne der Verursachergerechtigkeit sinnvoll ist, das Netznutzungsentgelt zukünftig über die maximal zu beziehende Leistung zu berechnen. Im industriellen Bereich ist dieses Modell angewandte Praxis, da der Netztarif über den maximalen Leistungsbezug abgerechnet wird. Die Einführung eines lastvariablen Netznutzungsentgeltes ist durch die Ermächtigung in § 52 Abs. 1 S. 1 EIWOG 2010 rechtlich möglich, allerdings kann dieses nur durch die Festlegung der Regulierungsbehörde in der SNE-VO realisiert werden.

Bei der Ausgestaltung der zeit- und/oder lastvariablen Netzentgelte, muss das Prinzip der Diskriminierungsfreiheit beachtet werden. D.h. allen potenziell geeigneten Kunden, die ein netzdienliches Verhalten erzielen können / möchten, muss der Zugang zu den neuen Geschäftsmodellen ermöglicht werden. Günstige Netzkonditionen (verringerte Anschlussgebühren oder Netznutzungsgebühren) bzw. die Honorierung netzdienliche Flexibilitäten oder Schalloptionen müssen allen potenziellen Kunden angeboten werden.

Für den Netzbetreiber sollte in diesem Zusammenhang ein Gestaltungsspielraum gegeben sein, der es erlaubt, die kosteneffizientesten Anpassungslösungen zu realisieren. Da es sich in der Regel um ortsgebundene bzw. lokale Problemlösungen handelt (z.B. Spannungshaltung durch erzeugungsnahen Verbrauch von PV in einem bestimmten Netzabzweig), sollte diese lokale Flexibilität entsprechend den lokalen Gegebenheiten honoriert werden können. Ebenso sollte der Netzbetreiber einen Gestaltungsspielraum bei der Kostenverrechnung der Kunden, die lokal benötigte Flexibilitäten anbieten können, haben. Die Kostenverteilung bei Netzerweiterungen muss mit einem ausgewogenen Schlüssel sowohl Sozialisierungsaspekte als auch Kosten-Nutzen-Verhältnisse berücksichtigen [Karg et al, 2014].

Eine weitere Maßnahme, die im Zuge der Erreichung einer gleichmäßigen Netzauslastung sinnvoll zu sein scheint, ist einen günstigen unterbrechbaren Tarif für sämtliche Netzebenen in allen Netzbereichen anzubieten. Diese Möglichkeit bedarf keiner rechtlichen Anpassungen. Allerdings stellt der unterbrechbare Tarif keinen Anreiz für die Entnehmer dar, ihre Lasten eigenständig zu verschieben, vielmehr bietet er einen Anreiz, diese Lastverschiebung in Form der Einräumung der Zugriffsmöglichkeit auf verbrauchereigene Einrichtungen durch den Netzbetreiber vornehmen zu lassen.

Darüber hinaus wäre es möglich das Netznutzungsentgelt rein arbeitsbezogen festzulegen und zu verrechnen. Eine rein leistungsbezogene Festlegung des Netznutzungsentgeltes ist von der derzeitigen Ermächtigungsgrundlage jedoch nicht gedeckt.

Hinsichtlich der Anrechenbarkeit der Kosten des Netzausbaus sollten auch Anpassungen erfolgen. Derzeit werden nur direkte dem Netzausbau zuzuordnende Kosten für die Ermittlung der Kostenbasis entsprechend § 59 ElWOG anerkannt. Zur weiteren Entwicklung „intelligenter Netze“ sollten auch indirekte Kosten des Netzbetreibers für smarte Lösungen (bspw. in Kundenanlagen zur Nutzung von Flexibilität) anerkannt werden. Insbesondere dann, wenn diese Kosten zukünftige Netzausbaukosten vermeiden bzw. verzögern.

3.4.3.2 Möglichkeiten hinsichtlich der Strompreisgestaltung

Im Rahmen der nachfrageseitigen Lastverschiebung gilt es, um Lastspitzen zu kappen und zu einer Reduktion des Netzausbaus beitragen zu können, vor allem eine freiwillige Verhaltensänderung der Netzbenutzer/Kunden zu erreichen. Dies könnten neben der zuvor beschriebenen zeit- und/oder lastvariablen netznutzungsentgelten, auch durch variable Strompreise erzielt werden.

Seit der Liberalisierung können die Strompreise durch den Wegfall der gesetzlichen Preisvorgaben vom Lieferanten festgelegt werden, was dem Stromlieferanten einen dementsprechenden Gestaltungsspielraum ermöglicht, wobei bei der Entwicklung neuartiger Preismodelle auf das Gebot der Preistransparenz i.S.v. § 6 Abs. 3 KSchG zu achten ist, sofern der Vertragspartner des Lieferanten ein Verbraucher ist. Die unterschiedliche Ausgestaltung der verschiedenen Preismodelle der einzelnen Lieferanten birgt die Gefahr, dass der Endverbraucher die schwankenden Strompreise nicht mehr nachvollziehen kann und dadurch auch der Vergleich der Preismodellen anderer Lieferanten erschwert wird bzw. nicht mehr möglich ist. Es erscheint somit sinnvoll, die Lieferanten zu verpflichten, die einzelnen Zeiteinheiten (bei den zeitvariablen Tarifen) aufzulisten und den in diesen einzelnen Zeiteinheiten geltenden Energiepreis in Cent/kWh anzugeben. Bei den lastvariablen Stromtarifen soll der geltende Energiepreis in Cent/kWh in Abhängigkeit der Preise am Markt, die mit dem Verbraucher explizit in Form von Mindest- und Maximalpreisen vertraglich zu vereinbaren sind, angegeben werden. Der exakte Preis muss dem Verbraucher durch ein geeignetes Kommunikationsmittel (z.B. Web-Portal, SMS, E-Mail), das zuvor vertraglich festzulegen ist, zu einem festgelegten Zeitpunkt mitgeteilt werden, damit er die Möglichkeit hat, seinen Verbrauch der Netzlast anzupassen.

3.5 Rahmenbedingungen zur Hebung etwaiger Lastverschiebungspotenziale auf Kläranlagen - Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus den Workshops mit den Kläranlagenbetreibern zeigen, dass in Abwasserreinigungsanlagen grundsätzlich Aggregate zur Verfügung stehen, die unter Berücksichtigung der jeweiligen betrieblichen Rahmenbedingungen für Maßnahmen der Lastverschiebung in Betracht gezogen werden können. Die Höhe des Potenzials richtet sich nach den betriebsspezifischen Anforderungen, die im Wesentlichen durch

- den Anlagentyp,
- die maschinellen Ausstattung und
- die tatsächlichen Belastungssituationen

bestimmt werden. Weiters kann in Anbetracht der erarbeiteten Rahmenbedingungen und Anforderungen darauf geschlossen werden, dass es aus technischer Sicht, mit der entsprechenden IKT-Infrastruktur durchaus möglich ist, vorhandene Lastverschiebungspotenziale bei kommunalen Infrastrukturanlagen zu nutzen. Es bedarf allerdings einer marktbasierten Umsetzung, was die Entwicklung und Einführung neuer Produkte, Tarifmodelle und Dienstleistungen von Seiten der Stromnetzbetreiber bzw. Energieversorger meint.

Als eines der größten Hemmnisse für verbrauchsseitige Lastverschiebung konnten die regulatorischen Gegebenheiten und die dadurch bedingten fehlenden Vergütungen identifiziert werden. In Hinblick auf mögliche (monetärer) Anreize für Lastverschiebung haben die Stromnetzbetreiber (fast) keine Möglichkeiten Anreize zu schaffen, da die Systemnutzungsentgelte vom Regulator festgelegt werden und nicht eigenmächtig reduziert bzw. erhöht werden dürfen. Ebenso dürfen keine neuen Systemnutzungsentgeltkomponenten eingeführt werden, wobei grundsätzlich nur das Netznutzungsentgelt Verbraucher dazu motivieren kann, ihre Last freiwillig zu verschieben. Neue Geschäftsmodelle bzw. Tarifmodelle können anhand der derzeitigen rechtlichen Rahmenbedingungen nur von den Energieversorgern entwickelt werden. Es müsste daher eine Flexibilisierung der Tarifstruktur im Rahmen der Systemnutzungsentgelte-Verordnung erfolgen.

Als eine weitere Voraussetzung für die Durchführung einer nachfrageseitigen Lastverschiebung ist die Nutzung von intelligenten Stromzählern und eines Energiemanagement- und Monitoring-Systems in der Kläranlage zu sehen. Neben einer effizienten Steuerung der vernetzten Komponenten ist das flexible Lastmanagement somit nur im Rahmen von Smart-Grid-Anwendungen möglich

4 Charakterisierung der ausgewählten Kläranlagen

4.1 Kläranlage I

4.1.1 Verfahrenstechnische Analyse der Kläranlage

Kläranlage I (KA I) ist als Belebungsanlage mit simultaner aerober Schlammstabilisierung konzipiert und weist eine durchschnittliche Anlagenbelastung von rund 20.000 EW (Einwohnerwerten) auf. Die Auswertung der Betriebsaufzeichnungen für das Jahr 2013 zeigt eine CSB-Zulaufkraft von **2.363 kg CSB/d**; dies entspricht **19.690 EW-CSB₁₂₀**.

Tabelle 4.1: Zulaufkräften Kläranlage I (Datenbasis: 2013)

	BSB5	CSB	NH4-N	Ges.N	Ges.P
Jänner	1.523	2.332	146	333	32
Februar	1.172	2.127	141	241	37
März	1.053	2.966	155	274	38
April	967	2.395	134	243	31
Mai	955	2.472	133	227	34
Juni	1.191	3.039	134	372	43
Juli	912	1.573	110	211	27
August	809	2.690	124	279	33
September	829	2.122	127	213	36
Oktober	1.052	2.236	132	264	34
November	905	2.479	124	285	34
Dezember	1.079	1.920	136	235	32
Mittel 2013	1.037	2.363	133	265	34
spez. Fracht [g/(EW.d)]	60	120	6	11	2
EW	17.290	19.690	22.200	24.070	20.200

Zulaufkräften aus dem Mittelwert der Tageskräften in [kg/d]

Für die weitergehende Prüfung (Plausibilitätsprüfung) der betrieblich dokumentierten und ausgewerteten Zulaufkräften (CSB, BSB5, Stickstoff, Phosphor) wurde der spezifische Überschussschlammfall als organische Trockensubstanz in der Höhe von 34,0 g oTS/(EW.d) ausgewertet bzw. errechnet. Um festzustellen, ob die spezifische oTS-Fracht im Überschussschlamm in Abhängigkeit zum ermittelten Schlammalter und der durchschnittlichen Ablauftemperatur plausibel ist, wurde dieser mit den Ergebnissen von anderen Kläranlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung, die in den letzten beiden Jahrzehnten ausgewertet wurden, verglichen. Dabei zeigte sich, dass der Wert für die spezifische oTS-Fracht im Überschussschlamm gut mit den für andere Anlagen ermittelten Werten übereinstimmt.

Im Rahmen der weitergehenden Prüfung zeigte sich, dass die auf Basis der ausgewerteten Betriebsaufzeichnungen ermittelte mittlere Zulaufbelastung als plausibel angesehen werden kann.

4.1.2 Energieanalyse der Kläranlage

Die Auswertung der Betriebsaufzeichnungen für 2013 zeigt einen Energieverbrauch von in Summe 571.346 kWh_{el}/a. Dies entspricht einem Energieverbrauch von im Jahresmittel 1.564 kWh_{el}/d.

Auf Basis der ermittelten mittleren Zulaufbelastung in der Höhe von 19.690 EW-CSB₁₂₀ errechnet sich ein spezifischer Energieverbrauch von **29 kWh_{el}/(EW-CSB₁₂₀·a)**.

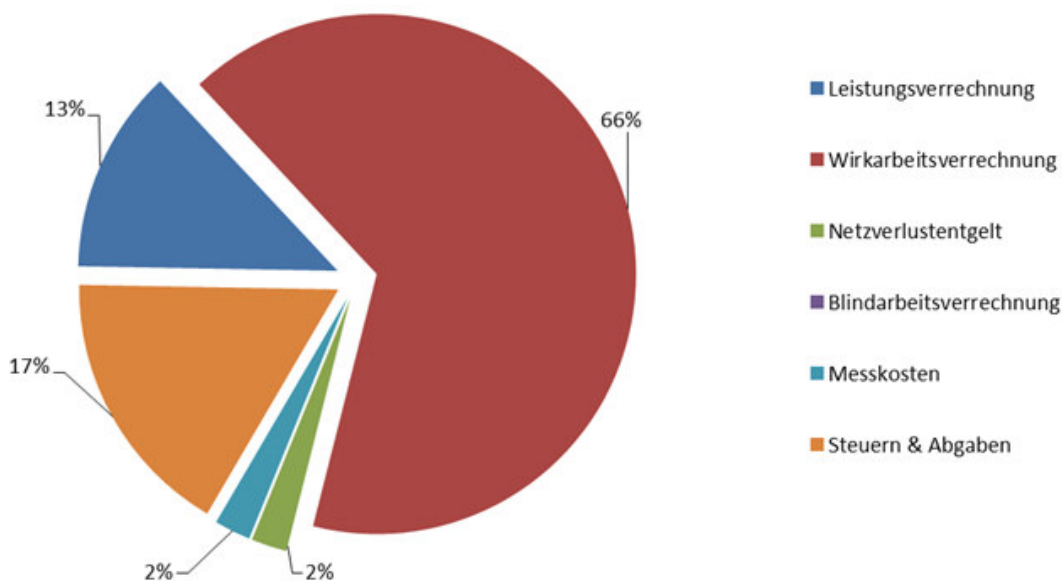


Abbildung 4.1: Zusammensetzung der Strombezugskosten EVU Kläranlage I (Datenbasis: 2013)

Die laufenden Strombezugskosten setzen sich auf Basis der in Abbildung 4.1 dargestellten Positionen zusammen. Den Hauptanteil mit rund 66 % nimmt die Verrechnung der Wirkarbeit, d.h. die Verrechnung der verbrauchten elektrischen Energie ein. Die Verrechnung der bezogenen Leistung nimmt rund 13 % der laufenden Strombezugskosten ein und setzt sich aus den Positionen Netznutzungsentgelt und Leistungspreis (Energieförderung) zusammen. Verrechnet wird die höchste Leitungsspitze des Monats mit einem Zwölftel des vorgeschriebenen Netznutzungsentgeltes und Leistungspreises (in €/kW·a).

Als maximale Monatshöchstleistung (= Bezugsrecht) sind **122 kW** vereinbart.

In Abbildung 4.2 dargestellt ist der tägliche Energiebedarf für den Zeitraum von 01.01.2013 bis 31.12.2013 (Jahresmittel 1.455 kWh_{el}/d exkl. Wärmepumpenstrom). Wärmepumpenstrom wird über eine eigene Zähleranlage bezogen und zur Beheizung der Betriebsgebäude am Kläranlagengelände eingesetzt. Im Zeitraum 01.01.2013 bis 31.12.2013 wurden rund 40.000 kWh_{el}/a an „Wärmepumpenstrom“ bezogen.

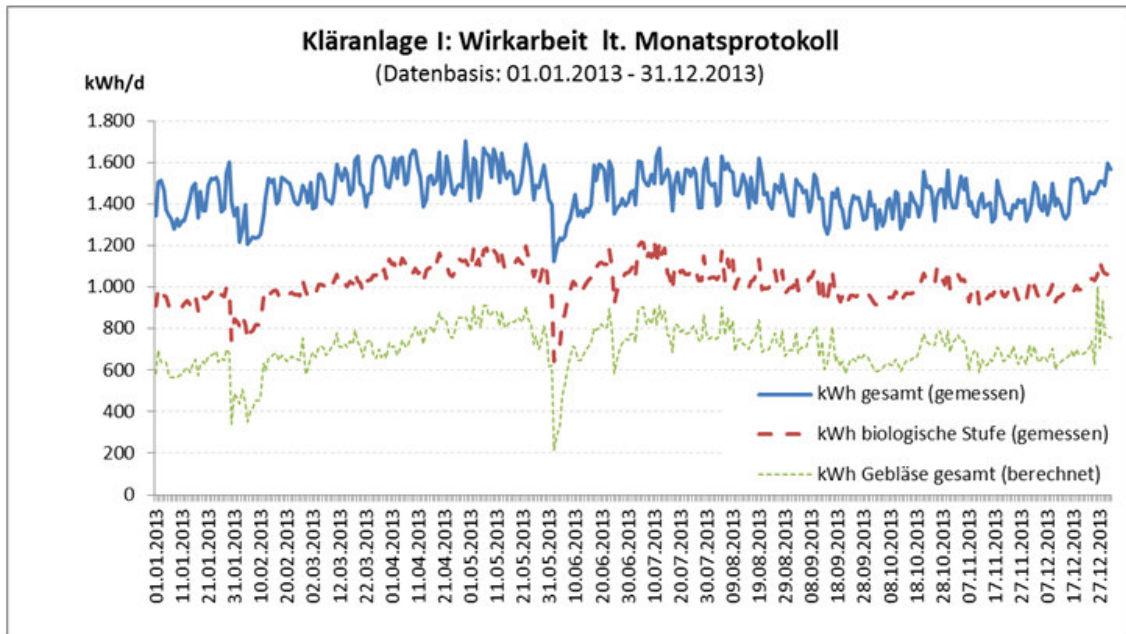


Abbildung 4.2: Energieverbrauch in kWh/a gemessen exkl. Wärmepumpenstrom (Datenbasis: 2013)

Rund 70 % des täglichen Energiebedarfs kann der biologischen Reinigungsstufe zugeordnet werden, wobei als verbrauchsbestimmende Anlagenkomponenten die Belüftungsaggregate (Gebläse 1 – 5) zu nennen sind.

Die Evaluierung des technischen Potenzials zur Verschiebung elektrischer Lasten im Kläranlagenbetrieb erfolgte auf Basis der Auswertung und Analyse der dokumentierten und vorliegenden Betriebsdaten. Die Auswertung erfolgte auf Grundlage der Parameter *Wirkarbeit*, *Betriebsstunden*, *Wirkleistung* und *sonstiger beeinflussender Faktoren* wie vereinbartes Bezugsrecht und Eigenstromproduktion. Die Auswertung und Analyse erfolgte des Weiteren nach Möglichkeit innerhalb der Systemgrenzen „Einzel-Aggregate“. Die Leistungsaufnahme der untersuchten Aggregate wurde zum Teil auf Basis durchgeführter Messungen (Stromstärke) ermittelt, zum Teil auf Grundlage der dokumentierten Nennleistung abgeschätzt. Die Betriebsstunden der jeweiligen Aggregate werden laufend aufgezeichnet.

Aus netztechnischer Sicht sind im Niederspannungsnetz verschiebbare Lasten unter 5 – 10 kW nicht relevant (Auswertung KA I siehe Abbildung 4.3). Im Rahmen der Beurteilung des technischen Lastverschiebungspotenzials wurde allerdings überprüft, ob einzelne Aggregate nicht zu Aggregate-Gruppen zusammengefasst werden können.

Auf Basis der durchgeführten Analysen von Kläranlage I konnten für nachstehend aufgelistete verbrauchs- und leistungsbestimmenden Aggregate ein aus netz- und klärtechnischer Sicht relevantes Potenzial festgestellt werden: *Rührwerke*, *Gebläse/Belüftung*, *Schwimmschlamm-Pumpen*, *Überschussschlamm-Pumpen*, *Rücklaufschlamm-Schnecke*, *Nutzwasser-Pumpe 1*, *Rührwerk Schlamm-silo 1 & 2*, *Schlammförderung (Schlamm-pumpe 1 – 3; Zerkleinerer 1 – 3)*, *Vorlegeschacht Umwälzpumpe*, *Presse Schlamm-entwässerung (Presshaus gesamt)*.

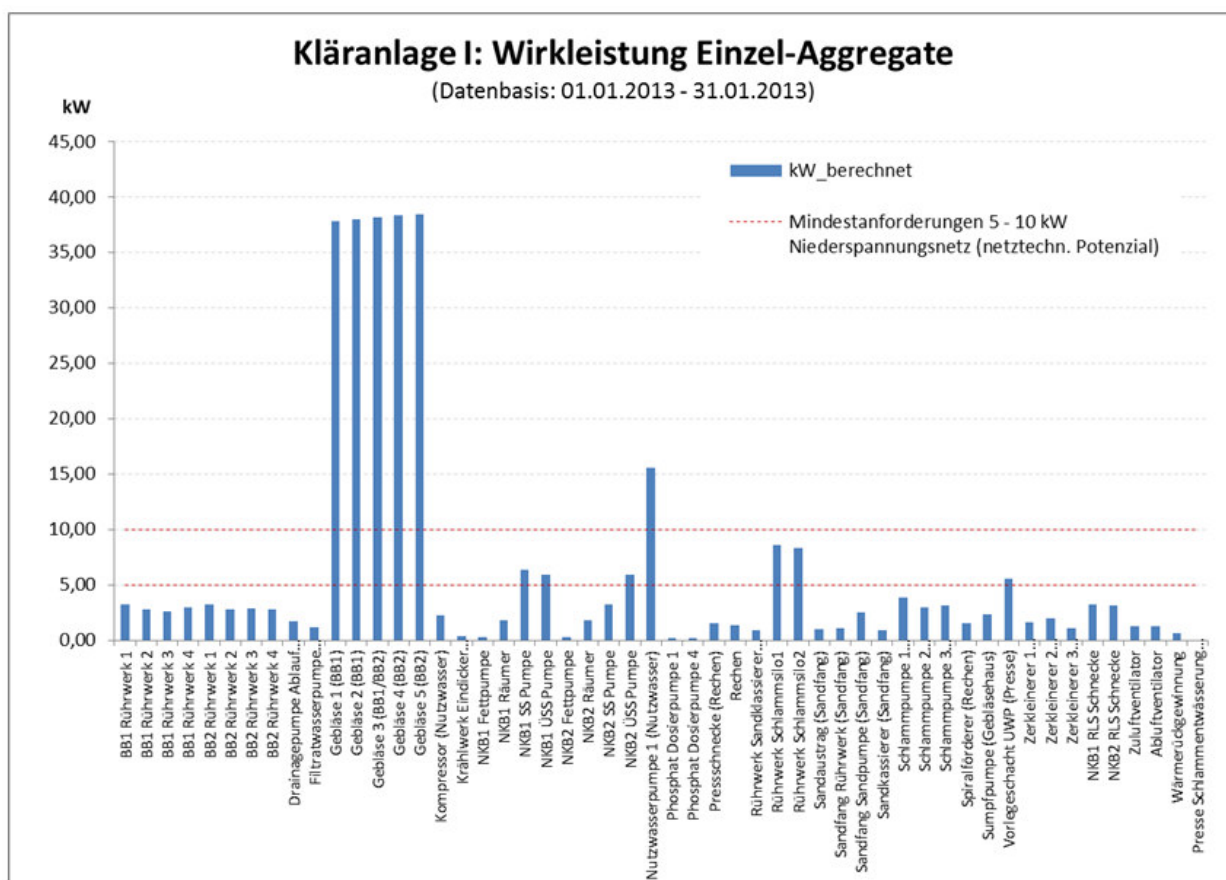


Abbildung 4.3: Wirkleistung Einzel-Aggregate Kläranlage I (Datenbasis: 2013)

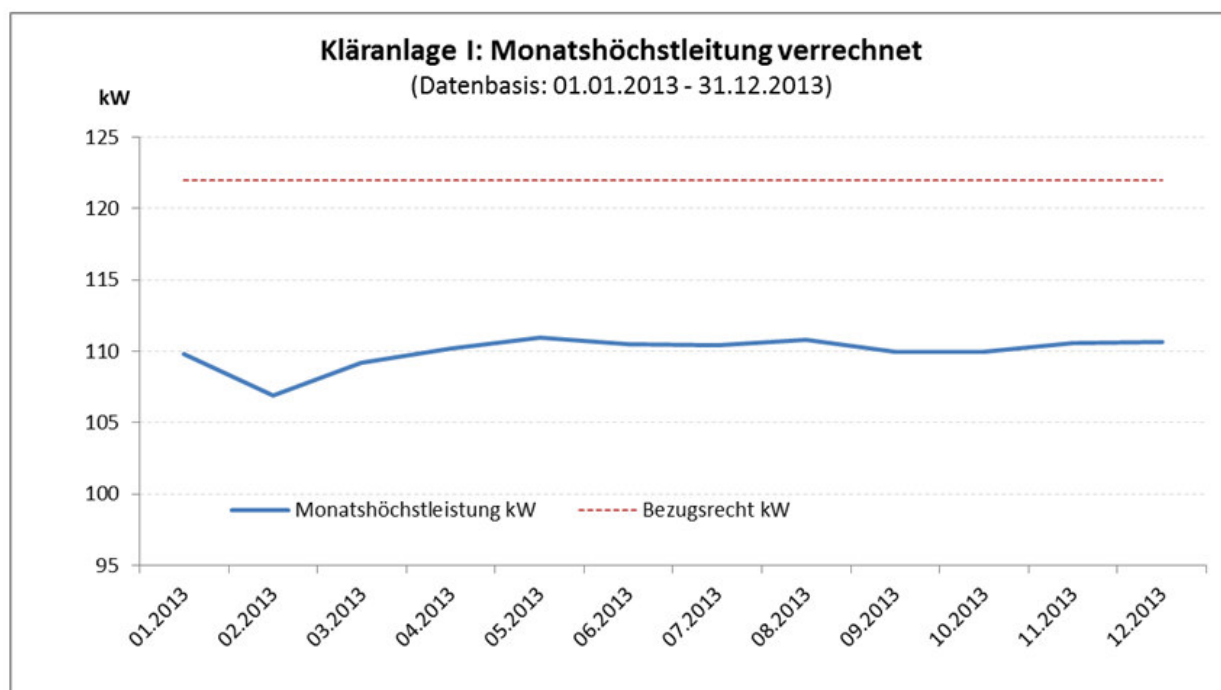


Abbildung 4.4: Monatshöchstleistung verrechnet und vereinbartes Bezugsrecht Kläranlage I

Das vereinbarte Bezugsrecht und die damit verbundenen Kosten zur Verrechnung der max. bezogenen Leistung (= Leistungsspitze pro Monat) bestimmen im Wesentlichen das aus betriebswirtschaftlicher Sicht vorliegende Potenzial (= nutzbares Potenzial) zur zeitlichen Verschiebung elektrischer Lasten bzw. das Potenzial zur positiven Beeinflussung der gegebenen Lastkurven. Ein wirtschaftlicher Nutzen kann aufgrund der vorliegenden Kostenstruktur nur durch eine Reduktion der Leistungsspitzen erzielt werden.

Im Jahresmittel liegt die Monatshöchstleistung bei 90 % des vereinbarten Bezugsrechts in der Höhe von 122 kW (siehe Abbildung 4.4).

Eine Reduktion der Leistungsspitzen um beispielsweise 15 % (Basis: Leistungsspitze pro Monat) würde auf Basis der vorliegenden Kostenstruktur zu einer Kosteneinsparung von lediglich rund € 1.500.- oder 2,5 % der Strombezugskosten führen.

4.2 Kläranlage II

4.2.1 Verfahrenstechnische Analyse der Kläranlage

Kläranlage II ist als Belebungsanlage mit Langzeitbelüftung und simultaner aerober Schlammstabilisierung konzipiert und weist eine durchschnittliche Anlagebelastung von rund 4.000 EW (Einwohnerwerten) auf. Die Auswertung der Betriebsaufzeichnung für das Jahr 2012 zeigt eine CSB-Zulaufkraft von 616 kg CSB/d; dies entspricht 5.130 EW-CSB₁₂₀. Im Rahmen der Verifizierung der ermittelten mittleren Zulaufbelastung musste diese allerdings nach unten korrigiert werden.

Tabelle 4.2: Zulaufkräften Kläranlage II (Datenbasis: 2012)

	BSB5	CSB	NH4-N	Ges.N	Ges.P
Jänner	275	591	k.A.	49	7
Februar	316	622	k.A.	54	8
März	239	471	k.A.	50	7
April	243	487	k.A.	62	8
Mai	290	604	k.A.	54	8
Juni	202	1.233	k.A.	170	19
Juli	282	543	k.A.	50	8
August	249	570	k.A.	59	8
September	226	486	k.A.	52	7
Oktober	315	680	k.A.	61	9
November	227	527	k.A.	52	7
Dezember	264	575	k.A.	59	8
Mittel 2012	261	616	k.A.	64	9
spez. Fracht [g/(EW.d)]	60	120	6	11	2
EW	4.340	5.130	k.A.	5.840	5.020

Zulaufkräften aus dem Mittelwert der Tageskräften in [kg/d]

Aufgrund der vorliegenden Daten und der durchgeführte Plausibilitätsprüfung kann von einer tatsächlichen CSB-Zulaufkraft von rund **480 kg CSB/d** ausgegangen werden; dies entspricht **4.000 EW-CSB₁₂₀**.

4.2.2 Energieanalyse der Kläranlage

Die Auswertung der Betriebsaufzeichnungen für 2013 zeigt einen Energieverbrauch von in Summe 196.000 kWh_{el}/d. Dies entspricht einem Energieverbrauch von im Jahresmittel 536 kWh_{el}/d.

Auf Basis der ermittelten mittleren Zulaufbelastung von durchschnittlich 4.000 EW-CSB₁₂₀ errechnet sich ein spezifischer Energieverbrauch von **49 kWh_{el}/(EW-CSB₁₂₀.a)**.

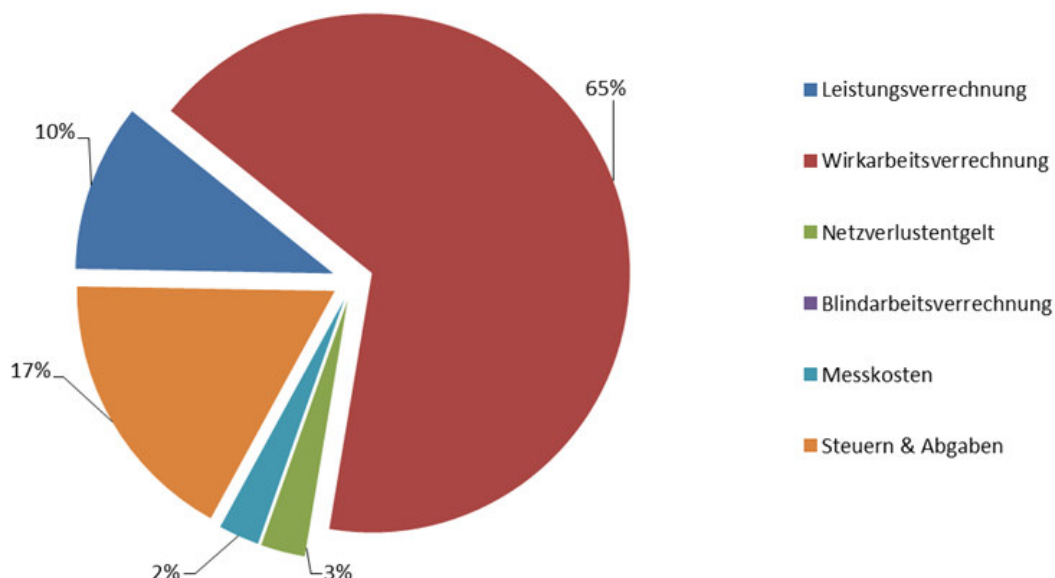


Abbildung 4.5: Zusammensetzung der Strombezugskosten EVU Kläranlage II (Datenbasis: 2013)

Die laufenden Strombezugskosten setzen sich auf Basis der in Abbildung 4.5 dargestellten Positionen zusammen. Den Hauptanteil nimmt mit rund 65 % die Verrechnung der Wirkarbeit, d.h. die Verrechnung der verbrauchten elektrischen Energie ein. Die Verrechnung der bezogenen Leistung nimmt rund 10 % der laufenden Strombezugskosten ein und setzt sich aus dem Netznutzungsentgelt zusammen. Verrechnet wird die höchste Leistungsspitze des Monats mit einem Zwölftel des vorgeschriebenen Netznutzungsentgeltes (= €/kW.a). Bis zum Monat 01/2013 würde darüber hinaus ein Leistungspreis für die Energielieferung auf Basis der höchsten Leistungsspitze verrechnet.

Als maximale Monatshöchstleistung (= Bezugsrecht) sind **97 kW** vereinbart.

In Abbildung 4.6 dargestellt ist der tägliche Energieverbrauch für den Zeitraum von 01.01.2012 bis 31.12.2012 (Jahresmittel 495 kWh_{el}/d exkl. Heizung). Der erhöhte Energiebedarf im Monat Juni ist auf eine externe Übernahme/Zufuhr von Fäkalien und der damit verbundenen höheren Zulaufbelastung zurückzuführen.

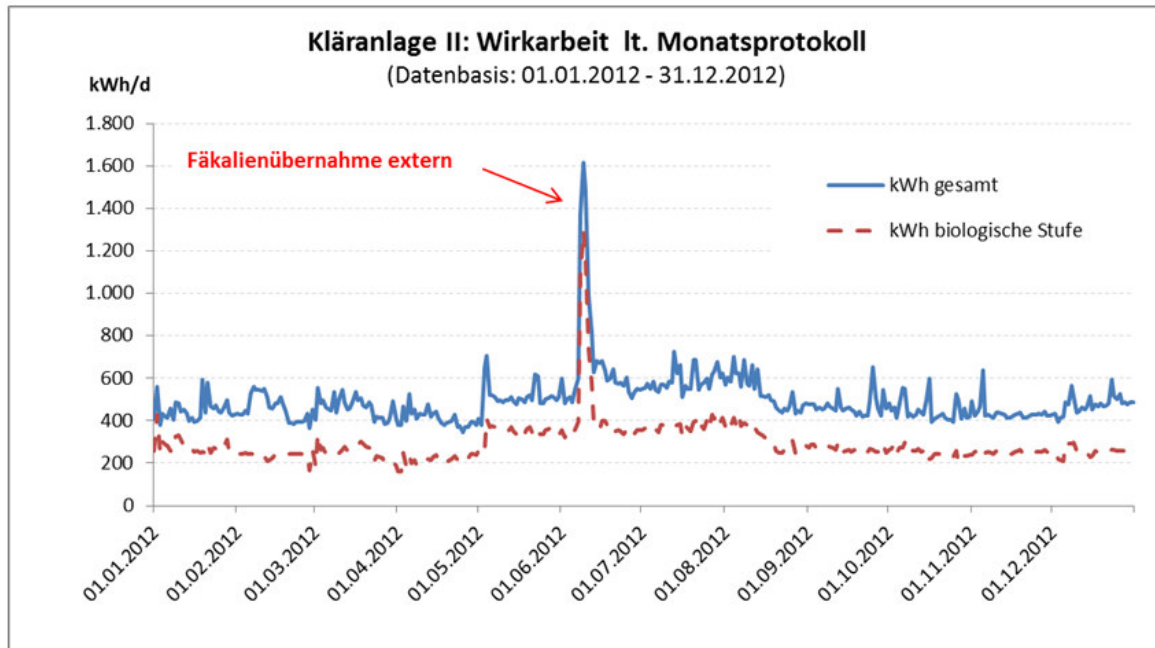


Abbildung 4.6: Energieverbrauch in kWh/a gemessen exkl. Heizung (Datenbasis: 2012)

Rund 60 % des täglichen Energieverbrauchs kann der biologischen Reinigungsstufe zugeordnet werden, wobei als verbrauchsbestimmende Anlagenkomponenten die Belüftungsaggregate (Gebläse 1 – 5) und die Rührwerke (Umwälzpropeller 1 – 4) zu nennen sind.

Die Evaluierung des technischen Potenzials zur Verschiebung elektrischer Lasten im Kläranlagenbetrieb erfolgte wiederum auf Basis der Auswertung und Analyse der dokumentierten und vorliegenden Betriebsdaten. Die Auswertung erfolgte auf Grundlage der Parameter *Wirkarbeit*, *Betriebsstunden*, *Wirkleistung* und *sonstiger beeinflussender Faktoren* wie vereinbartes Bezugsrecht und Eigenstromproduktion. Die Auswertung und Analyse erfolgte des Weiteren nach Möglichkeit innerhalb der Systemgrenzen „Einzel-Aggregate“. Die Leistungsaufnahme der untersuchten Aggregate wurde auf Basis durchgeführter Messungen (Stromstärke) ermittelt bzw. auf Basis der dokumentierten Nennleistung abgeschätzt. Die Betriebsstunden der jeweiligen Aggregate werden laufend aufgezeichnet und wurden den jeweiligen Serviceprotokollen entnommen.

Aus netztechnischer Sicht sind im Niederspannungsnetz verschiebbare Lasten unter 5 – 10 kW nicht relevant (Auswertung KA II siehe Abbildung 4.7). Im Rahmen der Beurteilung des technischen Lastverschiebungspotenzials wurde wiederum überprüft, ob einzelne Aggregate nicht zu Aggregate-Gruppen zusammengefasst werden können.

Auf Basis der durchgeführten Analysen von Kläranlage II konnten für die nachstehend aufgelisteten verbrauchs- und leistungsbestimmenden Aggregate ein aus klärtechnischer Sicht relevantes Potential festgestellt werden: *Zulauf-Schnecke*, *Hebe-Schnecke*, *Rücklaufschlamm-Schnecke*, *Umwälzpropeller/Rührwerk*, *Gebläse*, *Überschussschlamm-Pumpe*, *Regenwetter-Pumpe*, *Trockenwetter-Pumpe*, *Brunnen-Pumpe*, *Rührwerk-Schlammbehälter*.

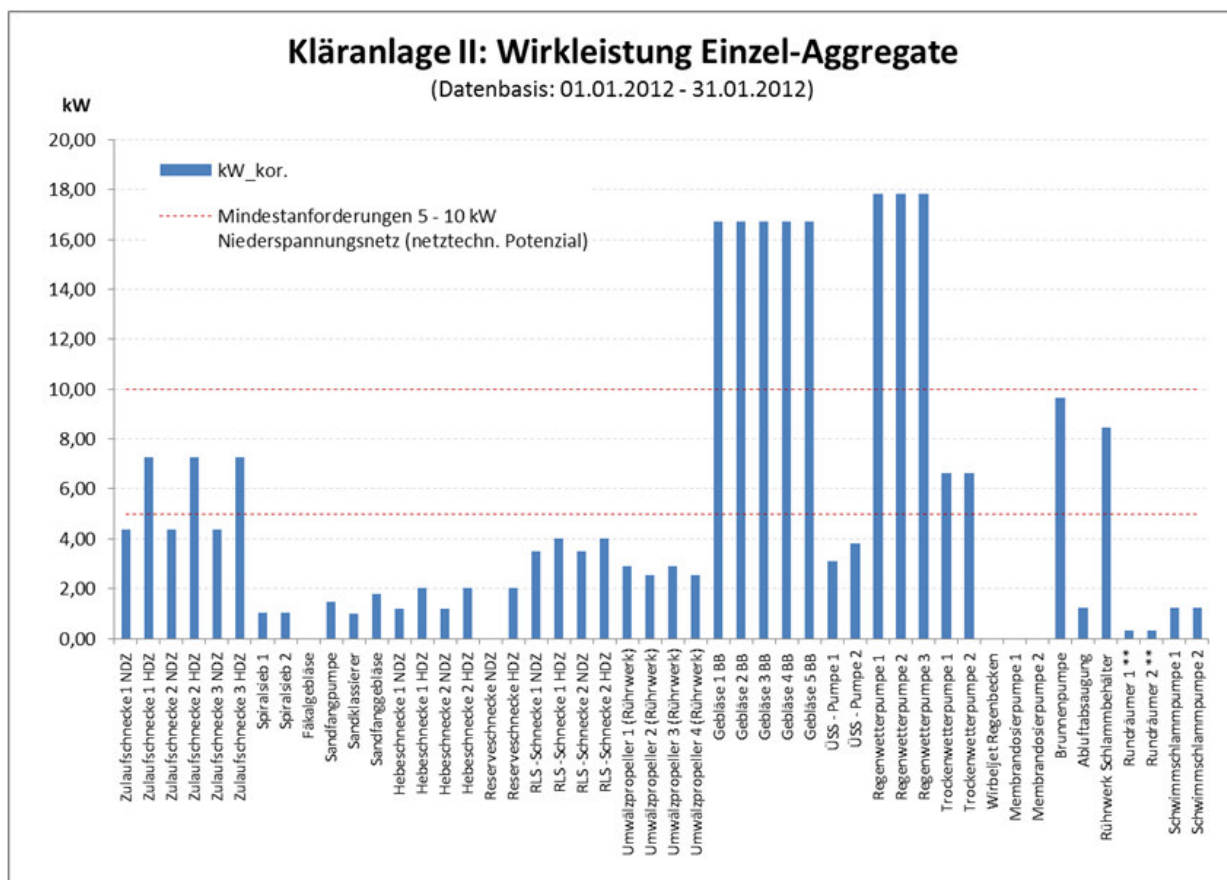


Abbildung 4.7: Wirkleistung ausgewählte Einzel-Aggregate Kläranlage II (Datenbasis: 2012)

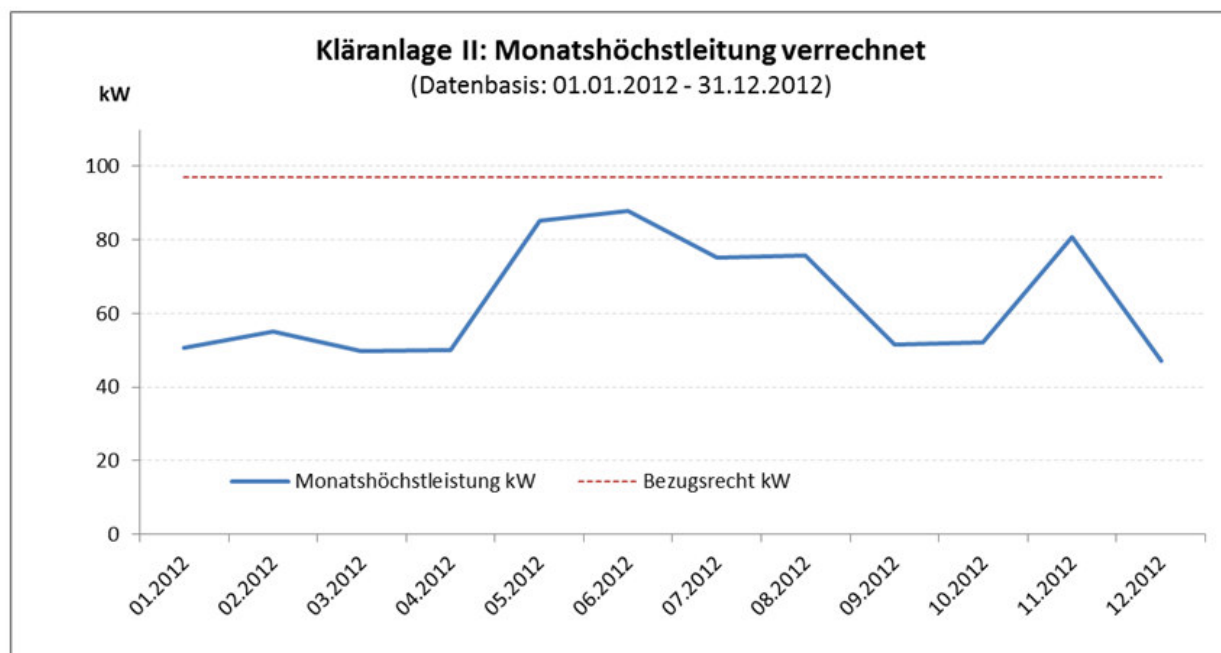


Abbildung 4.8: Monatshöchstleistung verrechnet und vereinbartes Bezugsrecht Kläranlage II

Das vereinbarte Bezugsrecht und die damit verbundenen Kosten zur Verrechnung der max. bezogenen Leistung (= Leistungsspitze pro Monat) bestimmen im Wesentlichen das aus betriebswirtschaftlicher Sicht vorliegende Potenzial (= nutzbares Potenzial) zur zeitlichen Verschiebung elektrischer Lasten bzw. das Potenzial zur positiven Beeinflussung der gegebenen Lastkurven. Ein wirtschaftlicher Nutzen kann aufgrund der vorliegenden Kostenstruktur nur durch eine Reduktion der Leistungsspitzen erzielt werden.

Im Jahresmittel liegt die Monatshöchstleistung bei 65 % des vereinbarten Bezugsrechts in der Höhe von 97 kW (siehe Abbildung 4.8).

Eine Reduktion der Leistungsspitzen um beispielsweise 15 % (Basis: Leistungsspitze pro Monat) wurde auf Basis der vorliegenden Kostenstruktur zu einer Einsparung von rund € 450.- oder 2 % der Strombezugskosten führen.

4.3 Kläranlage III

4.3.1 Verfahrenstechnische Analyse der Kläranlage

Kläranlage III ist als vollbiologischer Belebungsanlage mit anaerober Schlammstabilisierung konzipiert und weist eine durchschnittliche Anlagebelastung von rund 40.000 EW (Einwohnerwerten) auf. Die Auswertung der Betriebsaufzeichnung für das Jahr 2013 zeigt eine CSB-Zulaufkraft von **4.382 kg CSB/d**; dies entspricht **36.520 EW-CSB₁₂₀**.

Tabelle 4.3: Zulaufkräften Kläranlage III (Datenbasis: 2013)

	BSB5	CSB	NH4-N	Ges.N	Ges.P
Jänner	2.257	4.504	172	298	52
Februar	1.927	4.105	167	288	47
März	2.529	4.631	180	310	58
April	2.383	4.830	232	394	51
Mai	2.504	5.472	238	410	66
Juni	2.539	4.647	180	310	49
Juli	2.114	3.640	142	244	42
August	1.738	3.328	161	279	40
September	1.765	4.033	170	293	43
Oktober	1.916	4.389	170	290	49
November	2.932	5.220	192	331	53
Dezember	1.868	3.785	152	259	45
Mittel 2012	2.206	4.382	180	309	50
spez. Fracht [g/(EW.d)]	60	120	6	11	2
EW	36.770	36.520	29.960	28.070	29.170

Zulaufkräften aus dem Mittelwert der Tageskräften in [kg/d]

Im Rahmen der weitergehenden Prüfung wurden auch die Betriebsdaten für das Jahr 2012 ausgewertet. Dabei zeigte sich eine CSB-Zulaufkraft von 4.982 kg CSB/d; dies entspricht 41.520 EW-CSB₁₂₀.

4.3.2 Energieanalyse der Kläranlage

Die Auswertung der Betriebsaufzeichnungen für 2013 zeigt einen Energieverbrauch von in Summe 1.616 MWh_{el}/a. Dies entspricht einem Energieverbrauch von im Jahresmittel 4.425 kWh_{el}/d.

Auf Basis der ermittelten mittleren Zulaufbelastung in der Höhe von 36.520 EW-CSB₁₂₀ für das Jahr 2013 errechnet sich ein spezifischer Energieverbrauch von **44 kWh_{el}/(EW-CSB₁₂₀·a)**. Die durchgeführte Vergleichsanalyse für das Jahr 2012 zeigt einen spezifischen Energieverbrauch von 42 kWh_{el}/(EW-CSB₁₂₀·a).

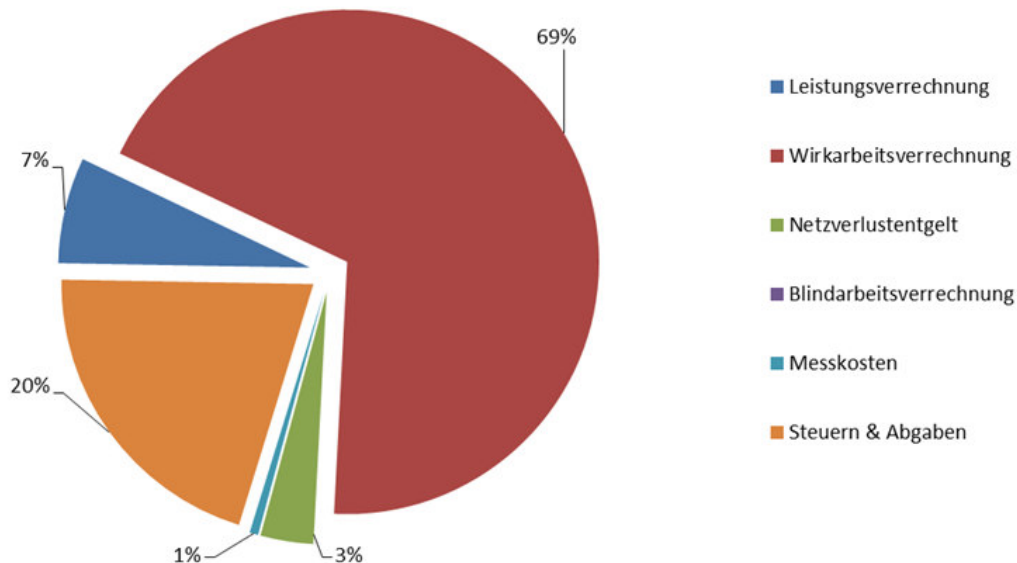


Abbildung 4.9: Zusammensetzung der Strombezugskosten EVU Kläranlage III (Datenbasis: 2013)

Die laufenden Strombezugskosten setzen sich aus den in Abbildung 4.9 dargestellten Positionen zusammen. Den Hauptanteil nimmt mit rund 69 % die Verrechnung der Wirkarbeit, d.h. die Verrechnung der verbrauchten elektrischen Energie ein. Die Verrechnung der bezogenen Leistung beträgt rund 7 % der laufenden Strombezugskosten und setzt sich aus dem Netznutzungsentgelt zusammen. Verrechnet wird die höchste Leitungsspitze des Monats mit einem Zwölftel des vorgeschriebenen Netznutzungsentgeltes (in €/kW.a).

Als maximale Monatshöchstleistung (= Bezugsrecht) sind **426 kW** vereinbart.

In Abbildung 4.10 dargestellt ist der tägliche Energieverbrauch für den Zeitraum von 01.01.2013 bis 31.12.2013 (Jahresmittel 4.425 kWh/d). Rund 34% des Energiebedarfs wurde im Jahr 2013 durch Eigenstromproduktion mittels BHKW abgedeckt.

Anfallendes Faulgas und Erdgas (Fremdbezug bedarfsabhängig) wird in zwei Gaskesseln (300 kW & 210 kW) und einem BHKW (124 kW ab 04/2014; bis 04/2014 77 kW) zur Erzeugung von Prozessheißwasser (75°C) und elektrischem Strom verwertet (siehe Abbildung 4.10). Die Abwärme wird über ein Wärmetauschersystem in die Prozessheißwasser-Leitung eingespeist und zur Beheizung der beiden Faultürme genutzt. Der darüber hinaus gehende Prozessheißwasser-Bedarf wird durch den Betrieb von Gaskesseln abgedeckt.

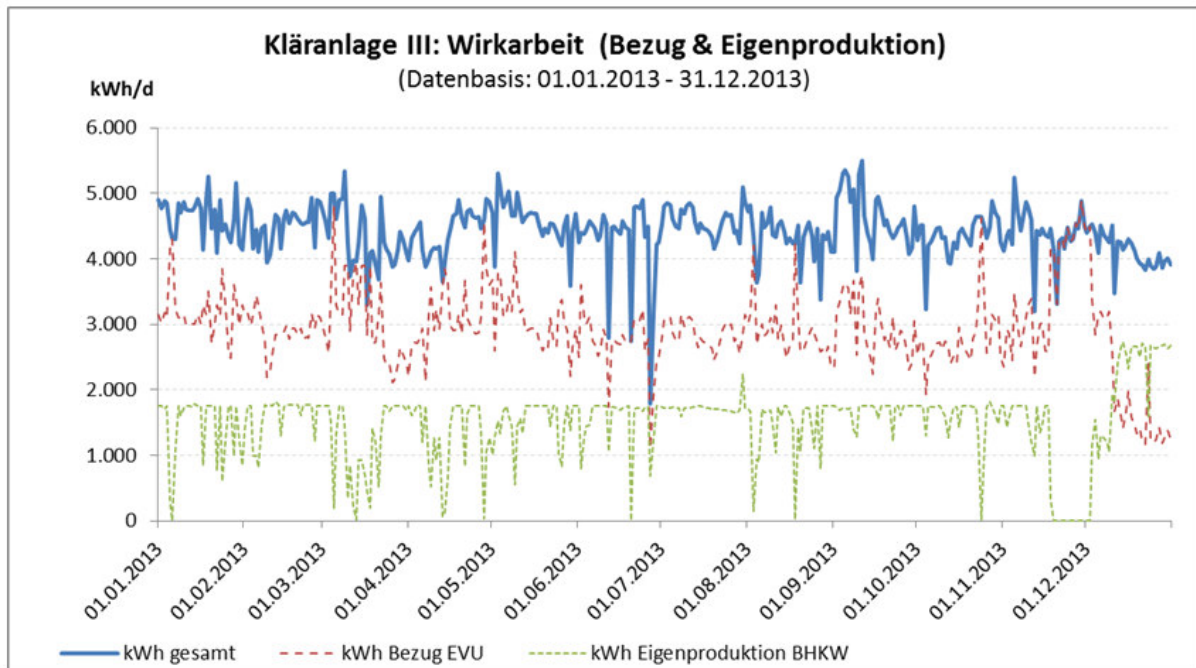


Abbildung 4.10: Energieverbrauch in kWh/a aus Bezug & Eigenstromproduktion (Datenbasis: 2013)

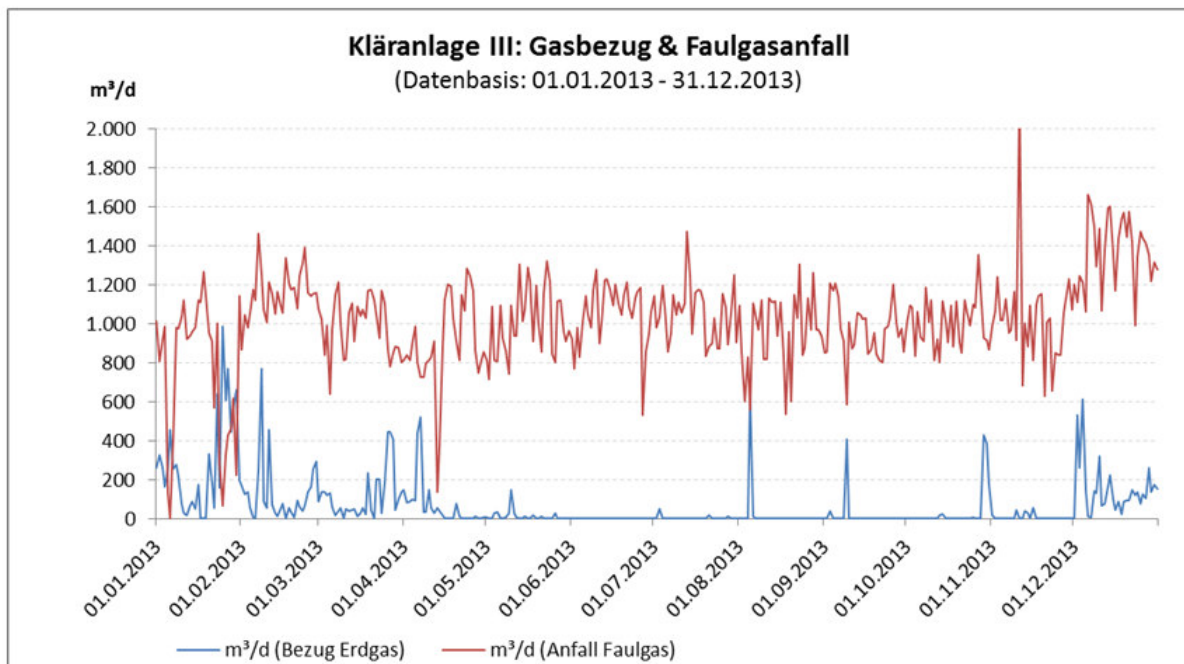


Abbildung 4.11: Erdgas-Bezug und Faulgas-Anfall (Datenbasis: 2013)

Zur Speicherung des anfallenden Faulgases steht ein Gasspeicher mit einem Volumen von 99 m³ zur Verfügung. Bei Bedarf an zusätzlicher Wärmeenergie (Winter) erfolgt der Betrieb des BHKWs abhängig vom Speicherfüllstand. Bei Abfall des Füllstandes auf 20 % wird der BHKW Betrieb auf Erdgas umgestellt. Bei einem Füllstand von 50 % wird das BHKW wieder mit Faulgas betrieben. In der wärmeren Jahreszeit, wenn keine bzw. nur eine geringe Menge an Wärmeenergie benötigt wird, wird

das BHKW bis auf minimal 70 kW (dies entspricht 56,5 %) gedrosselt. Ist zu wenig Faulgas vorhanden, wird das BHKW abgestellt.

Die Evaluierung des technischen Potenzials zur Verschiebung elektrischer Lasten im Kläranlagenbetrieb erfolgte wiederum auf Basis der Auswertung und Analyse der dokumentierten und vorliegenden Betriebsdaten. Die Auswertung erfolgte auf Grundlage der Parameter *Wirkarbeit*, *Betriebsstunden*, *Wirkleistung* und *sonstiger beeinflussender Faktoren* wie vereinbartes Bezugsrecht und Eigenstromproduktion. Die Auswertung und Analyse erfolgte des Weiteren nach Möglichkeit innerhalb der Systemgrenzen „Einzel-Aggregate“. Die Leistungsaufnahme der untersuchten Aggregate wurde auf Basis durchgeführter Messungen (Stromstärke) ermittelt bzw. auf Basis der dokumentierten Nennleistung bei einzelnen Aggregaten abgeschätzt. Die Betriebsstunden der jeweiligen Aggregate werden laufend aufgezeichnet.

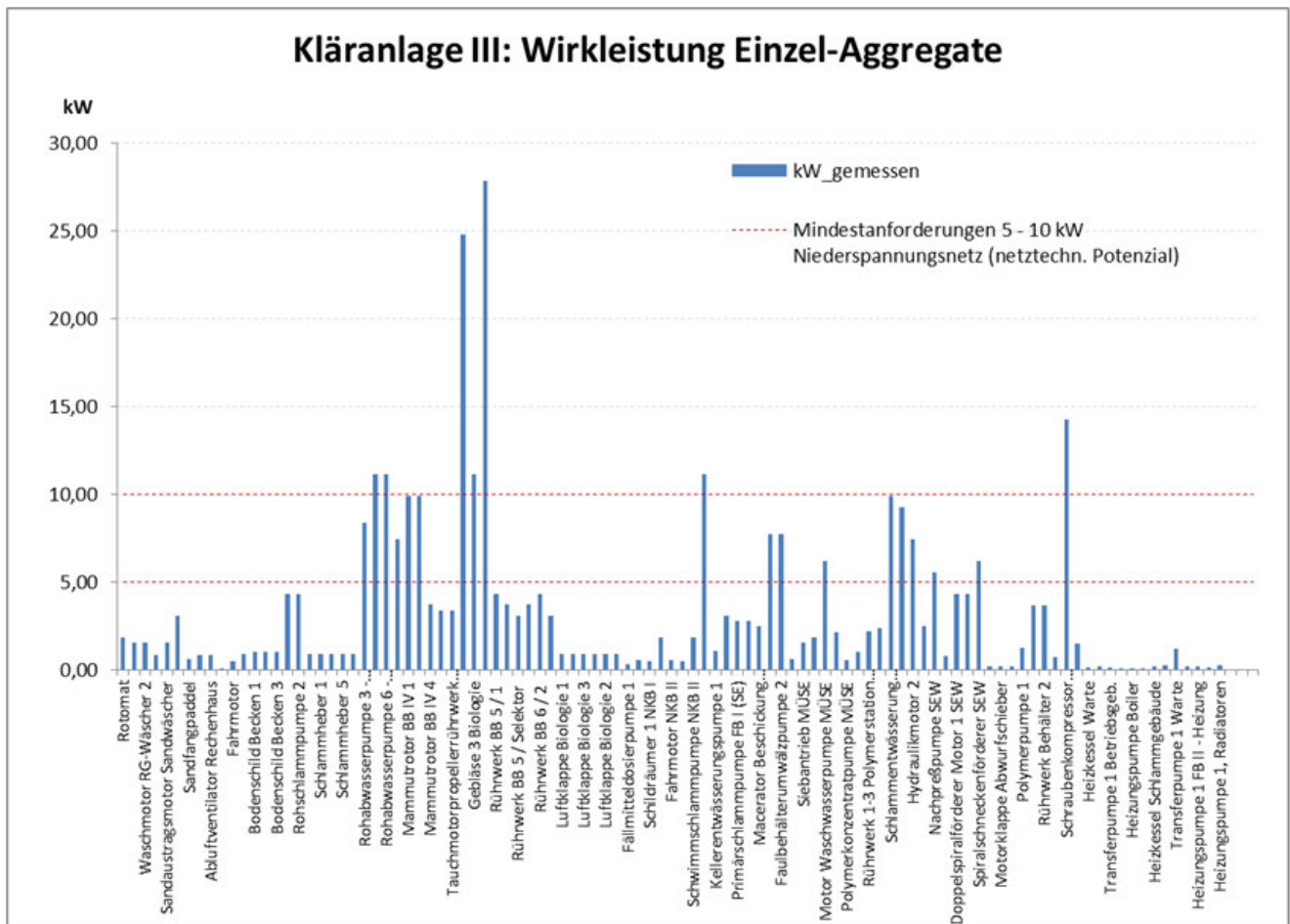


Abbildung 4.12: Wirkleistung ausgewählte Einzel-Aggregate Kläranlage III (Datenbasis: 2013)

Aus netztechnischer Sicht sind im Niederspannungsnetz verschiebbare Lasten unter 5 – 10 kW nicht relevant (Auswertung KA III siehe Abbildung 4.12). Im Rahmen der Beurteilung des technischen Lastverschiebungspotenzials wurde wiederum überprüft, ob einzelne Aggregate nicht zu Aggregate-Gruppen zusammengefasst werden können.

Auf Basis der durchgeführten Analysen von Kläranlage III konnten für die nachstehend aufgelisteten verbrauchs- und leistungsbestimmenden Aggregate ein aus klärtechnischer Sicht relevantes Potential festgestellt werden: *Rohschlamm-Pumpe, Rohabwasser-Pumpe, Rücklaufschlamm-Pumpe, Mammutrotor, Tauchmotorpropeller-Rührwerk, Gebläse/Belüftung, Rührwerke, Nutzwasser-Pumpe (Brunnen), Primärschlamm-Pumpe, Faulbehälterumwälzpumpe, Schlammmentwässerung (Schlammmentwässerung Beschickungspumpe, Hydraulikmotor Kammerfilterpresse, Nachpresspumpe, Doppelspiralförderer-Motor, Spiralschneckenförderer, Rührwerk Behälter), Schraubenkompressor.*

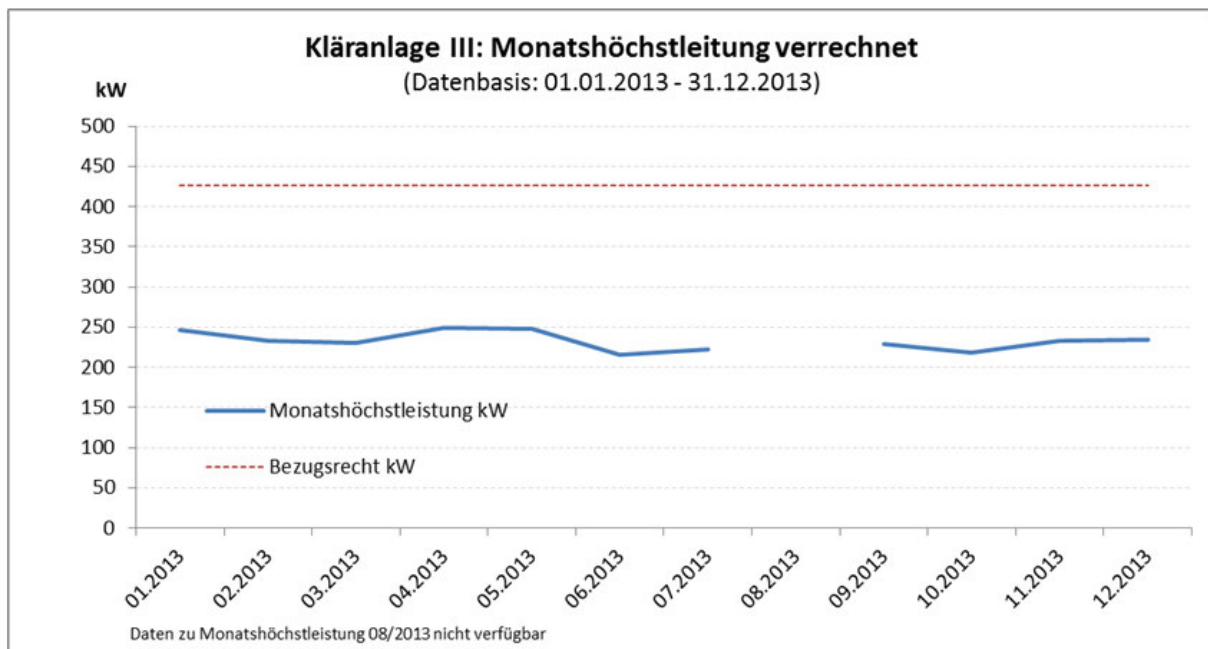


Abbildung 4.13: Monatshöchstleistung verrechnet und vereinbartes Bezugsrecht Kläranlage III

Das vereinbarte Bezugsrecht und die damit verbundenen Kosten zur Verrechnung der max. bezogenen Leistung (= Leistungsspitze pro Monat) bestimmen im Wesentlichen das aus betriebswirtschaftlicher Sicht vorliegende Potenzial (= nutzbares Potenzial) zur zeitlichen Verschiebung elektrischer Lasten bzw. das Potenzial zur positiven Beeinflussung der gegebenen Lastkurven. Ein wirtschaftlicher Nutzen kann aufgrund der vorliegenden Kostenstruktur nur durch eine Reduktion der Leistungsspitzen erzielt werden.

Im Jahresmittel liegt die Monatshöchstleistung bei 55 % des vereinbarten Bezugsrechts in der Höhe von 426 kW (siehe Abbildung 4.13).

Eine Reduktion der Leistungsspitzen um beispielsweise 15 % (Basis: Leistungsspitze pro Monat) wurde auf Basis der vorliegenden Kostenstruktur zu einer Einsparung von rund € 1.100.- oder 1 % der Strombezugskosten führen.

4.4 Kläranlage IV

4.4.1 Verfahrenstechnische Analyse der Kläranlage

Kläranlage IV ist als einstufige Belebungsanlage mit Stickstoffentfernung, biologischer und chemischer Phosphorelimination und Schlammfäulung ausgeführt und weist eine durchschnittliche Anlagebelastung von rund 250.000 EW (Einwohnerwerten) auf. Die Auswertung der Betriebsaufzeichnung für das Jahr 2014 zeigt eine CSB-Zulaufkraft von **28.149 kg CSB/d**; dies entspricht **234.570 EW-CSB₁₂₀**.

Tabelle 4.4: Zulaufkräften Kläranlage IV (Datenbasis: 2014)

	BSB5	CSB	NH4-N	Ges.N	Ges.P
Jänner	15.161	29.962	1.653	2.494	338
Februar	14.676	30.317	1.522	2.289	335
März	15.860	30.361	1.669	2.464	322
April	14.910	28.267	1.557	2.317	304
Mai	15.628	27.703	1.538	2.629	327
Juni	17.112	28.144	1.439	2.435	311
Juli	15.133	27.150	1.397	2.276	297
August	13.804	25.727	1.317	2.297	266
September	13.871	26.942	1.406	2.512	298
Oktober	14.085	25.987	1.475	2.383	311
November	14.783	28.289	1.589	2.426	330
Dezember	15.957	28.934	1.606	2.454	329
Mittel 2012	15.082	28.149	1.514	2.415	314
spez. Fracht [g/(EW.d)]	60	120	6	11	2
EW	251.360	234.570	252.320	219.520	184.710

Zulaufkräften aus dem Mittelwert der Tageskräften in [kg/d]

4.4.2 Energieanalyse der Kläranlage

Die Auswertung der Betriebsaufzeichnungen für 2014 zeigt einen Energieverbrauch von in Summe **7.163.435 kWh_{el}/a**. Dies entspricht einem Energieverbrauch von im Jahresmittel **19.626 kWh_{el}/d**. Die Versorgung erfolgt direkt aus dem Mittelspannungsnetz (Netzebene 5).

Auf Basis der ermittelten mittleren Zulaufbelastung in der Höhe von 234.570 EW-CSB₁₂₀ errechnet sich ein spezifischer Energieverbrauch von **31 kWh_{el}/(EW-CSB₁₂₀.a)**.

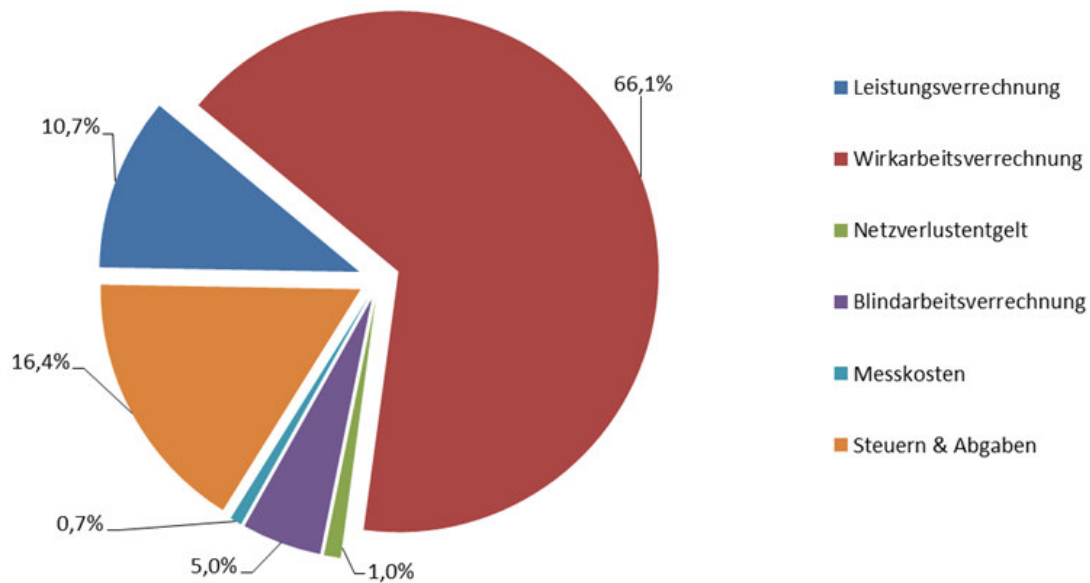


Abbildung 4.14: Zusammensetzung der Strombezugskosten EVU Kläranlage VI (Datenbasis: 2014)

Die laufenden Strombezugskosten setzen sich den in Abbildung 4.14 dargestellten Positionen zusammen. Den Hauptanteil nimmt mit rund 66 % die Verrechnung der Wirkarbeit, d.h. die Verrechnung der verbrauchten elektrischen Energie ein. Die Verrechnung der bezogen Leistung nimmt rund 10 % der laufenden Strombezugskosten ein und setzt sich aus dem Netznutzungsentgelt zusammen. Verrechnet wird die höchste Leitungsspitze des Monats. Darüber hinaus sind 5 % der Strombezugskosten der Verrechnung von Blindarbeit zuzuordnen.

Als maximale Monatshöchstleistung (= Bezugsrecht) sind **1.326 kW** vereinbart.

In Abbildung 4.15 dargestellt ist der tägliche Energieverbrauch für den Zeitraum von 01.01.2014 bis 31.12.2014 (Jahresmittel 19.926 kWh_{el}/d). Rund 83 % des Energiebedarfs wurde im Jahr 2014 durch Eigenstromproduktion mittels BHKW abgedeckt.

Anfallendes Faulgas wird mit 3 BHKWs à 330 kW verwertet. Am Standort wird Biomüll als Co-Substrat eingesetzt.

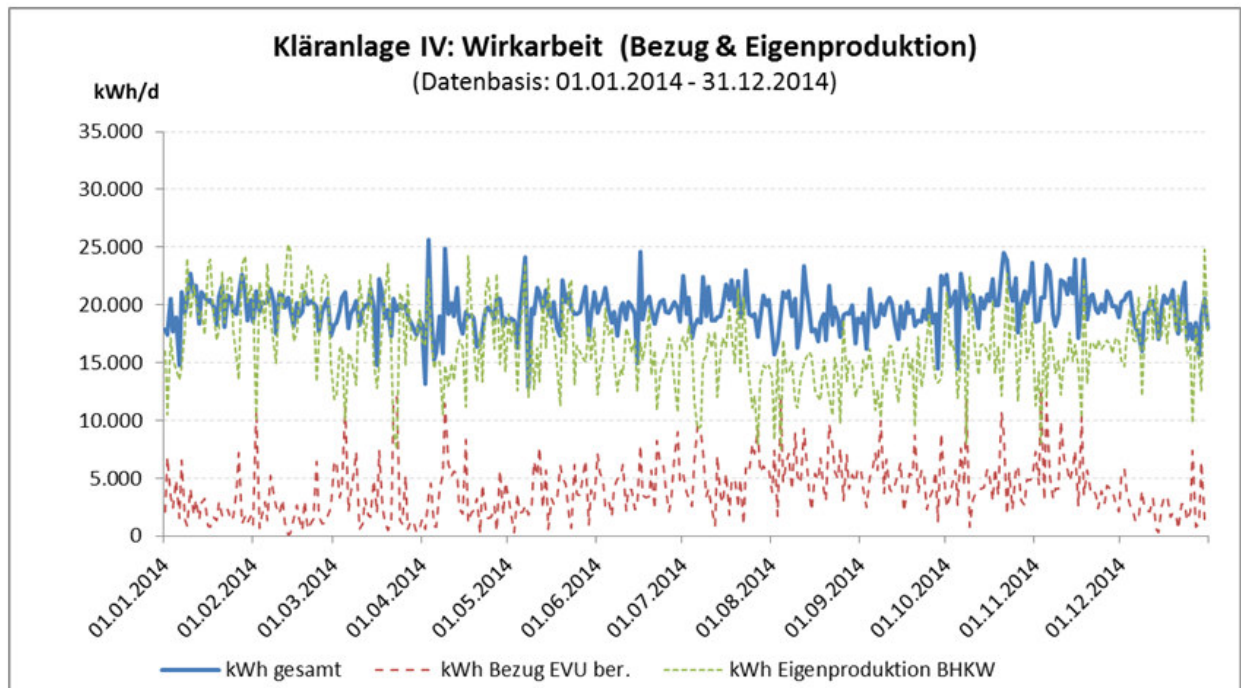


Abbildung 4.15: Energieverbrauch in kWh/a aus Bezug & Eigenstromproduktion (Datenbasis: 2014)

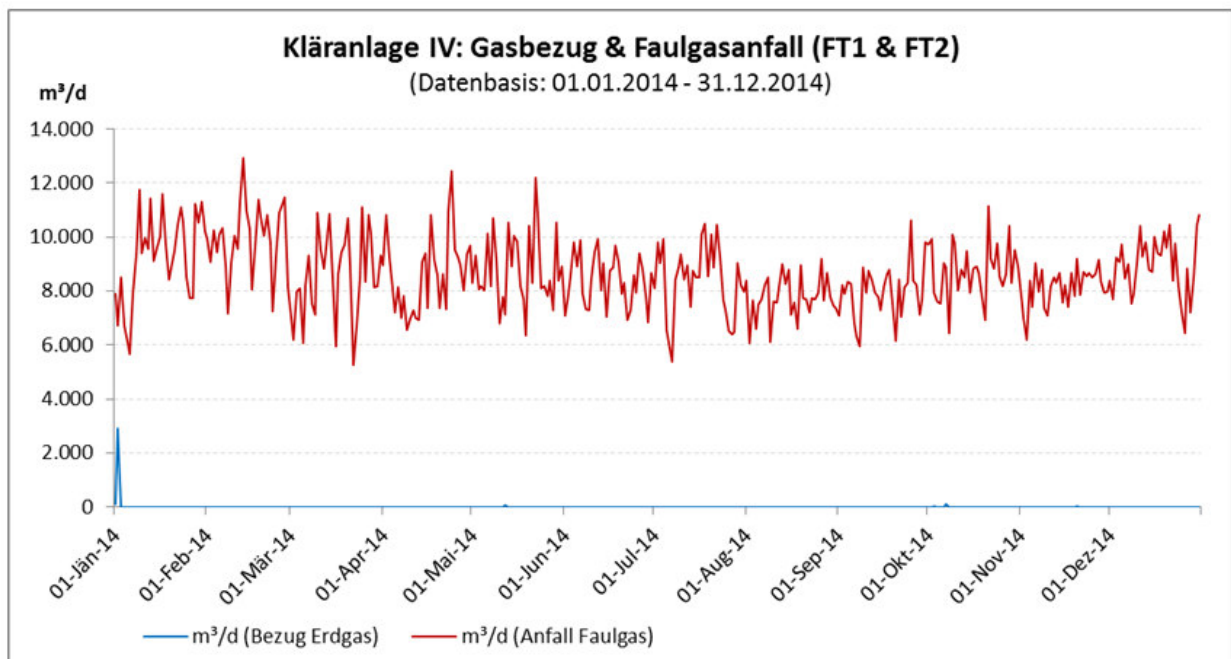


Abbildung 4.16: Erdgas-Bezug und Faulgas-Anfall (Datenbasis: 2014)

Die Evaluierung des technischen Potenzials zur Verschiebung elektrischer Lasten im Kläranlagenbetrieb erfolgte wiederum auf Basis der Auswertung und Analyse der dokumentierten und vorliegenden Betriebsdaten. Die Auswertung erfolgte auf Grundlage der Parameter *Wirkarbeit*, *Betriebsstunden*, *Wirkleistung* und *sonstiger beeinflussender Faktoren* wie vereinbartes Bezugsrecht und Eigenstromproduktion. Die Auswertung und Analyse erfolgte des Weiteren nach Möglichkeit innerhalb

der Systemgrenzen „Einzel-Aggregate“. Die Leistungsaufnahme der untersuchten Aggregate wurde auf Basis der Auswertung der laufenden betrieblichen Aufzeichnungen (Messnetzwerk) ermittelt/ausgewertet.

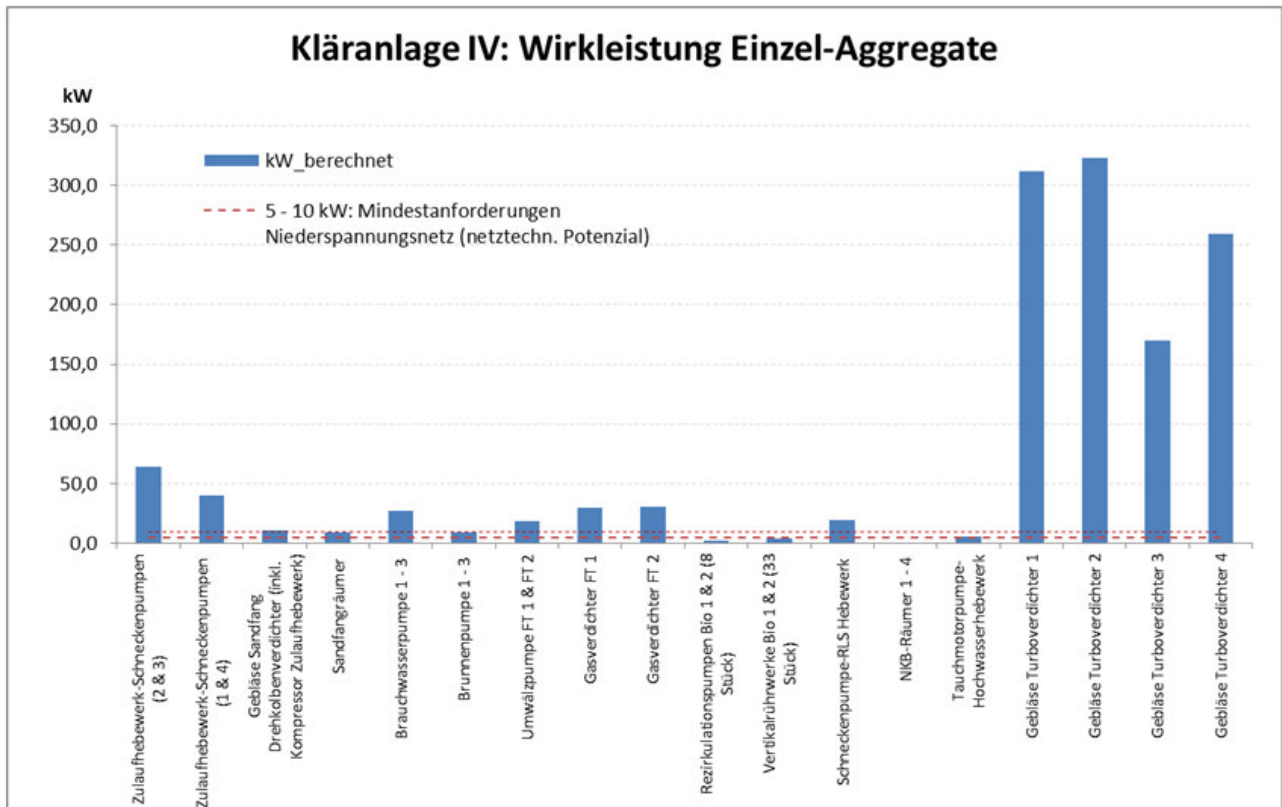


Abbildung 4.17: Wirkleistung ausgewählte Einzel-Aggregate Kläranlage IV (Datenbasis: 2014)

Aus netztechnischer Sicht sind im Niederspannungsnetz verschiebbare Lasten unter 5 – 10 kW nicht relevant. Abbildung 4.17 zeigt ausgewählte und für die weitere Analyse herangezogen Aggregate bzw. Aggregate-Gruppen. Abbildung 4.18 zeigt einen typischen Tageslastgang der leistungsbestimmenden Aggregate-Gruppe Turboverdichter (Belüftung) für einen Wintermonat.

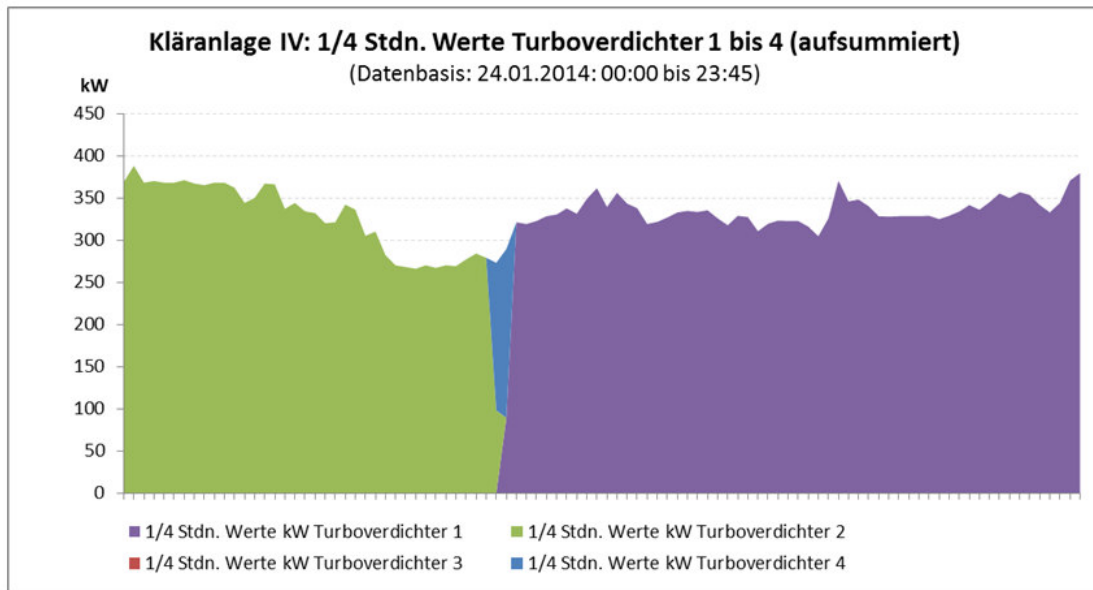


Abbildung 4.18: Beispiel Tageslastgang für Wintermonat Kläranlage IV (Datenbasis: 2014)

Auf Basis der durchgeführten Analysen von Kläranlage IV konnten für die nachstehend aufgelisteten verbrauchs- und leistungsbestimmenden Aggregate ein aus klärtechnischer Sicht relevantes Potential festgestellt werden (siehe dazu auch Abbildung 4.17): *Zulaufhebewerk-Schneckenpumpen, Gebläse Sandfang Drehkolbenverdichter, Sandfangräumer, Brauchwasserpumpen, Brunnenpumpen, Umwälzpumpen Faulturm, Gasverdichter Faulturm, Rezirkulationspumpen Biologie, Vertikalrührwerke Biologie, Schneckenpumpen RLS-Hebewerk, NKB-Räumer, Gebläse Turboverdichter, Maschinelle Überschussschlammeindickung (MÜSE), Schlammmentwässerung (SEW).*

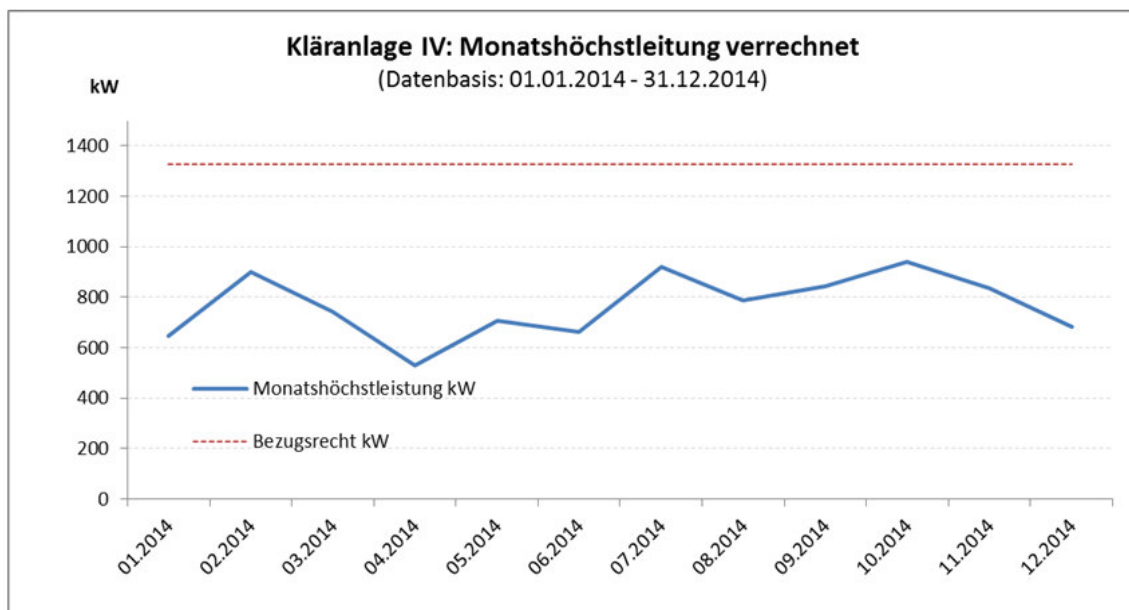


Abbildung 4.19: Monatshöchstleistung verrechnet und vereinbartes Bezugsrecht Kläranlage IV

Das vereinbarte Bezugsrecht und die damit verbundenen Kosten zur Verrechnung der max. bezogenen Leistung (= Leistungsspitze pro Monat) bestimmen im Wesentlichen das aus betriebswirtschaftlicher Sicht vorliegende Potenzial (= nutzbares Potenzial) zur zeitlichen Verschiebung elektrischer Lasten bzw. das Potenzial zur positiven Beeinflussung der gegebenen Lastkurven. Ein wirtschaftlicher Nutzen kann aufgrund der vorliegenden Kostenstruktur nur durch eine Reduktion der Leistungsspitzen erzielt werden.

Im Jahresmittel liegt die Monatshöchstleistung bei 70 % des vereinbarten Bezugsrechts in der Höhe von 1.326 kW (siehe Abbildung 4.19).

Eine Reduktion der Leistungsspitzen um beispielsweise 15 % (Basis: Leistungsspitze pro Monat) wurde auf Basis der vorliegenden Kostenstruktur zu einer Einsparung von rund € 3.300.- oder 1,5 % der Strombezugskosten führen.

5 Erfassung und technische Umsetzung der Lastverschiebungspotenziale auf kommunalen Kläranlagen

5.1 Dynamische Simulation der biologischen Abwasserreinigungsstufen als Basis für die Ermittlung der Lastverschiebungspotenziale

Bei fast allen kommunalen Kläranlagen wird die biologische Abwasserreinigung heute mittels des Belebungsverfahrens durchgeführt. Das Belebungsverfahren ist ein aerober biologischer Prozess, in dem zum Abbau der Schadstoffe Sauerstoff zugeführt werden muss. Dafür wird viel Energie benötigt. Je nach Kläranlagentyp werden für die Belüftung der Belebungsbecken etwa 30 bis 70 % des gesamten Stromverbrauchs der Kläranlage benötigt. In der Belüftung der Belebungsbecken liegt daher ein großes Potenzial für die elektrische Lastverschiebung.

Im Gesamtsatz zu anderen Prozessen, wie zum Beispiel der Entwässerung des bei der Abwasserreinigung anfallenden Klärschlammes, kann die Belüftung der Belebtschlammssysteme nicht beliebig verschoben werden, da die Gefahr besteht, dass geforderte Ablaufwerte – insbesondere für den Parameter Ammonium-Stickstoff ($\text{NH}_4\text{-N}$) – überschritten werden.

Für die Abbildung des dynamischen Verhaltens von Belebtschlammssystemen hat sich seit den 1980er Jahren die dynamische Simulation mittels der Belebtschlammmodelle der IWA (International Water Association) sehr bewährt. In welchem Ausmaß sich der Energieverbrauch für die Belüftung des Belebungsbeckens verschieben lässt, wurde daher im Rahmen dieses Projekts mittels dynamischer Simulation nach dem „Activated Sludge Model No. 1“ (ASM1) [Henze *et al.*, 1987] untersucht. Für die praktische Anwendung dieses Modells gibt es verschiedene Computerprogramme, von denen für das gegenständliche Projekt das Programm ASIM [Fankhauser und Gujer, 2014], welches als Freeware für Lehre und Forschung frei zugänglich ist, herangezogen wurde. Um dieses Modell sinnvoll anwenden zu können, sind zuvor typische Tagesganglinien des Abwasserzuflusses, sowie der Zulaufwerte für die relevanten Abwasserparameter zu erheben. Diese Untersuchungen werden auf kommunalen Kläranlagen in aller Regel nicht im Rahmen der routinemäßigen Eigenüberwachung durchgeführt. Daher wurden die Betreiber der Kläranlagen, die hinsichtlich möglicher Lastverschiebungen näher analysiert werden sollten, ersucht an drei hintereinander folgenden Werktagen mit Trockenwetterbedingungen aus 4-Stunden-Mischproben die CSB-, die Gesamt-N-, die $\text{NH}_4\text{-N}$ - und allenfalls auch die $\text{NO}_3\text{-N}$ -Zulaufkonzentration zu analysieren.

Ziel der dynamischen Simulation der Belebungsanlage mit dem ASM1 war es also herauszufinden, in welchem Maße sich der Energieverbrauch für die Belüftung des Belebungsbeckens verschieben lässt. Da das ASM1 konsequent auf den bilanzierbaren Größen CSB und Stickstoff aufgebaut ist, können auf diesem Wege auch zusätzlich die Betriebsdaten der Kläranlage verifiziert werden.

5.2 Beispiele für die Vorgehensweise zur Ermittlung der Lastverschiebungspotenziale bei einzelnen Kläranlagen

5.2.1 Prinzipielle Vorgehensweise

Nachdem die Kläranlagen, für die das Lastverschiebungspotenzial ermittelt werden sollte, nochmals mittels Bilanzierung hinsichtlich ihrer Belastungsverhältnisse untersucht wurden, d.h. die gemessenen Zulaufkräften verifiziert wurden, wurden parallel zwei Arbeitsschritte durchgeführt:

- Einerseits wurde mittels der dynamischen Simulation untersucht, wie lange hintereinander, d.h. über welche Zeiträume hinweg, innerhalb von 24 Stunden die Belüftung der Belebungsbecken abgestellt werden kann, ohne dass die Gefahr besteht, dass Ablaufwerte überschritten werden und
- andererseits wurden die im Zuge der Energieanalyse erhobenen Stromverbrauchswerte der einzelnen Aggregate zu größeren Einheiten entsprechend der Anlagenteile bzw. der Behandlungsschritte zusammengefasst.

Die Untersuchungen hinsichtlich der möglichen Dauer des Abschaltens der Belüftungssysteme mit Hilfe der dynamischen Simulation der biologischen Reinigungsstufe wurden sowohl für die Tageszeiten mit hoher Belastung (in der Regel nach dem Einsetzen der Morgenspitze) als auch für Zeiten mit niedriger Belastung (in den Nachtstunden bzw. etwa ab Mitternacht, je nach Fließzeit im vorgelagerten Kanalnetz) durchgeführt. Dabei wurde der Zeitraum, in dem die Sauerstoffzufuhr abgestellt ist, solange verkürzt bis in der Simulation der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwert im Tagesmittel bei etwa 1,5 mg/L bzw. maximal bei ca. 2 mg/L lag. Zwar beträgt der Grenzwert für die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufkonzentration entsprechend den österreichischen rechtlichen Bestimmungen für die meisten kommunalen Kläranlagen 5 mg/L im Tagesmittel, es sollte aber dem Umstand Rechnung getragen werden, dass erfahrungsgemäß, wenn 2 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$ im Ablauf erreicht sind, die Gefahr besteht, dass der Ablaufwert rasch gegen 5 mg/L geht. Außerdem werden mit dieser Vorgabe (max. rund 2 mg $\text{NH}_4\text{-N/L}$) auch Unsicherheiten im Simulationsmodell als Folge darin getroffener Vereinfachungen abgedeckt. So wird zum Beispiel im Simulationsmodell der Umstand nicht berücksichtigt, dass es nach einer längeren Zeit ohne Sauerstoffversorgung etwas dauert, bis die nitrifizierenden Bakterien wieder ihre volle Leistungsfähigkeit erreichen haben (Lag-Phase).

Beim Zusammenfassen der einzelnen Aggregate (Stromverbraucher) wurde darauf Rücksicht genommen, ob die einzelnen, dabei gebildeten größeren Einheiten ständig in Betrieb sind bzw. sein müssen, oder ob sie über einen längeren Zeitraum abgestellt werden können, oder ob sie überhaupt nur über wenige Stunden betrieben werden.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung der Lastverschiebungspotenziale wird in den folgenden Punkten (ab Abschnitt 5.4.2) anhand von zwei Beispiel-Kläranlagen erläutert.

5.2.2 Stromverbrauch von kommunalen Kläranlagen nach Anlagenteilen

In den ersten Arbeiten, die in Österreich zum Thema „Energieoptimierung auf Kläranlagen“ durchgeführt wurden [Agis, 2001] [Agis, 2002] [Nowak, 2002], wurde bereits ziemlich exakt herausgearbeitet, welcher Energieverbrauch in Abhängigkeit von Kläranlagen-Typ für die einzelnen Anlagenteile zu erwarten sind.

Etwa 90 % aller kommunaler Kläranlagen in Österreich sind entweder als

- Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung, oder als
- Belebungsanlagen mit beheizter Schlammfäulung konzipiert.

Bei Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung werden die Belebungsbecken so groß ausgelegt, dass der darin als Überschussschlamm anfallende Klärschlamm bereits beim Abzug aus dem Belebtschlammssystem, der biologischen Stufe der Abwasserreinigung, als „stabilisiert“ betrachtet werden kann, d.h. in eine (weitgehend) fäulnisfähige Form übergeführt wurde. Daher werden diese Kläranlagen ohne Vorklärung errichtet, weil hier wieder ein Schlamm anfallen würde, der in einer eigenen Behandlungsstufe stabilisiert werden müsste.

Bei Belebungsanlagen mit Schlammfäulung wird der Überschussschlamm der biologischen Stufe in „Faulbehältern“ anaerob stabilisiert. Verfahrenstechnisch betrachtet sind „Faulbehälter“ „Biogasanlagen“ gleichzusetzen. Die meisten Kläranlagen mit Schlammfäulung verfügen auch über Vorklärbecken. Der darin anfallende Primärschlamm wird ebenfalls der Schlammfäulung zugeführt. Um die Faulbehälter möglichst klein zu halten, wird den anfallenden Klärschlämmen durch Schlammeindickung Wasser entzogen. Dabei wird der Primärschlamm zumeist „statisch“ in Schwerkrafteindickern, der Überschussschlamm „mechanisch“ mittels maschineller Überschussschlammeindickung (MÜSE) eingedickt. Bei beiden Kläranlagen-Typen ist als letzte Verfahrensstufe der Schlammbehandlung in der Regel – außer bei kleinen Kläranlagen, falls diese den Klärschlamm als eingedickten Schlamm landwirtschaftlich verwerten – eine Schlammentwässerung angeordnet.

Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung zeichnen sich gegenüber Kläranlagen mit beheizter Schlammfäulung durch spezifisch niedrigere Investitionskosten aus – insbesondere bei kleineren bis mittelgroßen Kläranlagen. Belebungsanlagen mit beheizter Schlammfäulung weisen im Betrieb hingegen einen geringeren Energiebedarf auf, wobei nicht nur aus dem anfallenden „Faulgas“ (= „Biogas“) Energie gewonnen wird, sondern auch der Stromverbrauch der Kläranlage wegen dem niedrigeren spezifischen Energiebedarf für die Belüftung in der Regel insgesamt etwas geringer ist. Unter Betrachtung der Investitions- und Betriebskosten sind aus Gründen der Wirtschaftlichkeit bei Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von bis zu 20.000 EW jedenfalls Anlagen mit aerober Schlammstabilisierung wirtschaftlicher als solche mit Schlammfäulung, während bei Kläranlagen größer 50.000 EW Ausbaugröße auf alle Fälle Anlagen mit Schlammfäulung insgesamt wirtschaftlicher sind. Welcher Kläranlagentyp im Bereich zwischen 20.000 und 50.000 EW Ausbaugröße hinsichtlich der Gesamtkosten als wirtschaftlicher anzusehen ist, hängt von den jeweiligen spezifischen Energiekosten (Strompreis) sowie von der Art der Schlammentsorgung bzw. -verwertung ab, zumal bei einer Kläranlage mit aerober Stabilisierung mehr Klärschlamm anfällt als bei Anlagen mit Schlammfäulung.

In Abbildung 5.1 ist der Stromverbrauch nach Anlagenteilen von sehr energieeffizienten Kläranlagen aus einer Veröffentlichung von Agis (2002) der Strombereitstellung gegenübergestellt. Anzumerken ist, dass in der damaligen Studie (Agis, 2001) die durchschnittliche Anlagenbelastung in Einwohnerwerten (EW) auf der Basis von 110 g CSB/(EW.d) ermittelt wurde, während in der gegenständlichen Arbeit von 120 g CSB/(EW.d) ausgegangen wurde. Der EW-spezifische Stromverbrauch ist folglich rechnerisch mit 110 g CSB/(EW.d) um 8,3 % geringer als bei 120 g CSB/(EW.d). Zudem ist festzustellen, dass der in

Abbildung 5.1 angegebene Stromverbrauch für eine Kläranlage mit simultaner aerober Schlammstabilisierung (ohne Faulung, ohne Vorklärung – VKL) mit 21 kWh/(EW_{110.a}) aus heutiger Sicht als sehr gering anzusehen ist. Vielmehr ist auch bei energieeffizienten Kläranlagen ohne Schlammfäulung mit einem Stromverbrauch entsprechend rund 30 kWh/(EW_{120.a}) zu rechnen. Bei Kläranlagen mit Schlammfäulung ist hingegen ein spezifischer Stromverbrauch von rund 20 kWh/(EW_{110.a}) durchaus erzielbar. Energieeffiziente Kläranlagen mit Schlammfäulung liegen heute bei etwa 20 bis 25 kWh/(EW_{120.a}). Festzuhalten ist allerdings, dass bei den Angaben in Abbildung 5.1 der Stromverbrauch für das Zulauf-Pumpwerk nicht enthalten ist, zumal dieser sehr stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängig ist.

kWh/(EW_{110.a})

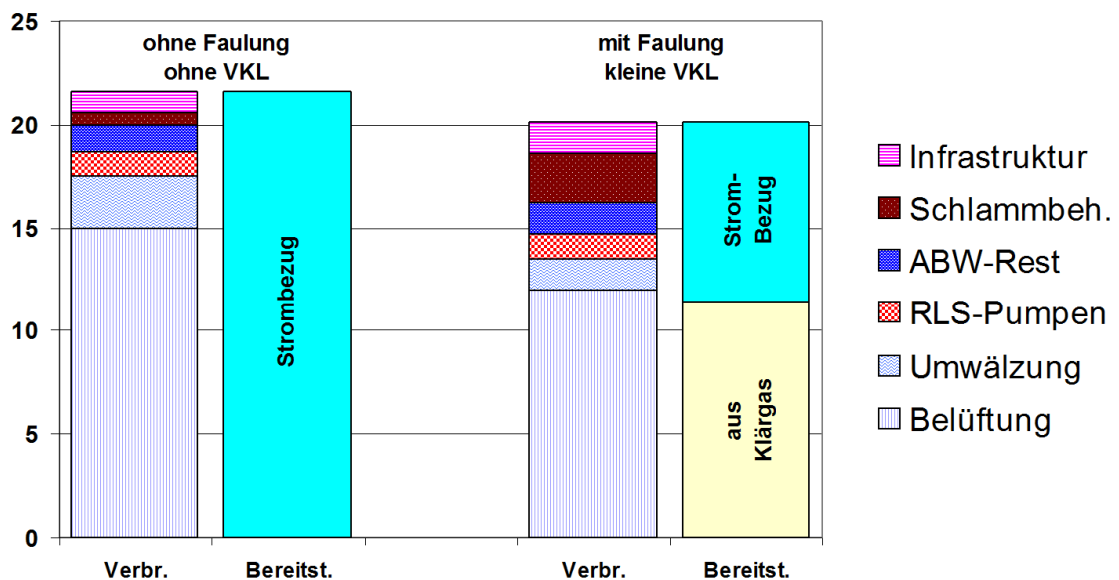


Abbildung 5.1: Stromverbrauch (ohne Zulaufpumpwerk) und Strombereitstellung bei sehr energieeffizienten Kläranlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung (ohne Faulung, ohne Vorklärung) bzw. mit beheizter Schlammfäulung (und kleiner Vorklärung – VKL)

Quelle: [Agis, 2002]

Aus Abbildung 5.1 wird ersichtlich, dass in den beiden dargestellten Fällen der Stromverbrauch für die Belüftung (der Belebungsbecken) jeweils zu mehr als der Hälfte zum Gesamtverbrauch beiträgt. Dabei ist der Anteil der Belüftung bei Kläranlagen mit Schlammfäulung geringer als bei Anlagen mit simultaner Schlammstabilisierung, bei denen der hohe Energieverbrauch für die Belüftung dadurch erklärbar wird, dass der Sauerstoff im Belebungsbecken nicht nur für die biologische Abwasserreinigung, sondern auch für die Schlammstabilisierung benötigt wird. Unter „Umwälzung“ sind die in den Belebungsbecken installierten Rührwerke zu verstehen. Diese Rührwerke werden dafür benötigt den Belebtschlamm während der „anoxischen“ Phasen in Schwebe zu halten. Diese Phasen ohne gelösten Sauerstoff werden benötigt um den Stickstoff durch Denitrifikation aus dem Abwasser zu entfernen. Auch für die Rührwerke („Umwälzung“) wird bei Anlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung mehr Energie

benötigt als bei Kläranlagen mit Schlammfäulung, weil bei ersteren die Belebungsbecken spezifisch ein deutlich größeres Volumen aufweisen als bei Kläranlagen mit anaerober Stabilisierung.

Ein weiterer nennenswerter Energieverbraucher ist das Rücklaufschlamm-Pumpwerk („RLS-Pumpen“ in Abbildung 5.1). Und schließlich ist der Energieverbrauch für die Schlammbehandlung, die bei Kläranlagen mit beheizter Schlammfäulung deutlich komplexer ist als bei Anlagen mit simultaner aerober Stabilisierung, bei Anlagen mit Schlammfäulung spezifisch größer ist als bei solchen mit aerober Schlammstabilisierung.

Bei Kläranlagen mit beheizter Schlammfäulung wird das Faulgas zumeist über Kraft-Wärme-Kopplung mittels Blockheizkraftwerk (BHKW) energetisch genutzt. Mit dem dabei erzeugten Strom werden in der Regel rund 50 bis 90 % des Strombedarfs der Kläranlage abgedeckt, wobei es in Österreich kommunale Kläranlagen gibt, die auch ohne zusätzliche Energiequellen, wie z.B. die organische Reststoffe, die der Schlammfäulung zugegeben werden, eine mehr als 100 %-ige Eigenstromabdeckung aufweisen, d.h. mehr Strom erzeugen als sie verbrauchen [Nowak et al., 2011].

5.2.3 Erhebung der Lastverschiebungspotenziale anhand von zwei Beispielanlagen

Grundsätzlich wurden alle im Rahmen dieses Projekts im Detail analysierten Kläranlagen hinsichtlich ihres Lastverschiebungspotenzials untersucht. Bei Kläranlage II hat sich die Datenlage sowohl hinsichtlich der Abwasserbelastung als auch des Stromverbrauchs einzelner Aggregate als unsicher erwiesen, wohingegen Kläranlage IV zu komplex ist, als dass eine detailliertere Darstellung der Ergebnisse den Rahmen dieses Berichts nicht sprengen würde. Im Detail dargestellt werden hier nun die Auswertungen der Analysen des Lastverschiebungspotenzials der Kläranlagen I und III.

Die Kläranlagen I und III liegen hinsichtlich ihrer Anlagenbelastung etwa in der gleichen Größenordnung, wobei die Kläranlage I eine typische Kläranlage mit simultaner aerober Schlammstabilisierung ist, während die Kläranlage III mit Vorklärung und beheizter Schlammfäulung ausgestattet ist. Auch die Belastungsverhältnisse können als repräsentativ für diese Kläranlagentypen angesehen werden.

Die Kläranlage III weist aufgrund ihrer gewachsenen Struktur die Eigenheit auf, dass sie in ihrer biologischen Stufe über zwei parallel betriebene Belebungsbecken-Typen verfügt. Über eines der „alten“ Belebungsbecken, die nach Umbau weiterhin mit den alten Oberflächenbelüftern („Stabwalzen“) ausgestattet sind, werden rund 20 % des Abwassers geleitet. Rund 80 % des Abwassers fließen der neuen Belebungsbeckenstraße zu. Da die Gesamtanlage zu komplex ist um sie in der dynamischen Simulation mittels des verwendeten Computer-Programms abzubilden, wurde das noch in Verwendung befindliche alte Belebungsbecken nicht in die Untersuchung des Lastverschiebungspotenzials mit aufgenommen. Vielmehr wurde der Stromverbrauch aller weiteren Anlagenteile bzw. Aggregatgruppen – außer denen, die den neuen Belebungsbecken zuzuordnen sind – nur mit 80 % des tatsächlichen Stromverbrauchs berücksichtigt und die Anlagenbelastung wurde in der Auswertung auf 80 % der gemessenen reduziert. Weiters ist darauf hinzuweisen, dass bei der Kläranlage III die Daten zur Anlagenbelastung des Jahres 2012 herangezogen wurden, weil für 2013 die Bilanz der Kläranlage nicht „aufging“. Konkret gab es offensichtlich einen Minderbefund bei der Zulauf-Belastung. Generell ist festzuhalten, dass bei allen im Rahmen dieses Projekts untersuchten Kläranlagen – mit Ausnahme von Kläranlage I – Unstimmigkeiten in Hinblick auf die Anlagenbelastung festzustellen waren.

Ausgegangen wurde schließlich für die Kläranlage I von einer Anlagenbelastung entsprechend 19.300 EW₁₂₀ und bei der Kläranlage III von 33.500 EW₁₂₀ (80 % der gemessenen und verifizierten Anlagenbelastung des Jahres 2012).

5.2.3.1 Stromverbrauch der beiden Beispielanlagen nach Aggregatgruppen

Bemerkenswert ist, dass – wie in Tabelle 5.1 dargestellt – die Kläranlage I einen deutlich geringeren EW-spezifischen Stromverbrauch aufweist als die Kläranlage III, obwohl im Grunde zu erwarten wäre, dass der spezifische Stromverbrauch der Kläranlage mit simultaner aerober Schlammstabilisierung (Kläranlage I) höher ist als der der Kläranlage mit Schlammfäulung (Kläranlage III). Damit kann die Kläranlage I durchaus als „energieeffizient“ bezeichnet werden, wobei aber auch hier noch ein Verbesserungspotenzial auszumachen ist. Ferner ist zu beachten, dass die Kläranlage kein Zulauf-Pumpwerk aufweist, sondern das Abwasser im freien Gefälle der Kläranlage zufließt. Der Energiebedarf der Kläranlage III ist hingegen spezifisch als hoch anzusehen, wobei dadurch, dass nur die neuen Belebungsbecken mit den zugehörigen Rücklaufschlamm-Pumpen (RS-Pumpen) betrachtet wurden, der spezifische Energieverbrauch geringer war als der der Gesamtanlage, zumal das alte Belebungsbecken einschließlich RS-Pumpen einen noch höheren Stromverbrauch aufweist. Weiters ist darauf hinzuweisen, dass die Werte in Tabelle 5.1 nicht in jedem Fall den Ist-Zustand darstellen, es wurden vielmehr bei einzelnen Aggregaten in dieser Berechnung bereits die Betriebszeiten reduziert um Lastverschiebungen zu ermöglichen. So wurde z.B. bei Kläranlage III die tägliche Betriebszeit der Faulbehälterumwälzpumpen von 24 auf 21 Stunden reduziert.

Tabelle 5.1: Stromverbrauch der Kläranlagen nach Anlagenteilen bzw. Aggregatgruppen

Kläranlage I			Kläranlage III		
kWh/(EW _{120.a})			kWh/(EW _{120.a})		
Belebungsbecken - Belüftung	15,31	56,4%	Belebungsbecken - Belüftung	12,39	32,3%
Belebungs- - Rührwerke etc.	3,47	12,8%	Belebungs- - Rührwerke etc.	5,97	15,6%
RS-Pumpen	2,17	8,0%	Pumpwerke (Zulauf, RS)	7,18	18,8%
ÜS- & SS-Pumpen	0,14	0,5%	Mech. Reinigung & NKB	1,18	3,1%
Mech. Reinigung & NKB	2,76	10,2%	MÜSE	2,91	7,6%
Schlammeindicker	0,22	0,8%	Faulbehälterumwälzpumpen	2,84	7,4%
Schlammentwässerung	1,47	5,4%	Eindicker, Schlammumpen	1,45	3,8%
Infrastruktur	1,59	5,9%	Schlammentwässerung	1,02	2,7%
Summe Stromverbrauch	27,14	100%	Infrastruktur	3,35	8,8%
			Summe Stromverbrauch	38,29	100%

Im Einzelnen ist zu den entsprechenden Anlagenteilen (Aggregatgruppen) Folgendes anzumerken:

Belebungsbecken – Belüftung: Der Energieverbrauch für die Belüftung liegt bei beiden Anlagen im zu erwartenden Bereich. Bei Kläranlage III gilt diese Aussage allerdings nur für die in dieser Auswertung enthaltenen „neuen“ Belebungsbecken.

Belebungsbecken – Rührwerke etc.: Bei beiden Anlagen sind die belüfteten Belebungsbecken als Umlaufbecken mit Druckbelüftung gestaltet. Bei Kläranlage III weist die „neue“ Belebungsbecken-Gruppe zusätzlich vorgeschaltete Denitrifikationsbecken auf. Während bei Kläranlage I auf beiden Seiten der Umlaufbecken Belüfterelemente installiert sind, sind in den Umlaufbecken von Kläranlage III nur auf einer der beiden Seiten Belüfterelemente angeordnet. Zudem befinden sich bei den Belebungsbecken von Kläranlage I Zu- und Ablauf auf den gegenüberliegenden Stirnseiten. Aus diesem Grunde können bei Kläranlage I die Rührwerke während den Belüftungsphasen, bzw. kurz davor und danach, abgestellt werden. Bei Kläranlage III müssen hingegen die Rührwerke durchgehend betrieben werden, weil sich andernfalls der Belebtschlamm in weiten Bereichen der Belebungsbecken absetzen würde. Dies erklärt, warum bei Kläranlage I der Energieverbrauch für die Rührwerke geringer ist als bei Kläranlage III, obwohl letztere ein spezifisch deutlich kleineres Belebungsbeckenvolumen aufweist.

RS-Pumpen; ÜS- & SS-Pumpen (Kläranlage I): Hier wurde der Stromverbrauch für die RS-Pumpen getrennt von dem der Überschussschlamm- und Schwimmschlammumpen (ÜS- & SS-Pumpen) angeführt, weil die RS-Pumpen ständig zumindest auf Teillast betrieben werden müssen, wohingegen sich der Betrieb der ÜS- und SS-Pumpen auf weniger als eine Stunde am Tag reduziert, weswegen diese einen, wenn auch geringen Beitrag zur Lastverschiebung leisten können.

Pumpwerk (Kläranlage III): Die Kläranlage III weist ein zentrales Hebewerk auf, in dem das Abwasser mit dem Rücklaufschlamm gemeinsam in die „neuen“ Belebungsbecken gehoben wird. Dieses muss ständig in Betrieb gehalten werden.

Mechanische Reinigung & Nachklärbecken (NKB): Die mechanische Reinigung umfasst bei beiden Kläranlagen Rechen und Sandfang, bei Kläranlage III zusätzlich auch das Vorklärbecken. Bei Kläranlage III ist der Energiebedarf für den Bereich mechanische Reinigung und Nachklärbecken als gering anzusehen, wohingegen bei Kläranlage I die Räumlichkeiten des Nachklärbeckens einen im Vergleich zu anderen Kläranlagen hohen Energiebedarf aufweisen. Hier besteht Verbesserungspotenzial.

Schlammverdicker (Kläranlage I): Im Bereich der Schlammbehandlung ist der einzige nennenswerte Stromverbraucher, außer der Schlammverwässerung, das Krähwerk im statischen Schlammverdicker. Dieses ist ständig in Betrieb zu halten und der Stromverbrauch ist vergleichsweise gering.

MÜSE, Faulbehälterumwälzpumpen, Verdicker, Schlammumpen (Kläranlage III): Wie zuvor allgemein ausgeführt, ist der Energiebedarf der Schlammbehandlung bei Kläranlagen mit Schlammfäulung deutlich größer als bei solchen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung. Dies ist, wie aus Tabelle 5.1. zu ersehen, auch bei diesem Vergleich zwischen den Kläranlagen I und III der Fall. Dabei ist der Energiebedarf der maschinellen Überschussschlammverdickung (MÜSE) bei der Kläranlage III höher als bei anderen vergleichbaren Kläranlagen, ebenso wie der der Faulbehälterumwälzpumpen.

Schlammverwässerung: Beide Kläranlagen verfügen über Kammerfilterpressen, womit der Energiebedarf vergleichbar wird. Es ist nicht verwunderlich, dass der Energieverbrauch für die Entwässerung bei Kläranlage I mit rund 1,5 kWh/(EW.a) spezifisch etwas höher ist als bei Kläranlage III (ca. 1,0 kWh/(EW.a)), da bei der simultanen aeroben Schlammstabilisierung der Schlamm nicht in

gleicher Weise stabilisiert ist und daher spezifisch mehr Schlamm anfällt als nach der beheizten Schlammfäulung. Bei beiden Kläranlagen ist die Schlammmentwässerung im Mittel nur für etwa 2 bis 2,5 Stunden pro Tag in Betrieb.

Infrastruktur: Der vergleichsweise hohe Energieverbrauch für den Bereich Infrastruktur bei Kläranlage III ist vor allem auf den Betrieb von Nutzwasserpumpen zurückzuführen, die eine große Förderleistung und Förderhöhe aufweisen und 24 Stunden am Tag in Betrieb sind.

5.2.3.2 Lastverschiebungspotenzial der Belüftung der beiden Beispielanlagen

Das Lastverschiebungspotenzial der Belüftung wurde, wie oben ausgeführt, mit Hilfe der dynamischen Simulation ermittelt, wobei für beide Kläranlagen (I und III) untersucht wurde, wie lange die Belüftung durchgehend abgestellt werden kann, ohne dass im Tagesmittel ein $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwert von ca. 1,5 mg/L bzw. in der Spitze von rund 2 mg/L überschritten wird.

Diese Untersuchungen wurden einerseits durchgeführt, um generell das Lastverschiebungspotenzial zu ermitteln, andererseits waren die Untersuchungen bei der Kläranlage I darauf ausgerichtet herauszufinden, inwieweit der Strombedarf der Kläranlage mittels einer groß dimensionierten Photovoltaik-Anlage abgedeckt werden kann, während bei der Kläranlage III das Zusammenspiel zwischen Lastverschiebung im Stromverbrauch und Variabilität der Stromerzeugung aus dem Faulgas über Kraft-Wärme-Kopplung im Vordergrund stand.

Die Untersuchungen zum Lastverschiebungspotenzial der Belüftung mittels dynamischer Simulation hatten Folgendes zum Ergebnis:

- Bei Kläranlage I wurde der Tagesgang der Zulauf-Belastung an 3 hintereinander folgenden Tagen im Jänner 2015 ermittelt. Zu dieser Zeit lag die Temperatur im Belebungsbecken bei rund 8 °C. Dieser Wert wurde auch den Simulationen zugrunde gelegt. Die Simulation des Ist-Zustandes, d.h. ohne Lastverschiebung, ergab eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Realität und den Ergebnissen der Simulation in Hinblick auf die tatsächliche Laufzeit der Luftverdichter (Gebläse), ebenso wie hinsichtlich der Ablaufwerte für $\text{NH}_4\text{-N}$ und Nitrat-Stickstoff ($\text{NO}_3\text{-N}$) [Nowak et al., 2015]. Nachdem diese sehr gute Übereinstimmung erzielt war, wurden zahlreiche Simulationsläufe mit unterschiedlichen Szenarien durchgeführt. Schließlich hat sich herausgestellt, dass bei einem Szenario, bei dem die Belüftung über nur 10,5 Stunden des Tages in Betrieb ist, eine ausreichende Reinigungsleistung in Hinblick auf die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufkonzentration sowie die Stickstoffentfernung erzielt wird. Festzuhalten ist, dass um ausreichend niedrige $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwerte zu erreichen die Gesamtbetriebszeit der Luftverdichter in der Simulation um 20 % erhöht werden musste. Somit erhöht sich auch der Energiebedarf für die Belüftung um 20 %. Daraus kann abgeleitet werden, dass mit der Lastverschiebung grundsätzlich keine Verminderung des Gesamtstromverbrauchs erzielt werden kann, sondern vielmehr mit einem (etwas) höheren Energieverbrauch gerechnet werden muss.
- Bei Kläranlage III wurden die Tagesgänge der Zulauf-Belastung im September 2014 ermittelt, ebenfalls an 3 hintereinander folgenden Trockenwetter-Tagen. In diesem Zeitraum lag die Temperatur im Belebungsbecken bei etwa 17 bis 18 °C. Die Simulationen wurden danach für

eine Temperatur von 14 °C durchgeführt, die der mittleren Jahrestemperatur entspricht. Für diese Kläranlage wurden nach mehreren Simulationsläufen 3 Szenarien näher untersucht:

- Möglichst konstante Belüftung über den Tag – als „Referenzszenario“
- Maximal mögliche Dauer des Abstellens der Belüftung während der Vormittagsspitze
- Maximal mögliche Dauer des Abstellens der Belüftung während der Nachstunden (ab Mitternacht)

Im Ergebnis hat sich gezeigt, dass während hoher Belastung die Belüftung für maximal 4,5 Stunden und bei niedriger Belastung in den Nachstunden für maximal 9 Stunden abgestellt werden kann. Länger konnte die Belüftung in der Simulation auch deswegen nicht ausgeschaltet werden, weil sonst die Belüftungskapazität im vorliegenden Fall, d.h. bei dieser Kläranlage, nicht ausgereicht hätte um im verbleibenden Zeitraum ausreichend Sauerstoff für die biologischen Umsetzprozesse zuzuführen. Ferner ist festzuhalten, dass bei der Kläranlage III im Gegensatz zur Kläranlage I die Lastverschiebung zu keiner Erhöhung des Energiebedarfs für die Belüftung geführt hat.

5.2.3.3 Lastverschiebungspotenzial der Kläranlage III (mit beheizter Schlammfäulung)

Grundsätzlich wurde bei beiden Kläranlagen bei der Ermittlung des Lastverschiebungspotenzials bei allen Aggregaten, die nicht bewusst variiert werden können bzw. nur aufgrund der Schwankungen in den Zulaufbedingungen variieren, der mittlere Stromverbrauch über das Jahr als konstant angesetzt.

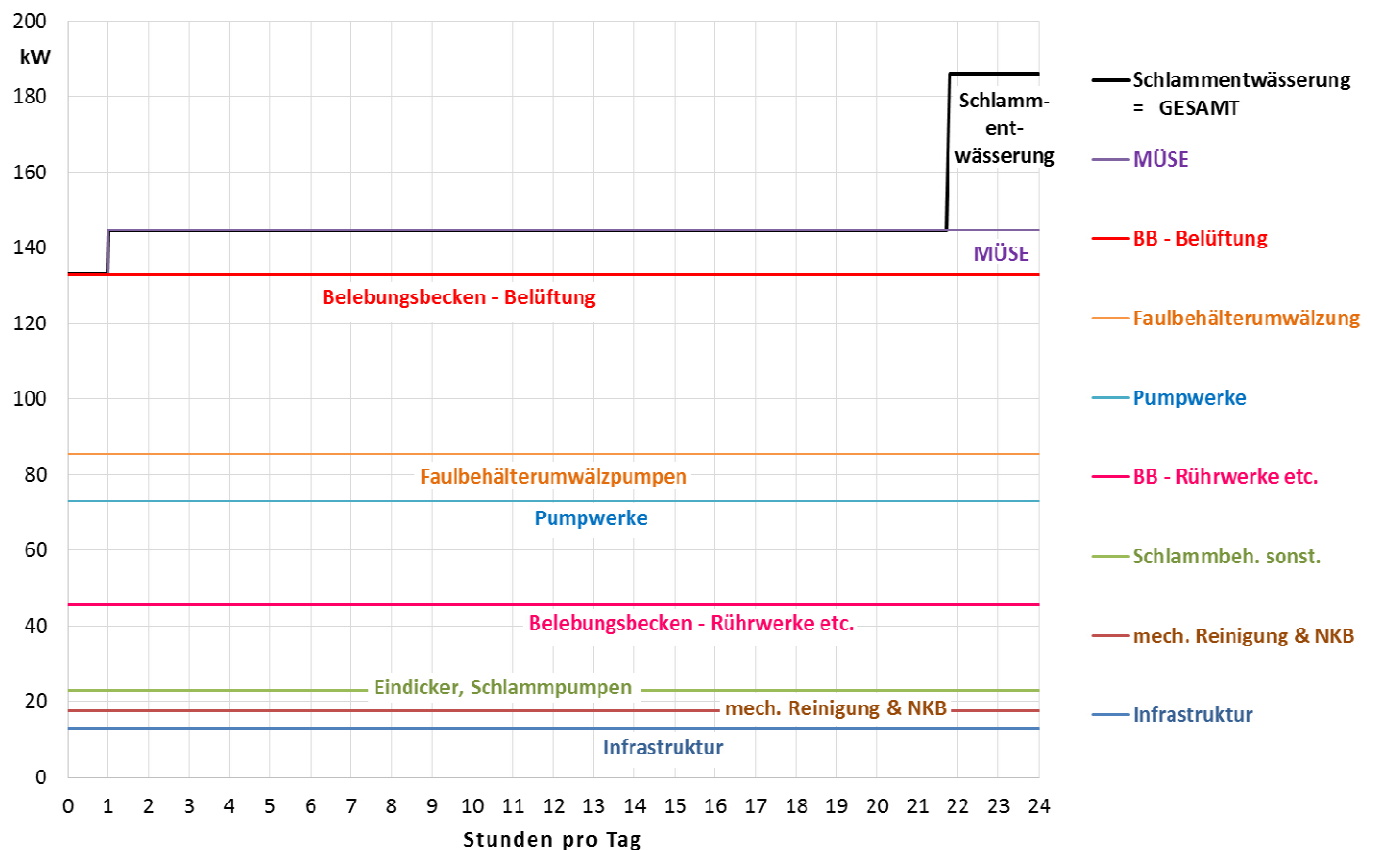


Abbildung 5.2: Stromverbrauch der Kläranlage III im „Referenzszenario“ – bei möglichst konstantem Verbrauch im Tagesverlauf

Mit diesem theoretischen Ansatz weisen im „Referenzszenario“ (Abbildung 5.2) alle Verbraucher eine konstante Leistungsaufnahme über eine Betriebsdauer von 24 Stunden pro Tag auf, mit Ausnahme der maschinellen Überschussschlammeindickung (MÜSE), die in der Regel über 23 Stunden pro Tag in Betrieb ist, sowie der Schlammmentwässerung, die durchschnittlich 2 bis 2,5 Stunden pro Tag betrieben wird.

Für das Szenario mit möglichst langer durchgehender Dauer des Abstellens der Belüftung während der hohen Belastung („Vormittagsspitze“) wurde nun überlegt, welche Aggregate zusätzlich zu Belüftung, MÜSE und Schlammmentwässerung für einen gewissen Zeitraum (> 1 Stunde) außer Betrieb genommen werden können. Die einzigen Aggregate, die bei dieser Kläranlage eine relevante Größenordnung für eine Lastverschiebung aufweisen, sind die Faulbehälterumwälzpumpen, die geschätzt für eine Dauer von 3 Stunden durchgehend abgestellt werden können (siehe Abbildung 5.3). Dabei wäre darauf hinzuweisen, dass dies auf dieser Kläranlage im konkreten Betrieb noch nicht getestet wurde. Möglicherweise kann man diese Umwälzpumpen für einen längeren Zeitraum ausschalten, ohne dass betriebliche Probleme auftreten, möglicherweise aber auch nur für eine kürzere Zeit.

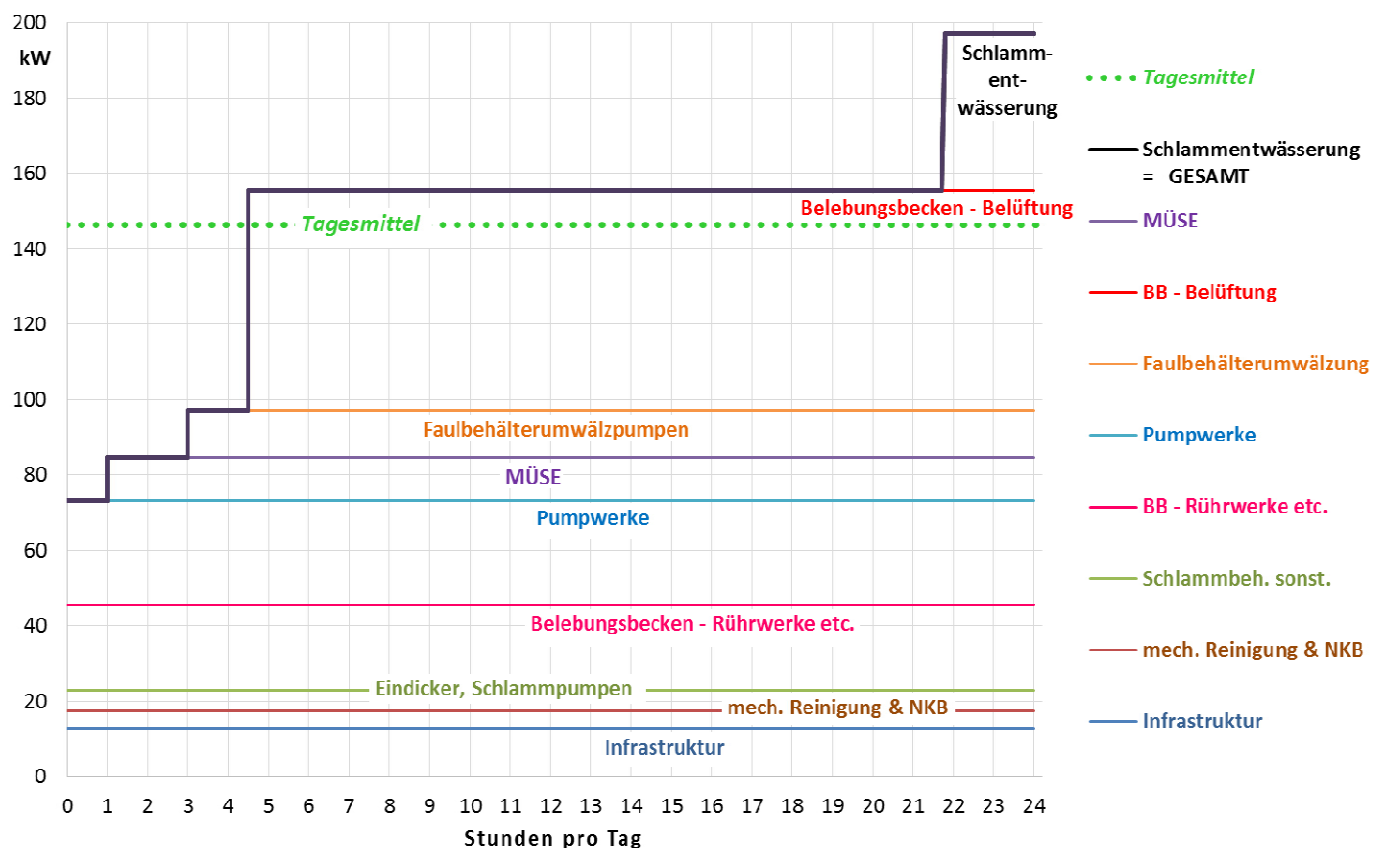


Abbildung 5.3: Stromverbrauch der Kläranlage III bei möglichst langer Dauer des Abstellens der Belüftung während der „Vormittagsspitze“

Anzumerken wäre, dass für einen Zeitraum von 15 bis 30 Minuten nahezu alle Aggregate einer Kläranlage abgestellt werden können. Die Gespräche mit den Stromnetzbetreibern haben gezeigt, dass Lastverschiebungen erst im Bereich von zumindest 15 Minuten von Interesse sind (siehe Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), wobei eine längere Zeitdauer wünschenswert

wäre. Die vorhandenen Lastverschiebungspotenziale bei Kläranlagen haben demnach nur eine geringe Relevanz für das Stromnetz.

Größer sind die Möglichkeiten der Lastverschiebung bei Kläranlage III bei einem Abstellen der Belüftung während der Nachtstunden (Abbildung 5.4). Dabei kann die Belüftung immerhin für eine Dauer von 9 Stunden ausgeschaltet werden. Dies hat zur Folge, dass theoretisch bei einem Tagesmittel der Leistungsaufnahme von 146 kW (Stromverbrauch 3.510 kWh/d) die aufgenommene Leistung über eine Stunde auf 73 kW, über weitere 2 Stunden auf 85 kW sowie über insgesamt 9 Stunden durchgehend auf unter 100 kW vermindert werden könnte. Bei diesem Szenario könnte bei gleichzeitigem Betrieb der Belüftung und der Schlamm-entwässerung die aufgenommene Leistung auf bis zu 214 kW erhöht werden.

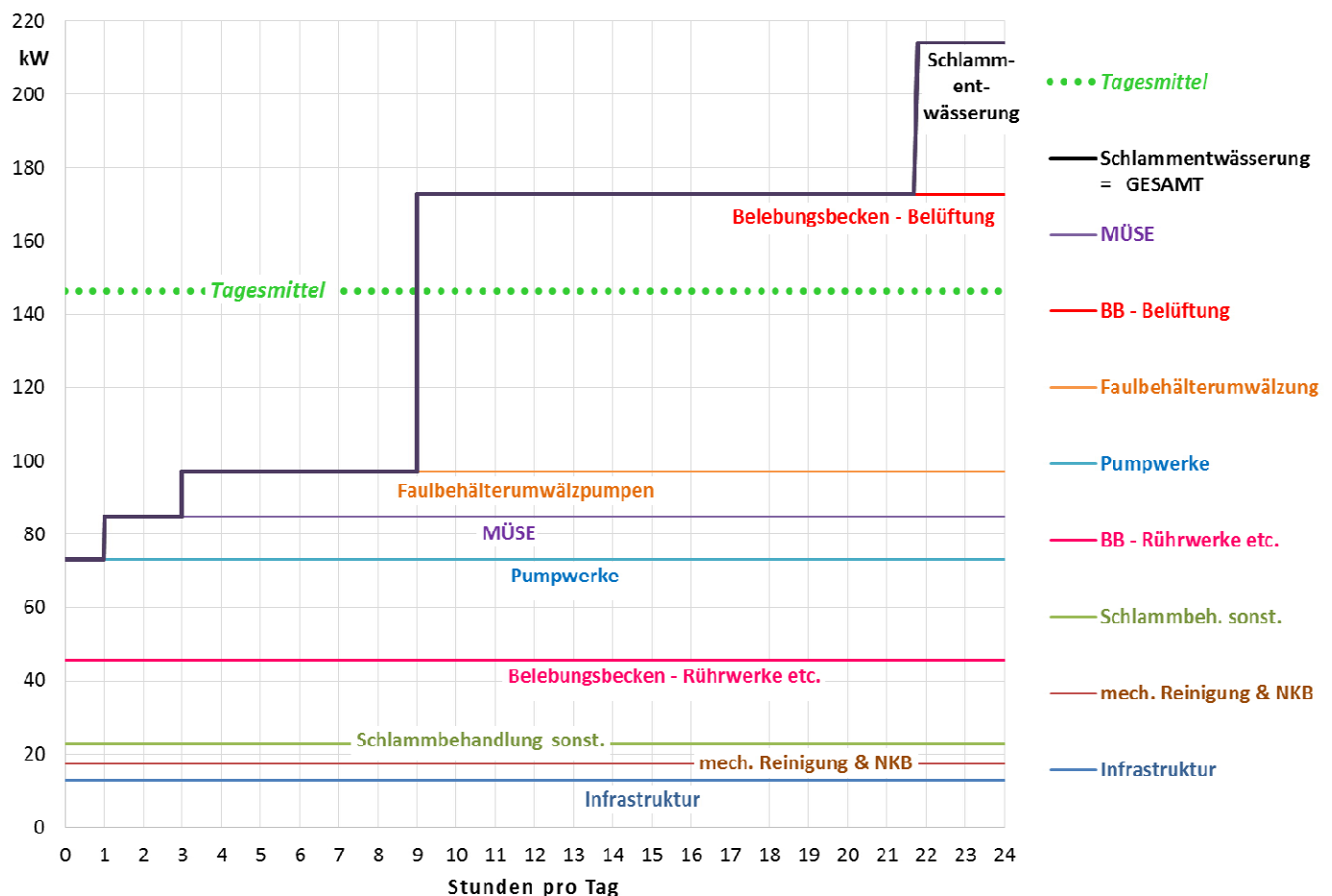


Abbildung 5.4: Stromverbrauch der Kläranlage III bei möglichst langer Dauer des Abstellens der Belüftung während der Nachtstunden (etwa ab Mitternacht)

Auf der Kläranlage III wird nicht nur Strom verbraucht, sondern auch aus dem Faulgas mittels BHKW erzeugt. Anfang 2015 wurde ein neues BHKW mit Saugmotor installiert, welches eine maximale elektrische Leistung von 124 kW aufweist, wobei im Betrieb ein elektrischer Wirkungsgrad von rund 34 % erwartet werden darf. Theoretisch könnte die Leistung dieses BHKWs bis auf 60 kW gedrosselt

werden, was allerdings mit einem deutlichen Rückgang des Wirkungsgrads gekoppelt ist. Zudem sind die laufenden Kosten für die Wartung, für den Zündkerzenwechsel etc. von den Betriebsstunden abhängig, weswegen die Kosten je erzeugter kWh bei Teillast wesentlich höher wären als bei Volllast. Es ist aber auch zu bedenken, dass zu häufige Neustarts die Wartungskosten erhöhen bzw. die Lebensdauer des Aggregats vermindern. Es sollte jedenfalls nicht mehr als ein Neustart des BHKWs pro Tag stattfinden. Vor diesem Hintergrund wurde seitens des Kläranlagenbetriebs beschlossen die elektrische Leistung des BHKWs nicht unter 70 kW zu drosseln.

Da in diesem Beispiel nur die „neuen“ Belebungsbecken für die Kläranlage III betrachtet werden, wurden, wie ausgeführt, die anderen Anlagenteile auch nur zu 80 % in den Stromverbrauch eingerechnet. Dementsprechend ist auch das BHKW nur mit 80 % seiner Leistung in diesen Betrachtungen zu berücksichtigen. Somit können bei Volllast bezogen auf dieses Beispiel 99,2 kW elektrisch ($= 124 \cdot 0,8$) erzeugt werden. 80 % des Methananfalls entsprechen im Jahresmittel 584 Nm³/d. Damit können bei einem elektrischen Wirkungsgrad von 34 % 1.986 kWh pro Tag an elektrischer Energie produziert werden. Bei Volllast könnte das BHKW somit 20 Stunden (Berechnung: $1986 \text{ kWh} / 99,2 \text{ kW}$) pro Tag betrieben werden. Geht man davon aus, dass der Methananfall von 584 m³/d gleichmäßig über Tag abgearbeitet wird und dass der elektrische Wirkungsgrad in diesem Fall bei 33 % liegt, so können damit 1.927 kWh/d an elektrischer Energie erzeugt werden, was einer durchschnittlichen elektrischen Leistung von 80,3 kW bzw. einer Teillast von rund 81 % entspricht.

Ein Vergleich dieser Zahlen mit den Werten für den Stromverbrauch, bzw. die aufgenommene elektrische Leistung bei maximaler Dauer des Abstellens der Belüftung während der Nachtstunden (Abbildung 5.5) zeigt, dass mit dem im BHKW produzierten Strom (bei Volllast) der Strombedarf der Kläranlage über einen Zeitraum von 9 Stunden vollständig abgedeckt werden könnte. Wenn das BHKW abgestellt ist, würde der Strombezug der Kläranlage im Maximum rund 214 kW entsprechen, wenn die Schlammmentwässerung in Betrieb ist, bzw. 174 kW, falls die Schlammmentwässerung nicht in Betrieb ist (vgl. Abbildung 5.5).

Zu beachten ist, dass diese beispielhafte Betrachtung theoretischer Natur ist, da von einem konstanten mittleren Stromverbrauch der meisten Aggregate ausgegangen wurde. Es kann damit aber jedenfalls gezeigt werden, dass bei Kläranlagen mit Schlammfäulung selbst bei einem relativ geringem Ausmaß an Eigenstromabdeckung (von 55 % in diesem Beispiel) einerseits über einen langen Zeitraum während des Tages (im Beispiel für 9 Stunden) ohne Strombezug aus dem Netz das Auslangen gefunden werden könnte. Andererseits könnte bei einem durchschnittlichen Strombezug vom EVU von rund 1.600 kWh/d der Leistungsbezug in den Stunden, in denen das BHKW abgestellt ist, bis auf 215 kW gesteigert werden, wenn die Schlammmentwässerung in Betrieb ist, bzw. bis auf 174 kW, wenn die Schlammmentwässerung nicht betrieben wird.

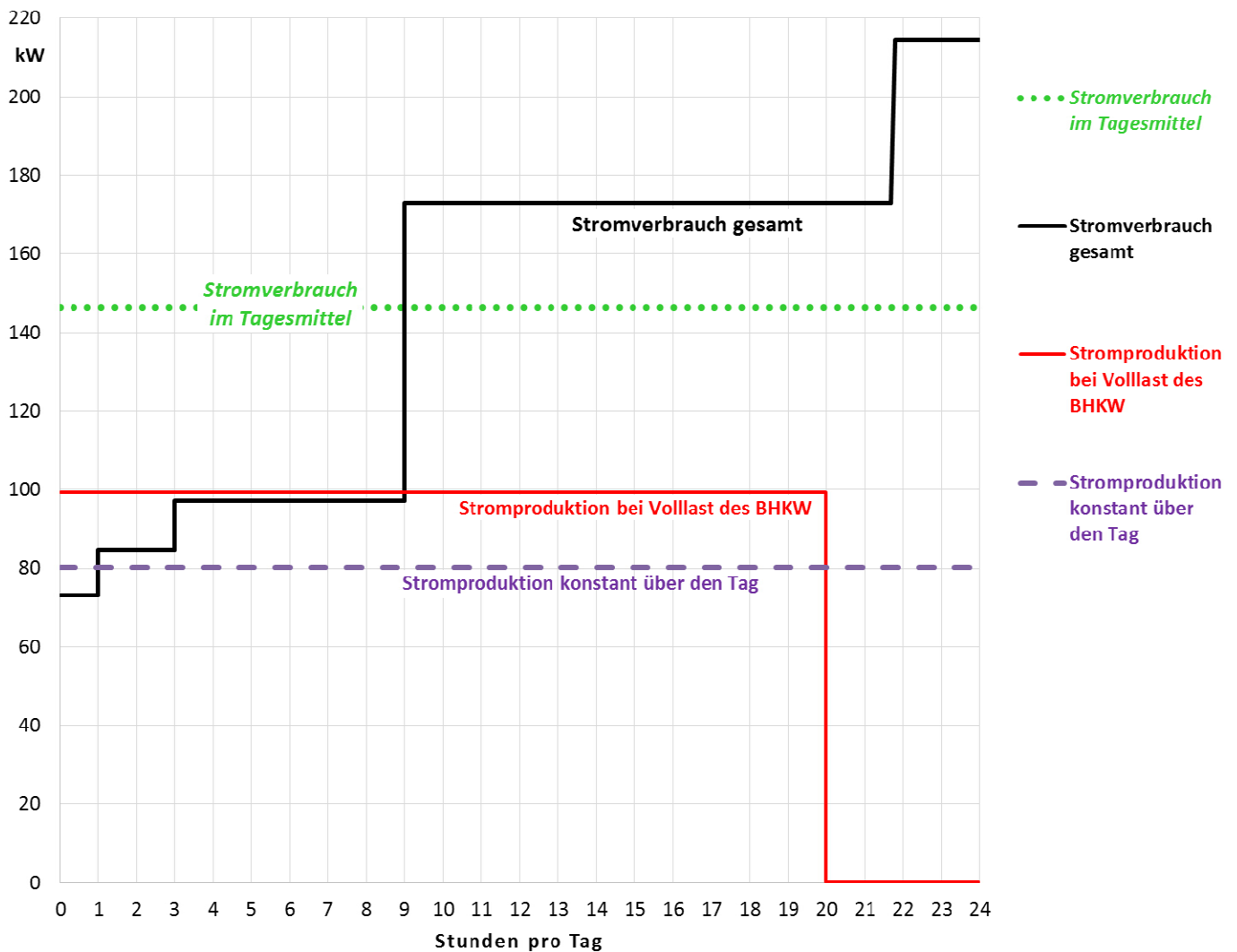


Abbildung 5.5: Stromverbrauch der Kläranlage III bei möglichst langer Dauer des Abstellens der Belüftung während der Nachtstunden und Stromproduktion mittels BHKW bei Volllast bzw. konstant über den Tag

5.2.3.4 Lastverschiebungspotenzial der Kläranlage I (mit aerober Schlammstabilisierung)

In Abbildung 5.6 ist die maximal mögliche Verschiebung des Stromverbrauchs der Kläranlage I im Tagesgang bei Abstellen der Belüftung während der Nacht über eine Dauer von 13,5 Stunden dargestellt. Hier zeigt sich beim Stromverbrauch ein deutlich anderes Bild als bei Kläranlage III.

Bei Kläranlage I ist es grundsätzlich theoretisch möglich den Stromverbrauch und somit Leistungsbezug über 12 Stunden hinweg auf 25 kW zu drosseln. Dies entspricht 42 % des durchschnittlichen Leistungsbezugs (ca. 60 kW). Demgegenüber kann der Leistungsbezug im Maximum bei Betrieb der Schlammmentwässerung für die Dauer von 2 bis 2,5 Stunden auf 174 kW bzw., wenn zusätzlich die Überschussschlamm- und Schwimmschlammumpen in Betrieb sind, maximal für eine halbe Stunde auf 185 bis 190 kW gesteigert werden.

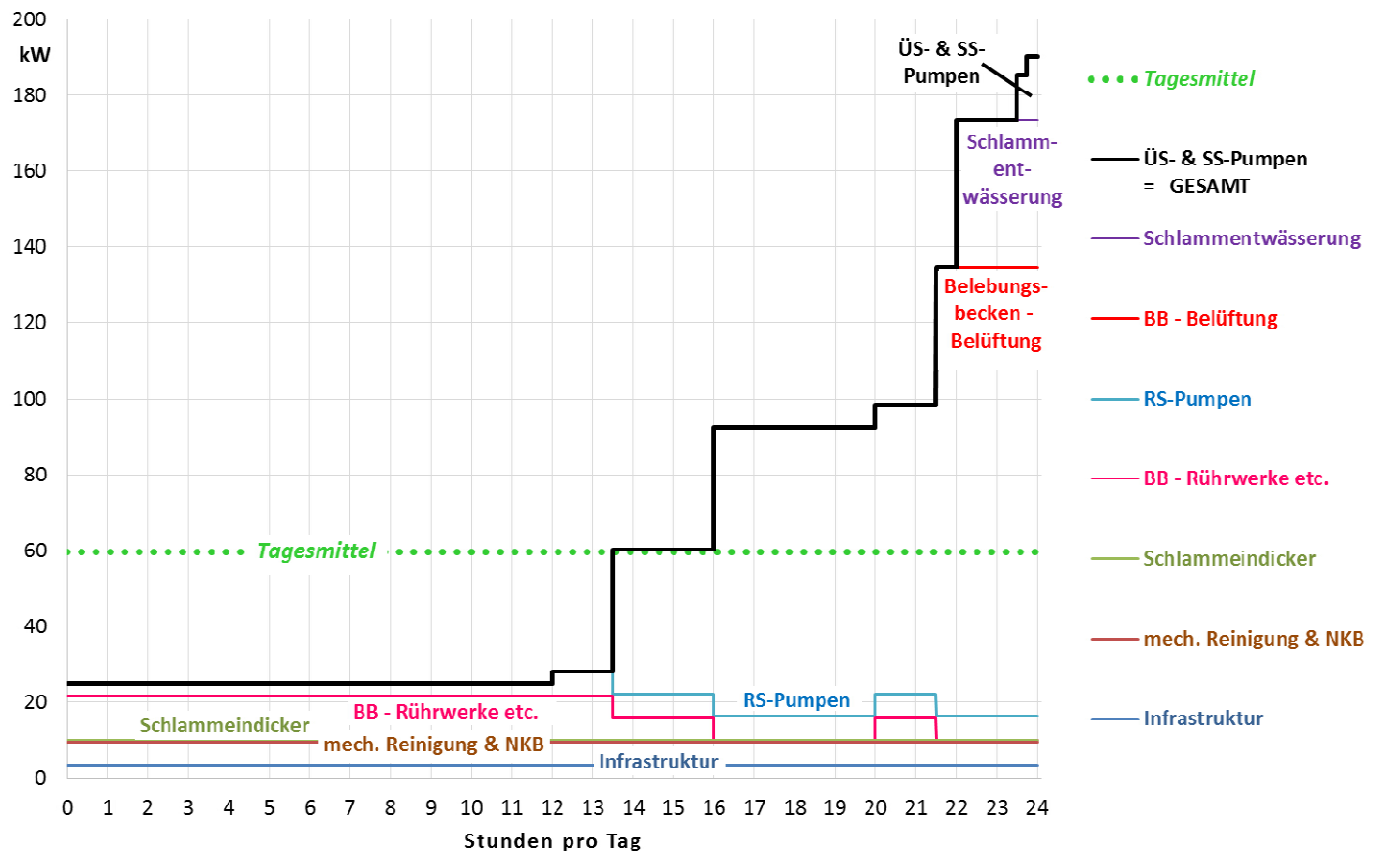


Abbildung 5.6: Stromverbrauch der Kläranlage I bei möglichst langer Dauer des Abstellens der Belüftung während der Nachtstunden (13,5 Stunden)

5.3 Möglicher Beitrag von Eigenstromerzeugungsanlagen

5.3.1 Stromerzeugung aus dem Faulgas mittels BHKW und Gasspeicherung

Bei Kläranlagen mit Schlammfaulung werden in der Regel etwa 50 bis 90 % des Strombedarfs durch Eigenstromerzeugung aus dem Faulgas mittels BHKW abgedeckt. Damit ist es selbst bei einer Eigenstromabdeckung von nur etwa 50 % bis 60 % möglich, über mehrere Stunden hinweg den Strombedarf der Kläranlage ohne Fremdbezug abzudecken, wie mit dem Beispiel der Kläranlage III gezeigt werden konnte.

Gasspeicher werden normalerweise für einen Gasanfall von 3 bis 12 Stunden ausgelegt, wobei die Tendenz in vergangenen etwa 20 Jahren hin zu kleineren Gasspeichern geht. Wie groß ein Gasspeicher sein muss um eine ausreichende Kapazität auch für eine Lastverschiebung zur Verfügung zu haben, ist letztlich vom Grad der Eigenstromabdeckung, sowie von der relativen Größe des BHKWs abhängig. Wenn im Vergleich zum Stromverbrauch der Kläranlage nur relativ wenig Strom aus dem Faulgas selbst erzeugt wird, genügt ein verhältnismäßig kleiner Gasspeicher, weil der erzeugte Strom jederzeit genutzt werden kann. In diesem Fall richtet sich die Größe des Gasspeichers unter anderem auch nach der Anzahl der installierten BHKWs (in der Regel eines oder zwei) und deren Kapazität und es wird eine Fassungsvermögen des Gasspeichers entsprechend dem Gasanfall von etwa 8 bis 12 Stunden

ausreichen. Ist die Eigenstromabdeckung hoch (80 % oder mehr) empfiehlt sich eine Kapazität der Gasspeicherung von 24 Stunden bei dem zu erwartenden Gasanfall.

Es gibt verschiedentlich Tendenzen bei den Netzbetreibern direkten Zugriff auf Faulgas-BHKWs zu erlangen. Aus Sicht der Verfasser sollte die Bewirtschaftung des Gasspeichers und der Eigenstromerzeugung insgesamt in den Händen der Kläranlagenbetreiber bleiben. Es darf nicht übersehen werden, dass nicht nur bei der biologischen Abwasserreinigung, sondern auch in der Schlammfaulung biologische Prozesse stattfinden. Wieviel Faulgas für die Energienutzung zur Verfügung steht und wie dieses bewirtschaftet werden kann, ist nicht unabhängig von den vorgelagerten Prozessen und kann folglich nicht alleine von außen gesteuert werden.

5.3.2 Photovoltaik

Photovoltaik-Anlagen sind heute auf vielen Kläranlagen installiert, um einen Teil des Strombedarfs abzudecken. Diese haben zumeist eine Kapazität, die weit unter dem Stromverbrauch der Kläranlage angesiedelt ist. Aus diesem Grund wurde für die Kläranlage I untersucht, ob es möglich ist, den Stromverbrauch im Tagesverlauf so zu gestalten, dass er optimal an die Stromproduktion einer Photovoltaik-Anlage (PV) angepasst ist.

Dazu wurde für den Standort der Kläranlage I die Globalstrahlung im Mittel der Monate Juli bzw. Jänner erhoben [PV GIS, 2015]. In Abbildung 5.7 sind nun die beiden Kurven eingetragen, die die für den Standort dieser Kläranlage zu erwartende Stromproduktion einer PV-Anlage mit einer installierten Leistung von 225 kWp im Mittel der Monate Juli bzw. Jänner zeigen. Die installierte Leistung der PV-Anlage wurde mit der daraus zu erwartenden Stromproduktion im Monat Juli dem (idealisierten) Energieverbrauch nach Lastverschiebung aus der Simulation- bzw. Modellrechnung angepasst. Es muss allerdings angemerkt werden, dass die Simulation für eine Lastsituation im Jänner (Temperatur im Belebungsbecken von 8 °C) vorgenommen wurde. Dies wurde gemacht, um zu zeigen, dass bei der vorhandenen Konfiguration der Kläranlage selbst im Winter zumindest unter Trockenwetterbedingungen die Anforderungen an die Reinigungsleistung eingehalten werden können, wenn die Belüftung für 13,5 Stunden pro Tag abgestellt ist. Die Gegenüberstellung des Stromverbrauchs der Kläranlage mit dem PV-Lastgang soll daher in erster Linie zeigen, dass bei einer solchen Anlage der Energieverbrauch weitgehend an die Leistungskurve einer PV-Anlage angepasst werden kann (siehe Abbildung 5.7).

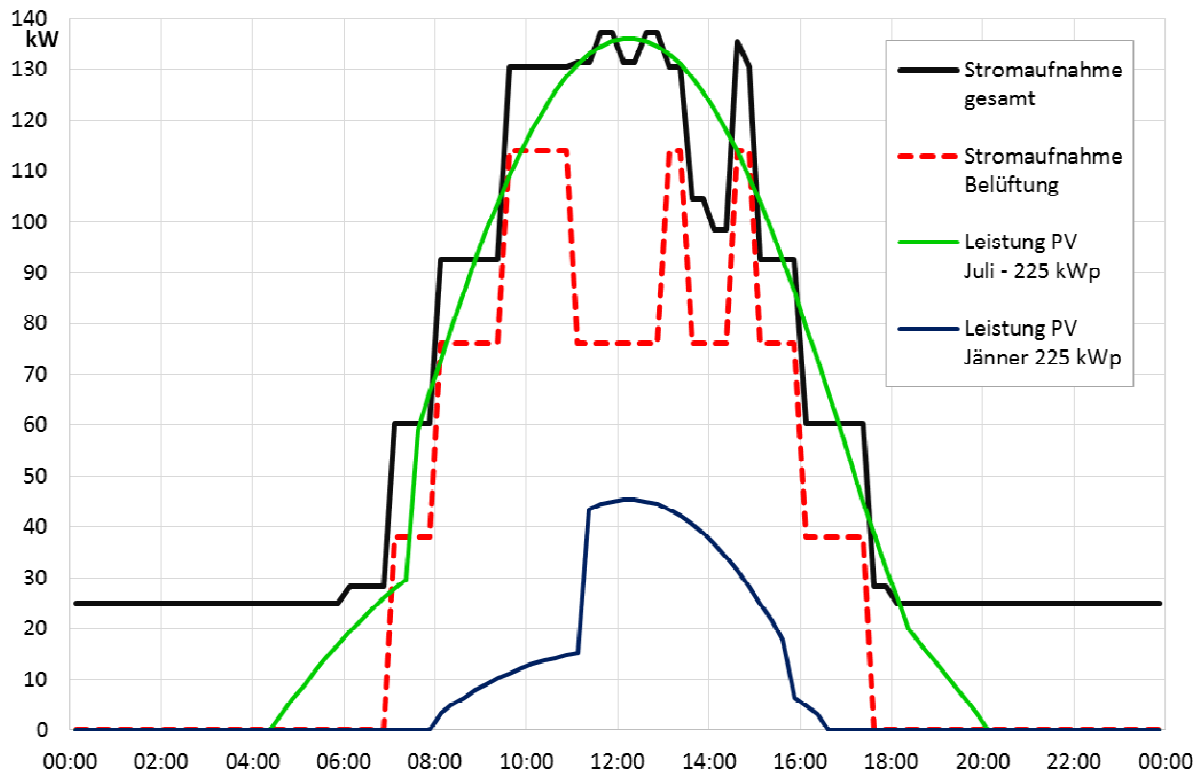


Abbildung 5.7: Stromverbrauch der Kläranlage I bei möglichst langer Dauer des Abstellens der Belüftung während der Nachtstunden und Abdeckung des Stromverbrauchs durch eine PV-Anlage mit 225 kWp

Anzumerken ist weiters, dass in der Modellrechnung verschiedene Ausrichtungen für die PV-Anlage getestet wurden. Mit der Ausrichtung nach Süden wurde bei gleicher Fläche insgesamt die höchste Stromproduktion erzielt, weswegen diese Ergebnisse für den Vergleich in Abbildung 5.7 herangezogen wurden. Die bis etwa 11 Uhr deutlich geringere Stromproduktion im Monat Jänner ist mit Beschattung zu erklären, da die Kläranlage in einem Tal liegt.

Es konnte somit gezeigt werden, dass auf einer Kläranlage, die ohne Eigenstromerzeugung einen durchschnittlichen Stromverbrauch von rund 60 kW aufweist, der produzierte Strom einer PV-Anlage, mit der an diesem Standort im Mittel des Monats Juli 136 kW in der Tagesspitze erzeugt werden, weitestgehend selbst genutzt werden kann. Während der Nachtstunden müssten dann in diesem Beispiel 25 kW aus dem Netz bezogen werden.

Photovoltaik-Anlagen würden sich auch eignen um bei Kläranlagen mit Schlammfäulung die Eigenstromabdeckung zu erhöhen, indem während der Nacht das installierte BHKW aus dem Faulgas für den nötigen Strom sorgt und während der Tagstunden zusätzlich die PV-Strom genutzt wird. Die Auslegung der Photovoltaikanlage müsste dabei je nach dem Grad der Eigenstromabdeckung, sowie den Möglichkeiten der Lastverschiebung auf der Kläranlage erfolgen.

5.4 Zusammenfassung - Identifizierte Lastverschiebungspotenziale

5.4.1 Allgemeines

Grundsätzlich sind die Lastverschiebungspotenziale von kommunalen Abwasserreinigungsanlagen je nach der speziellen Anlagenkonfiguration nach einer eingehenden Analyse der Kläranlage individuell zu beurteilen, so wie dies im Rahmen dieses Projekts für insgesamt vier unterschiedliche Kläranlagen vorgenommen wurde.

Allgemeine Aussagen, wie sie im Folgenden getroffen werden, sind daher nur von sehr eingeschränkter Gültigkeit. Ebenso kann nicht der Anspruch erhoben werden, dass mit dieser Arbeit die Fragestellungen, die sich hinsichtlich der Möglichkeiten der Lastverschiebung auf Kläranlagen ergeben, letztgültig beantwortet werden können. Vielmehr steht man diesbezüglich noch am Anfang und nur konkrete Erfahrungen von realen Anlagen können im Weiteren dazu beitragen zu einem vertieften Wissen über die Möglichkeiten der Lastverschiebung auf kommunalen Kläranlagen zu gelangen.

Ferner hat sich gezeigt, dass durch die Lastverschiebung keine Energieeinsparungen erreicht werden können. Vielmehr ist davon auszugehen, dass die Lastverschiebung – insbesondere im Bereich der biologischen Abwasserreinigung (Belüftung) – zu einem gewissen Mehrverbrauch von Energie führen kann. Es muss daher für die Kläranlagenbetreiber ein ausreichender finanzieller Anreiz gegeben sein die vorhandenen Lastverschiebungspotenziale auch zu nutzen. Diesen Anreiz gibt es, wie in Abschnitt 3.5 dargelegt wurde, unter den derzeitigen regulatorischen Bedingungen nicht.

5.4.2 Nutzbare Teilprozesse / Aggregategruppen

5.4.2.1 Abwasserbehandlung

Wie die konkreten Untersuchungen und Analysen auf Basis der Beispielanlagen gezeigt haben, weist die Belüftung der biologischen Stufe zur Versorgung der aeroben Prozesse mit Sauerstoff das größte Lastverschiebungspotenzial auf. Allgemeine Aussagen sind hier schwer zu treffen. Die folgenden Zahlenangaben beruhen auf allgemeinen Überlegungen, Erfahrungen der Autoren und insbesondere auf den durchgeführten Simulationsrechnungen. Die Belüftung der Belebungsbecken ist nicht nur entscheidend für das Lastverschiebungspotenzial einer Kläranlage, sondern auch für dessen Reinigungsleistung und demzufolge für die Einhaltung der Ablaufgrenzwerte. Somit kann man es als erwiesen betrachten, dass die Anwendung der dynamischen Belebtschlammsimulation unumgänglich ist, um das mögliche Ausmaß von Lastverschiebungen auf Kläranlagen auszuloten.

Es kann davon ausgegangen werden, dass in der Regel bei Kläranlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung die Belüftung der Belebungsbecken je nach Auslastung und Beckenkonfiguration unter Trockenwetterbedingungen in der Nacht für eine Dauer von maximal 10 bis 14 Stunden und tagsüber für maximal 7 bis 12 Stunden durchgehend abgestellt werden kann. Bei Kläranlagen mit Schlammfäulung ist nicht zu erwarten, dass die Belüftung der Belebungsbecken – wiederum unter Trockenwetterbedingungen – in der Nacht länger als 5 bis 10 Stunden und bei höherer Belastung tagsüber länger als 3 bis 6 Stunden durchlaufend ausgeschaltet werden kann. Zu beachten ist, dass die angegebenen möglichen Zeiträume für das Abstellen der Belüftung bei Stoßbelastungen, insbesondere

bei Abwassersystemen mit Mischkanalisation bei einsetzendem Regen nach einer längeren Trockenwetterperiode, deutlich kürzer sein werden. Möglicherweise muss in solchen Situationen die Belüftung auch durchgehend betrieben werden, so dass keine Möglichkeit einer (gezielten) Lastverschiebung besteht.

Die Rührwerke zur Umwälzung der Belebungsbecken sind in der Regel der zweitgrößte Verbraucher im Bereich der Abwasserbehandlung auf einer kommunalen Kläranlage. Ob die Rührwerke während der Belüftungsphasen abgestellt werden können oder nicht, hängt im Wesentlichen von der Beckenkonfiguration ab. Außerhalb der Belüftungsphasen sind diese Rührwerke jedenfalls in Betrieb zu halten, sodass sie in Hinblick auf die Lastverschiebung im Sinne einer zeitweiligen Minimierung der Stromaufnahme im Allgemeinen nicht von Bedeutung sein werden.

Ebenso müssen die meisten Pumpwerke laufend in Betrieb gehalten werden. Ob die Zulaufpumpen vorübergehend abgestellt werden können, hängt von der Speicherkapazität des vorgelagerten Kanals ab. Die Rücklaufschlamm-Pumpen müssen jedenfalls in Betrieb sein. Sie können allenfalls in Zeiten mit geringer Belastung (Nachtstunden), wenn zusätzlich die Belüftung ausgeschaltet ist, gedrosselt werden.

5.4.2.2 Schlammbehandlung

Gerade im Bereich der Schlammbehandlung ist es schwierig allgemeine gültige Aussagen in Hinblick auf einen möglichen Beitrag zur Lastverschiebung zu treffen. Dieser hängt sehr von der örtlichen Situation bzw. von der Konfiguration der jeweiligen Anlage ab.

Wie lange die maschinelle Überschussschlammeindickung (MÜSE), falls vorhanden, bzw. das Schlammmentwässerungsaggregat durchgehend abgestellt werden können und im welchem Ausmaß der Strombezug damit verschoben werden kann, hängt unter anderem von der Kapazität dieser Aggregate ab. Aus verfahrenstechnischer Sicht können beide Aggregate in der Regel für längere Zeit abgestellt werden (siehe auch Abschnitt 5.2.3). Ob die Schlammmentwässerung einen wesentlichen Beitrag zur Lastverschiebung leisten kann, hängt mit dem Verhältnis des Schlammmanfalls zur Kapazität der Entwässerungsmaschine zusammen. Ist die Kapazität des Aggregats groß gegenüber dem Schlamm-anfall, so wird die Anlage nur wenige Stunden im Tag betrieben werden müssen, und entsprechend groß ist dann die Leistungsaufnahme im Vergleich zum gesamten Strombedarf der Kläranlage. Ist die Kapazität relativ gering, so wird sie über einen verhältnismäßig langen Zeitraum betrieben werden müssen. Manche Geräte laufen auch über Nacht bzw. während der Arbeitswoche durch und dann ist der mögliche Beitrag der Schlammmentwässerung zur Lastverschiebung gering.

Auch bei den zur Schlammfaulung gehörenden Aggregaten ist es schwierig eine allgemeine Aussage zu treffen. Die externe Schlammumwälzung, die häufig auch zur Beschickung der Schlammfaulung dient, wird möglicherweise für kürzere Zeiträume (1 bis 3 Stunden) außer Betrieb genommen werden können. Allgemein kann man davon aber nicht ausgehen. Die internen Umwälzeinrichtungen bieten eher ein Potenzial zur allgemeinen Energieeinsparung auf der Kläranlage als zur Lastverschiebung. Man kann aber davon ausgehen, dass in Fällen, in denen der Strombezug der Kläranlage über einen Zeitraum von bis zu etwa 4 Stunden minimiert werden soll, auch die Umwälzeinrichtungen in der Schlammfaulung für diesen Zeitraum ausgeschaltet werden können.

5.4.3 Grobe Abschätzung der Lastverschiebungspotenziale der österreichischen kommunalen Abwasserwirtschaft

Auch wenn die überwiegende Mehrzahl der österreichischen kommunalen Kläranlagen entweder als einstufige Belebungsanlagen mit (simultaner) aerober Schlammstabilisierung, oder als einstufige Belebungsanlagen mit (Vorklärung und) Schlammfaulung einzustufen sind, können doch gerade manche größere Kläranlagen nicht in dieses Schema eingeordnet werden. So sind z.B. die Hauptkläranlage (HKA) Wien sowie die Kläranlage des RHV Großraum Salzburg als zweistufige Belebungsanlagen konzipiert. Über das Lastverschiebungspotenzial dieser Kläranlagen können auf Basis der Erkenntnisse, die im Rahmen dieses Forschungsprojekts gewonnen wurden, keine Aussagen getroffen werden.

Insgesamt verbrauchen Österreichs kommunale Kläranlagen derzeit rund 560 GWh an elektrischem Strom, wobei die Eigenstromabdeckung rund 147 GWh/a beträgt [Lindtner, 2013]. Berücksichtigt man, dass sich die Eigenstromabdeckung nur auf Kläranlagen mit Schlammfaulung bezieht und dass sie bei diesen rund 46 % beträgt [Lindtner, 2013], so kann letztlich abgeschätzt werden, dass ohne die HKA Wien, in Kläranlagen mit aerober Schlammstabilisierung und in Kläranlagen mit Schlammfaulung jeweils rund 175 GWh/a an Strom aus dem Netz bezogen werden. Das bedeutet also, dass der Netzbezug bei den Kläranlagen mit aerober Schlammstabilisierung, ebenso wie bei jenen mit Schlammfaulung jeweils insgesamt rund 20 MW an elektrischer Leistung beträgt.

Schwierig ist es nun abzuschätzen, wie groß der Anteil an dieser elektrischen Leistung ist, auf den die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse in Hinblick auf die Möglichkeiten der Lastverschiebung angewendet werden können. Bei den Kläranlagen mit Schlammfaulung gibt es neben der des RHV Großraum Salzburg einige weitere größere Kläranlagen, auf die die hier gewonnenen Erkenntnisse aufgrund einer abweichenden Verfahrenskonzeption nicht angewendet werden können. Zudem gibt es darunter Kläranlagen, bei denen die Größe des Belebungsbeckens als knapp zu bezeichnen ist und demzufolge die Belüftung nicht in gleicher Weise über einen längeren Zeitraum abgestellt werden kann wie bei den hier untersuchten. Darüber hinaus wird gelegentlich bei kleineren Kläranlagen mit Schlammfaulung das gewonnene Faulgas nur zu Heizzwecken, aber nicht zur Stromerzeugung verwendet. Unter den Kläranlagen mit aerober Schlammstabilisierung finden sich andererseits viele, die zu klein sein dürften um einen nennenswerten Beitrag zur Lastverschiebung zu leisten.

Für die Kläranlagen mit Schlammfaulung und Eigenstromerzeugung konnte gezeigt werden, dass diese selbst bei einem geringeren Ausmaß an Eigenstromabdeckung über mehrere Stunden hinweg ohne Netzbezug auskommen können. Geht man davon, dass dies für die Kläranlagen, die 60 % des hier ausgewiesenen Leistungsbezugs von 20 MW aufweisen, gilt, so ergibt sich daraus, dass bei allen Kläranlagen mit Schlammfaulung österreichweit 12 MW an Netzbezug nicht unmittelbar benötigt werden und demzufolge „verschoben“ werden könnten. Je nach Jahreszeit, Witterungsbedingungen etc. sollte dies für eine Dauer von etwa 3 bis 10 Stunden durchgehend möglich sein.

Für die Kläranlagen mit aerober Schlammstabilisierung kann davon ausgegangen werden, dass für eine Dauer von etwa 8 bis 12 Stunden durchlaufend – wiederum in Abhängigkeit verschiedener Randbedingungen – die Belüftung der Belebungsbecken abgestellt werden kann. Damit wird der Strombedarf bzw. der Netzbezug gegenüber dem durchschnittlichen etwa um 55 % reduziert, wie am Beispiel der Kläranlage I gezeigt werden konnte (vgl. Pkt. 5.2.7). Nimmt man an, dass diese Aussage für Kläranlagen

mit aerober Stabilisierung, die 70 % des Stromes aller dieser Kläranlagen beziehen, gilt, so bedeutet dies, dass bei diesem Kläranlagentyp österreichweit ein Lastverschiebungspotenzial von etwa 8 MW besteht.

Insgesamt würde nach dieser Abschätzung somit von allen österreichischen kommunalen Kläranlagen ein Lastverschiebungspotenzial von 20 MW für eine Dauer von – je nach den äußeren Bedingungen – etwa 3 bis 12 Stunden zur Verfügung stehen.

5.5 Technische Lösungsansätze

5.5.1 Technische Adaptionen bzw. Systemanpassungen (Aggregate)

Es gibt unterschiedliche denkbare verfahrenstechnische Maßnahmen auf der kommunalen Kläranlage, die grundsätzlich geeignet erscheinen die Möglichkeiten der Lastverschiebung zu verbessern. Nicht eingegangen werden soll hier auf Maßnahmen, die allgemein nach Energieanalyse zur Verminderung des Energieverbrauchs der jeweiligen Kläranlage dienen. Wie bereits erläutert haben diese Maßnahmen auf der konkreten Anlage zu erfolgen, bevor Überlegungen zur Lastverschiebung bzw. zur Hebung von Lastverschiebungspotenzialen in Angriff genommen werden.

Wie in Kapitel 5.2 gezeigt wurde, weist die Belüftung der biologischen Stufe zur Versorgung der aeroben Prozesse mit Sauerstoff das größte Lastverschiebungspotenzial auf. Andere wesentliche Verbraucher sind entweder, wie die Abwasser- und Rücklaufschlamm-Pumpen oder die maschinellen Einrichtungen im Bereich der Schlammfäulung, in ihrem Energieverbrauch kaum zeitlich verschiebbar, oder sie sollten, wie die Rührwerke in den Belebungsbecken genau dann in Betrieb gehalten werden, wenn die Belüftung abgestellt ist. Dabei ist die Stromaufnahme der Gebläse bzw. Luftverdichter zur Belüftung der Belebungsbecken jedenfalls größer als die der Rührwerke. Man kann allenfalls die Laufzeiten der Rührwerke reduzieren. Aber dies ist für die Reduzierung des Stromverbrauchs auf der Kläranlage von Relevanz, jedoch nicht für die Lastverschiebung.

Darüber hinaus gibt es Prozesse auf der Kläranlage, die zu relativ beliebigen Zeiten während des Tages durchgeführt werden können, wie zum Beispiel die Schlammmentwässerung. Je größer die Leistung der Entwässerungsmaschine, desto kürzer ist die erforderliche tägliche Laufzeit der entsprechenden Aggregate und desto größer ist das Lastverschiebungspotenzial im Bereich der Schlammmentwässerung. Es wird aber für den Kläranlagenbetreiber wirtschaftlich nicht vorteilhaft sein in ein größeres und damit teureres Entwässerungsaggregat zu investieren nur um in diesem Bereich das Lastverschiebungspotenzial zu erhöhen, zumal die Schlammmentwässerung hinsichtlich des Stromverbrauchs ohnedies von relativ untergeordneter Bedeutung ist.

Somit ist die Belüftung der aeroben biologischen Reinigungsstufe(n) als der einzige Bereich auf einer kommunalen Kläranlage anzusehen, in dem allenfalls durch (verfahrens)technische Maßnahmen Lastverschiebungspotenziale gehoben werden könnten. Kläranlagen, die in Hinblick auf die organische Zulauftracht nicht überlastet sind, weisen in der Regel eine ausreichende Belüftungskapazität für eine Lastverschiebung, für ein längerfristiges Abstellen bei Trockenwetterzufluss bzw. in Schwachlastzeiten, auf. Dies erklärt sich alleine daraus, dass die Kläranlage basierend auf ihrer Ausbaugröße auf eine maximale Leistung ausgelegt ist, bei der die Belüftung mit Ausnahme der Pausenzeiten, die sich aus

dem Erfordernis der Stickstoffentfernung durch Denitrifikation ergeben und verfahrenstechnisch bedingt sind, permanent in Betrieb sein muss. Bei maximaler Belastung entsprechend der Ausbaugröße der Kläranlage geht das Lastverschiebungspotenzial gegen null. Je geringer die Belastung ist, desto größer wird zeitlich betrachtet das Lastverschiebungspotenzial. Dabei muss aber die Intensität der Belüftung nicht gesteigert werden, da die aktuell vorhandene Zulaufkraft dann eben in einem kürzeren Zeitraum bei voller Belüftung abgearbeitet wird. Eine Steigerung der Belüftungsintensität wird daher in aller Regel nicht das Lastverschiebungspotenzial erhöhen, da die Reinigungsleistung der Kläranlage durch die Größe der biologischen Reinigungsstufe (Volumen der Belebungsbecken, allenfalls auch die Kapazität der Nachklärbecken etc.) begrenzt ist. Die Kapazität der Belüftung ist letztlich in Abhängigkeit von der verfahrenstechnischen Gestaltung an die Leistungsfähigkeit der Kläranlage entsprechend deren Ausbaugröße angepasst. Eine bauliche Vergrößerung der biologischen Stufe mit zusätzlichen Investitionen in die maschinelle Ausrüstung (Erhöhung der Kapazität der Belüftung, Installation sämtlicher weiterer erforderlicher Aggregate) über das Maß hinaus, das erforderlich ist um die maximale Belastung der Kläranlage abzuarbeiten, ist zweifellos nicht wirtschaftlich. Hinsichtlich des Energiebedarfs zeigt sich vielmehr, dass Kläranlagen mit einem größeren EW-spezifischen Belebungsbeckenvolumen tendenziell einen höheren Stromverbrauch aufweisen [Nowak, 2002].

Eine Möglichkeit eine Lastverschiebung bei der Stromaufnahme der Belüftung zu erzielen besteht darin, die Abwasserfracht im Zulauf zur Kläranlage, oder zur biologischen Stufe gezielt zu steuern. Dazu müsste ein großer Vorspeicher errichtet werden, in dem Abwasser über mehreren Stunden hinweg gespeichert werden kann. Fließt kein Abwasser der biologischen Stufe zu, so geht der Sauerstoffbedarf und somit der Bedarf an Belüftungsenergie aber nicht gegen null. Vielmehr ist die sogenannte „Kohlenstoffatmung“, der Sauerstoffverbrauch für den Abbau der Kohlenstoffverbindungen, auch wenn kein Abwasser zufließt, relativ konstant, weil von der Biomasse viel organische Substanz gespeichert wurde, die dann abgebaut (= „veratmet“) wird. Um einen nennenswerten Effekt in Hinblick auf eine Verschiebung des Energiebedarfs für die Belüftung zu erzielen, müsste ein solcher Vorspeicher für das biologische unbehandelte Abwasser mindestens für eine Aufenthaltszeit von 12 Stunden ausgelegt sein. Damit wäre das erforderliche Volumen des Vorspeichers etwa halb so groß bis gleich groß wie das Volumen des Belebungsbeckens. Die Größe des Belebungsbeckens stellt einen wesentlichen Kostenfaktor bei der Neuerrichtung einer Kläranlage dar. Demnach wären auch die Kosten für einen Vorspeicher, wie hier angedacht, in einer relevanten Größenordnung. Die Errichtung eines Vorspeichers für das biologisch unbehandelte Abwasser kann daher nicht als Option zur Verbesserung des Lastverschiebungspotenzials einer kommunalen Kläranlage angesehen werden.

Auf vielen Kläranlagen mit Schlammfäulung wurden sogenannte „Trübwasserspeicher“ errichtet, in denen das bei der Entwässerung des Faulschlammes anfallende Schlammwasser, welches einen hohen $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt aufweist, gespeichert wird. Trübwasserspeicher werden im Allgemeinen dafür verwendet die Stickstoffbelastung der biologischen Stufe und somit die Nitrifikationsleistung auszugleichen um Ablaufspitzen bzw. Grenzwertüberschreitungen beim Parameter $\text{NH}_4\text{-N}$ zu vermeiden. Um das Lastverschiebungspotenzial zu erhöhen, könnte nun bei niedriger Kläranlagenbelastung der Trübwasserspeicher dazu verwendet werden die Belastungsspitzen in der biologischen Stufe und damit die elektrische Lastverschiebung bei der Belüftung zu steigern. Für die untersuchten Beispielanlagen III und IV wurden Simulationsrechnungen durchgeführt, in denen untersucht wurde, ob für das Szenario

„Abstellen der Belüftung während der Nachtstunden“ durch eine Zugabe des Trübwassers nur während der Stunden mit höherer Belastung, wenn die Belüftung durchgehend in Betrieb ist, die mindestens erforderliche Belüftungszeit weiter verkürzt werden kann. Dabei hat sich herausgestellt, dass die erforderliche Dauer der Belüftung – bei gleichzeitiger Erhöhung der Belüftungsintensität – um nicht einmal eine weitere Stunde reduziert werden kann, ohne dass dies eine Auswirkung in Hinblick auf eine Verschlechterung des $\text{NH}_4\text{-N}$ -Ablaufwerts zur Folge hätte.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine Systemanpassung von Kläranlagen durch bauliche Maßnahmen oder die Installation neuer maschineller Ausrüstung zum Zwecke der Erhöhung des Lastverschiebungspotenzials nicht wirtschaftlich vertretbar und demzufolge nicht sinnvoll ist.

5.5.2 Anpassung der MSR-Technik

Da, wie dargestellt wurde, es in der Regel nicht möglich ist mit baulichen Maßnahmen bzw. durch Adaptierung der maschinellen Ausrüstung die Möglichkeiten der elektrischen Lastverschiebung zu verbessern, beschränken sich die für die Hebung des Lastverschiebungspotenzials erforderlichen Systemanpassungen auf die Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik (MSR-Technik).

Die Praxiserfahrungen mit der Realisierung von Lastverschiebung im Bereich der Kläranlageninfrastruktur gibt es bislang soweit bekannt ausschließlich im Bereich der sehr kurzfristigen Maßnahmen zur Verringerung von Viertelstunden-Spitzenwerten durch internes Lastmanagement.

5.5.2.1 Interne Laststeuerung zur Verringerung von Viertelstunden-Spitzenwerten

Um einen bestimmten, seitens des Kläranlagenbetriebs vorgegebenen Wert im kurzfristigen Leistungsbezug („Viertelstunden-Spitze“) nicht zu überschreiten, wurden zahlreiche kommunale Kläranlagen mit sogenannten Lastabwurf-Systemen ausgestattet.

Dabei gliedert sich die interne Laststeuerung im Wesentlichen in folgende drei Bereiche [Baumann *et al*, 2009]:

1. Information über den bisherigen und zukünftigen Energiebezug mit Warnung bei Sollwertüberschreitungen
2. Automatische Zu- und Abschaltung von Verbrauchern zum Einhalten des festgelegten Energiebezugs (Laststeuerung)
3. Notstrombetrieb

Dazu gibt es heutzutage bereits eine Vielzahl an Management- und Monitoringsystemen von unterschiedlichen Anbietern.

In der Praxis wird auf der Kläranlage, auf der ein Lastabwurf-System installiert wird, eine Reihenfolge festgelegt, nach der einzelnen Aggregate weggeschaltet werden.

Grundsätzlich ist aber festzuhalten, dass kurzfristig, d.h. für eine Dauer von etwa 15 bis 30 Minuten, in aller Regel (nahezu) sämtliche Aggregate einer kommunalen Kläranlage abgestellt werden können. Eine Ausnahme stellen dabei eventuell die Abwasserhebwerke dar, je nachdem wie groß die Speicherräume bzw. die Pumpschächte im Unterwasser dieser Pumpwerke sind.

5.5.2.2 MSR-Technik zur Hebung der Lastverschiebungspotenziale über mehrere Stunden hinweg

Wie ausgeführt, haben die Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsprojekts ergeben, dass die Belüftungseinrichtungen in Belebungsanlagen in Abhängigkeit von der aktuellen hydraulischen Belastung (Zulaufmenge) bzw. von der aktuellen Zulaufkraft (CSB, Stickstoff) zwischen etwa 3 und 12 Stunden abgestellt werden können. Weiters haben die Untersuchungen zum Lastverschiebungspotenzial, die im Rahmen dieses Forschungsprojekts anhand der Beispiel-Kläranlagen durchgeführt wurden, gezeigt, dass alle weiteren Aggregate in Hinblick auf ihren möglichen Beitrag zur elektrischen Lastverschiebung in der Regel von relativ untergeordneter Bedeutung sind.

Für die Adaptierung der MSR-Technik einer kommunalen Kläranlage, deren Lastverschiebungspotenziale in einem regionalen Smart-Grid-Konzept genutzt werden sollen, ergeben sich aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse folgende Erfordernisse:

- *Online-Messung des Stromverbrauchs sämtlicher elektrischer Aggregate oder Aggregatgruppen*
- *Vorhersage über die mögliche Bandbreite des Stromverbrauchs in den folgenden 1 bis 3 Tagen*

Online-Messung des Stromverbrauchs: In der Regel wird heute auf österreichischen kommunalen Kläranlagen von den Stromverbrauchswerten der Gesamtverbrauch sowie der Stromverbrauch der biologischen Stufe als Tageswert im Betriebsprotokoll aufgezeichnet. Unter Stromverbrauch der biologischen Stufe wird bei Belebungsanlagen der Stromverbrauch zur Belüftung der Belebungsbecken einschließlich dem für die Umwälzung der Belebungsbecken, d.h. für die dort installierten Rührwerke, verstanden. Um das Lastverschiebungspotenzial einigermaßen zuverlässig in Echtzeit voraussagen zu können, ist es erforderlich, dass bei den wesentlichsten Stromverbrauchern, wie Belüftung, Rührwerke, Abwasserpumpen, der Leistungsbezug (Stromverbrauch) online erfasst wird. Dies bedeutet, dass zumindest bei der Belüftung des Belebungsbeckens von jedem Gebläse bzw. Luftverdichter der Stromverbrauch einzeln gemessen wird. Bei Aggregatgruppen, wie den Einrichtungen für die maschinelle Überschussschlammeindickung (MÜSE) bzw. bei der Schlammmentwässerung, erscheint es sinnvoll den Stromverbrauch der zugehörigen Einzelaggregate gemeinsam, aber ebenfalls online, aufzuzeichnen. Anlagenteile (bzw. Prozesse), die einen relativ niedrigen Stromverbrauch mit zudem geringer Variabilität aufweisen, wie z.B. die mechanische Vorreinigung bestehend aus Rechen und Sandfang, können gemeinsam erfasst werden. Allenfalls kann von einzelnen Aggregaten mit geringer elektrischer Leistung auch nur die Laufzeit, d.h. die Betriebsstunden, online erfasst und ins Prozessleitsystem (PLS) eingebunden werden. Aus der Stromaufnahme kann in diesem Fall dann der aktuelle Wert bzw. die Tagessumme für den Stromverbrauch dieses Aggregats ermittelt und aufgezeichnet werden. Entscheidend ist, dass alle Stromverbraucher laufend erfasst werden, um daraus in der Folge eine Kurzfrist-Vorhersage zur möglichen Bandbreite des Stromverbrauchs zu treffen. Bei Kläranlagen mit Schlammfäulung und Stromerzeugung mittels Kraft-Wärme-Kopplung ist parallel zum Stromverbrauch auch die Stromproduktion laufend online zu erfassen und in das PLS zu übertragen.

Vorhersage der möglichen Bandbreite des Stromverbrauchs: Da sich die mögliche Variabilität des Gesamt-Stromverbrauchs der Kläranlage in erster Linie aus der Variabilität der Belüftung ergibt, ist es aus Sicht der Verfasser unumgänglich diese mittels dynamischer Simulation des biologischen Abwasserreinigungssystems zu ermitteln. Dabei ist es grundsätzlich möglich von einem bestimmten

Ist-Zustand der Kläranlage ausgehend einerseits mit der dynamischen Simulation zu ermitteln, wie intensiv die Belüftung mindestens sein muss bzw. wann sie spätestens wieder eingeschaltet werden muss, falls sie gerade abgestellt ist, ohne dass Ablaufgrenzwerte überschritten werden. Andererseits kann mit Hilfe des gleichen Tools auch der Strombedarf, der maximal sinnvollerweise bezogen werden kann, ermittelt werden. Eine Vorwärtssimulation, bei der das dynamische Verhalten eines Belebtschlammssystems als biologische Reinigungsstufe laufend mitsimuliert wird, rechnet sich vermutlich erst bei größeren Kläranlagen jenseits von 100.000 EW durchschnittlicher Belastung. Bei mittelgroßen Kläranlagen mit einer mittleren Anlagenbelastung in der Größenordnung von 50.000 EW wäre eine Vorgehensweise überlegenswert, bei der alle denkbaren Belastungsszenarien mit der dynamischen Simulation offline durchgespielt werden und die Erkenntnisse daraus über einfache mathematische Zusammenhänge in die Vorwärtssimulation des Stromverbrauchs eingespielt werden. In jedem Fall ist bei Kläranlagen mit Schlammfäulung und BHKW die mögliche Stromproduktion in ihrer Bandbreite in Abhängigkeit der aktuellen Gasproduktion, dem Füllstand des Gasspeichers und den Randbedingungen des BHKWs in Hinblick auf Einschalthäufigkeit, minimaler und maximaler elektrischer Leistung zu berücksichtigen. Aus Stromverbrauch der Kläranlage und – im Falle eines BHKWs – Stromproduktion aus dem Faulgas ergibt sich dann letztlich eine Bandbreite für den minimal bzw. maximal möglichen Strombezug in den nächsten Stunden bis maximal 1 bis 3 Tage.

5.5.3 Abschätzung der Kosten

Für die Beispiel-Kläranlage III (Schlammfäulung und rund 46.000 EW durchschnittlicher Belastung) wurden die Kosten für die Einbindung von Online-Messungen des Stromverbrauchs aller Aggregate bzw. Aggregatgruppen wie oben dargestellt und der entsprechenden Einbindung dieser Messungen in das Prozessleitsystem erhoben. Diese Kläranlage ist, wie viele andere auch, über einen langen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten „gewachsen“, weswegen es in verschiedenen Bereichen nicht einfach wäre, die entsprechenden Strommessungen in das bestehende System einzubinden. Die Kosten, die sich darüber hinaus für die Vorwärtssimulation der Bandbreite für den minimal bzw. maximal möglichen Strombezug ergeben, wurden abgeschätzt. Darüber hinaus ist jedenfalls bei Kläranlagen mit Schlammfäulung, wenn man das Lastverschiebungspotenzial nutzen möchte, eine Online-Analytik im Ablaufbereich des Belebungsbeckens für die Parameter Ammonium-Stickstoff und Nitrat-Stickstoff erforderlich. Falls diese nicht vorhanden ist, sind die entsprechenden $\text{NH}_4\text{-N}$ - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Sonden zu installieren. Insgesamt dürften die Investitionskosten für die Anpassung der MSR-Technik zur Hebung des Lastverschiebungspotenzials bei der Kläranlage III bzw. bei einer mittelgroßen Kläranlage dieser Art bei etwa 70.000 € ($\pm 20\%$) bzw. 1,5 €/EW liegen. Damit kann bei dieser Kläranlage ein Leistungsbezug von etwa 70 bis 100 kW über eine Dauer von 4,5 Stunden am Tag bzw. 9 Stunden in der Nacht verschoben werden. Über diesen Zeitraum könnte die Belüftung abgestellt und der restliche Strombedarf der Kläranlage vollständig mit dem im BHKW aus dem Faulgas produzierten Strom abgedeckt werden. Die laufenden Betriebskosten sind relativ gering und sollen hier nicht weiter betrachtet werden. Allerdings ist zu beachten, dass MSR-Technik eine relativ kurze Lebensdauer aufweist und nach etwa 10 Jahren mit nennenswerten Reinvestitionsmaßnahmen zu rechnen ist.

6 Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

Die wichtigste Erkenntnis des Projektes ist, dass

Lastverschiebungen auf Kläranlagen möglich sind und auch quantitativ einen nennenswerten Beitrag für (zukünftige) smarte / intelligente Stromnetze liefern können.

Weitere Schlussfolgerungen aus den Befragungen / Workshops, den Recherchen und der Simulation sind:

- Für einen **Zeitraum von 15 bis 30 Minuten** können nahezu alle Aggregate einer Kläranlage abgestellt werden.
- Anhand der Simulation konnte gezeigt werden, dass die **Belüftung der biologischen Stufe** zur Versorgung der aeroben Prozesse mit Sauerstoff das **größte Lastverschiebungspotenzial** aufweist. Die Belüftung der Belebungsbecken ist nicht nur entscheidend für das Lastverschiebungspotenzial einer Kläranlage, sondern auch für dessen Reinigungsleistung und demzufolge für die Einhaltung der Ablaufgrenzwerte. Somit kann man es als erwiesen betrachten, dass es unumgänglich ist die **dynamische Belebtschlammsimulation** anzuwenden um das Ausmaß möglicher Lastverschiebungen auf Kläranlagen auszuloten.
- **Mit Lastverschiebung können keine Energieeinsparungen erzielt werden.** Vielmehr ist davon ausgehen, dass die Lastverschiebung – insbesondere im Bereich der biologischen Abwasserreinigung (Belüftung) – zu einem gewissen Mehrverbrauch von Energie führen kann. Es muss daher für die Kläranlagenbetreiber ein ausreichender finanzieller Anreiz gegeben sein die vorhandenen Lastverschiebungspotenziale auch zu nutzen. Diesen Anreiz gibt es unter den derzeitigen regulatorischen Bedingungen nicht!
- Der **Betrieb von Faulgas-BHKWs**, die Bewirtschaftung des Gasspeichers und der Eigenstromerzeugung insgesamt sollte in den Händen der Kläranlagenbetreiber bleiben. Es darf nicht übersehen werden, dass nicht nur die biologische Abwasserreinigung, sondern auch die Schlammfaulung biologische Prozesse sind. Wieviel Faulgas für die Energienutzung zur Verfügung steht und wie dieses bewirtschaftet werden kann, ist abhängig von den vorgelagerten Prozessen und kann folglich nicht alleine von außen gesteuert werden.
- Die Mehrzahl der befragten **Netzbetreiber hat aktuell kaum Interesse am Thema Lastverschiebung** und sieht auch kurz- bis mittelfristig keinen Bedarf für eine Forcierung der Aktivitäten in diesem Zusammenhang. Es sei allerdings festgehalten, dass sich einige (wenige) Netzbetreiber aus strategischen Gründen bereits mit diesem Thema beschäftigen.
- Etwas anders stellt sich die Situation bei den Stromlieferanten dar. Diese wären aus ökonomischen bzw. aus Marketing-Gründen zumindest teilweise am Thema Lastmanagement

interessiert. Aber auch den Stromlieferanten sind durch die regulativen Rahmenbedingungen weitgehend die Hände gebunden.

- In Hinblick auf die **technischen Lösungsansätze** konnte gezeigt werden, dass es nicht sinnvoll ist, Investitionen in die maschinelle Ausrüstung von Kläranlagen zum Zwecke des Hebens von Lastverschiebungspotenzialen zu tätigen. In der Praxis werden vor allem Investitionen im Bereich der Mess- und Regeltechnik erforderlich sein, da eine genaue Erfassung des Stromverbrauchs bei allen relevanten Aggregaten, sowie online-Messungen des $\text{NH}_4\text{-N}$ - und $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt im Ablaufbereich der Belebungsbecken erforderlich sind.
- Für die Hebung der Lastverschiebungspotenziale ist die **Entwicklung eines Reglers** erforderlich, der sowohl den klärtechnischen Anforderungen gerecht wird, als auch eine Datenbereitstellung, wie sie von Seiten des Netzbetreibers erforderlich ist bzw. gewünscht wird, ermöglicht.
- Allgemein gültige Aussagen hinsichtlich eines **gesamtösterreichischen Potenzials** der Lastverschiebung bei Abwasserreinigungsanlagen sind nur sehr eingeschränkt möglich.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel des Projektes war es, die Rahmenbedingungen und Anforderungen eines möglichen Beitrags von Abwasserreinigungsanlagen als Teil des (zukünftigen) intelligenten Energiesystems durch verbrauchsseitige Lastflexibilisierung darzulegen. Dabei wurden sowohl die Anforderungen aus klärtechnischer Sicht, als auch die Rahmenbedingungen der Stromnetzseite eingehend untersucht

Die Ergebnisse zeigen, dass Kläranlagen grundsätzlich über Aggregate verfügen, die unter Berücksichtigung der jeweiligen betrieblichen Rahmenbedingungen für Maßnahmen der Lastverschiebung in Betracht gezogen werden können. Die Höhe des Potenzials richtet sich dabei nach den betriebsspezifischen Anforderungen, die im Wesentlichen durch den Anlagentyp, die maschinelle Ausstattung und die tatsächlichen Belastungssituationen bestimmt werden.

Grundsätzlich können für einen Zeitraum von 15 min bis 30 min nahezu alle Aggregate einer Kläranlage abgestellt werden. Eine Detailuntersuchung von vier Beispielkläranlagen hat gezeigt, dass im Bereich der Abwasserbehandlung die folgenden Aggregate die größten Potenziale zur Lastverschiebung aufweisen:

- (1) Belüftung der biologischen Stufe (zur Versorgung der aeroben Prozesse mit Sauerstoff) kann in der Regel
 - bei Kläranlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung die Belüftung der Belebungsbecken je nach Auslastung und Beckenkonfiguration unter Trockenwetterbedingungen in der Nacht für eine Dauer von maximal 10 bis 14 Stunden und tagsüber für maximal 7 bis 12 Stunden durchgehendund
 - bei Kläranlagen mit Schlammfäulung die Belüftung der Belebungsbecken bei Trockenwetterbedingungen, in der Nacht länger als 5 bis 10 Stunden und bei höherer Belastung tagsüber länger als 3 bis 6 Stunden durchlaufendabgestellt werden kann.
- (2) Rührwerke zur Umwälzung der Belebungsbecken in Abhängigkeit der Beckenkonfiguration.
- (3) Pumpwerke: Ob die Zulaufpumpen vorübergehend abgestellt werden können, hängt von der Speicherkapazität des vorgelagerten Kanals ab. Die Rücklaufschlamm-Pumpen müssen jedenfalls in Betrieb sein. Sie können allenfalls in Zeiten mit geringer Belastung (Nachtstunden), wenn zusätzlich die Belüftung ausgeschaltet ist, gedrosselt werden.

Auf Seiten der Schlammbehandlung weisen folgende Aggregate ein nutzbares Lastverschiebungspotenzial auf, wobei allgemeine Aussagen insbesondere in diesem Bereich sehr schwierig zu treffen sind:

- (1) maschinelle Überschussschlammeindickung (MÜSE), bzw. Schlammmentwässerungsaggregat
 - Lastverschiebungspotenzial ist abhängig von der Kapazität dieser Aggregate
 - aus verfahrenstechnischer Sicht können beide Aggregate in der Regel für längere Zeit abgestellt werden

- Beitrag zur Lastverschiebung hängt mit dem Verhältnis des Schlammanfalls zur Kapazität der Entwässerungsmaschine zusammen.

(2) Aggregate der Schlammfäulung

- externe Schlammumwälzung, kann möglicherweise für kürzere Zeiträume (1 bis 3 Stunden) außer Betrieb genommen werden. Allgemein kann man davon aber nicht ausgehen.
- interne Umwälzeinrichtungen bieten eher ein Potenzial zur allgemeinen Energieeinsparung auf der Kläranlage als zur Lastverschiebung.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass Lastverschiebungen auf Kläranlagen möglich und durchaus nennenswerte Potenziale vorhanden sind, die eine verbrauchsseitige Flexibilisierung erlauben. Deren Höhe hängt allerdings stark von betriebspezifischen Gegebenheiten ab, wodurch Aussagen hinsichtlich eines gesamtösterreichischen Potenzials nur sehr eingeschränkt getätigt werden können.

In Anbetracht der erarbeiteten Rahmenbedingungen und Anforderungen kann darauf geschlossen werden, dass es aus technischer Sicht mit der entsprechenden IKT-Infrastruktur möglich ist, vorhandene Lastverschiebungspotenziale bei kommunalen Infrastrukturanlagen zu nutzen. Es bedarf allerdings einer marktbasierten Umsetzung, womit die Entwicklung und Einführung neuer Produkte, Tarifmodelle und Dienstleistungen von Seiten der Stromnetzbetreiber bzw. Energieversorger gemeint sind.

Genau in diesem Zusammenhang konnten die größten Hemmnisse für die Hebung der Lastverschiebungspotenziale identifiziert werden, da aufgrund der aktuellen regulatorischen Gegebenheiten und den dadurch bedingten fehlenden Vergütungen für Netzbetreiber in Hinblick auf die Gestaltung möglicher (monetärer) Anreize (fast) kein Spielraum besteht. Denn die Systemnutzungsentgelte werden vom Regulator festgelegt und dürfen nicht eigenmächtig reduziert bzw. erhöht werden. Ebenso dürfen keine neuen Systemnutzungsentgeltkomponenten eingeführt werden, wobei grundsätzlich nur das Netznutzungsentgelt Verbraucher dazu motivieren kann, ihre Last freiwillig zu verschieben. Neue Geschäftsmodelle bzw. Tarifmodelle können anhand der derzeitigen rechtlichen Rahmenbedingungen nur von den Energieversorgern entwickelt werden. Es müsste daher eine Flexibilisierung der Tarifstruktur im Rahmen der Systemnutzungsentgelte-Verordnung erfolgen.

Interessant könnte Lastverschiebung zum jetzigen Zeitpunkt vor allem für Kläranlagen mit Schlammfäulung und einem hohen Maß an Eigenstromabdeckung (z.B. 80 %) sein, insbesondere dann, wenn zudem angestrebt wird den „Rest“ weitestgehend mit Strom aus einer Photovoltaik-Anlage abzudecken. Hier müsste im Sommer das BHKW während der Tagesstunden gedrosselt werden und dazu der Gasspeicher ausreichend groß sein um den Strom aus der PV-Anlage optimal zu nutzen.

In Hinblick auf die Erarbeitung technischer Lösungsansätze zur Hebung der Lastverschiebungspotenziale auf Kläranlagen ist zusammenfassend festzustellen, dass eine Systemanpassung von Kläranlagen durch bauliche Maßnahmen oder die Installation neuer maschineller Ausrüstung zum Zwecke der Erhöhung des Lastverschiebungspotenzials nicht wirtschaftlich vertretbar und demzufolge nicht sinnvoll ist, wohingegen Investitionen in die Mess- und Regelungstechnik erforderlich wären.

Hinsichtlich weiterer F&E-Tätigkeiten in Hinblick auf die Hebung der Lastverschiebungspotenziale ist in jedem Fall die Entwicklung eines geeigneten Reglers erforderlich.

8 Verzeichnisse

8.1 Literaturverzeichnis

Abaravicius, J, Pyrko, J. (2006): Load Management from an Environmental Perspective, *Energy & Environment* 17 (4), 583-601

Agis, H. (2001): Energieoptimierung von Kläranlagen, Pilotprojekt – Detailuntersuchung von 21 Anlagen. *Endbericht*. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, November 2001

Agis, H. (2002): Energieoptimierung von Kläranlagen. *Wiener Mitteilungen* - Band 176, 133-177

APG (2011): Technische Präqualifikation für Bezug / Lieferung von Sekundärregelreserven, Stand 12.10.2011

Baumann et al (2009): MSR-Technik in abwassertechnischen Anlagen, expert verlag, Renningen, 2009

de Bruyn, K., Kollmann, A., Bartos, B., Markl, B., Schwarz, M. und Hauer, A. (2012): Smart Grids – Rechtliche Aspekte von intelligenten Stromnetzen in Österreich, Bericht im Rahmen der Österreichischen Begleitforschung zu Smart Grids, Linz, August 2012

de Bruyn, K. und Moser, S. (2014): Flex-Tarif: Entgelte und Bepreisung zur Steuerung von Lastflüssen im Stromnetz, Rechtsanalyse, Bericht im Rahmen der Österreichischen Begleitforschung zu Smart Grids, Energieinstitut an der JKU Linz, September 2014

BMLFUW (2014): Kommunales Abwasser Österreichischer Bericht 2014, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 2014

Bremer Energie Institut (2012): Handlungsfelder zur Weiterentwicklung des institutionellen Rahmens für Smart Grids in Österreich, Wien, Dezember 2012

ebswien (2015): ebswien – Abwassertechnische Daten. ebswien hauptkläranlage Ges.m.b.H., 1110 Wien, 11. Haidequerstraße 7. <https://www.ebswien.at/hauptklaeranlage/hauptklaeranlage/zahlen/>, abgerufen am 31.01.2015

E-Control (2013): Das österreichische Strommarktmodell, Stand April 2013 (http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/strom/dokumente/pdfs/strommarktmodell_oesterreich_240_22014.pdf)

E-Control (2015a): Der Strommarkt in Österreich, <http://www.e-control.at/de/marktteilnehmer/strom/strommarkt>, abgerufen am 25.01.2015

E-Control (2015b): Ausgleichsenergie, <http://www.e-control.at/de/marktteilnehmer/strom/strommarkt/ausgleichsenergie>, abgerufen am 25.01.2015

EIWOOG (2014): Gesamte Rechtsvorschrift für Elektrizitätswirtschafts- und –organisationsgesetz 2010, Fassung vom 07.02.2014 (<http://www.e-control.at/portal/page/portal/medienbibliothek/recht/dokumente/pdfs/EIWOOG-2010-Fassung-vom-07.02.2014-1.pdf>)

Giselbrecht, K., Tragner, F., Fechner, H., Sehnal, E., Huber-Medek, K., Müller, L., Fuckkieder, R., Weiss, B. (2011): Marktmodelle für GIPV-Mehrparteien-Immobilien im intelligenten, dezentralen Energiesystem, BMVIT, Wien.

Gutschi, C., Stigler, H. (2008): Potenziale und Hemmnisse für Power Demand Side Management in Österreich, 10. Symposium Energieinnovation, technische Universität Graz, 13. -15. Februar 2008 (https://online.tugraz.at/tug_online/voe_main2.getvolltext?pCurrPk=35775)

Henze, M., Grady, C.P.L.Jr., Gujer, W., Marais, G.v.R., Matsuo, T. (1987) "Activated Sludge Model No. 1". *IAWPRC Scientific and Technical Reports No. 1*, IWA (Internat. Water Association), London, ISSN 1010-707X

Hinterberger, R., Polak, S. (2011): Lastverschiebung in Industrie und Gewerbe in Österreich Chancen und Potentiale in zukünftigen Smart Grids, Vortrag im Rahmen der 7. Internationalen Energiewirtschaftstagung an der TU Wien, 2011

Karg, L., von Jagwitz, A., Baumgartner, G., Wedler, M., Kleine-Hegermann, K., Jahn, C. (2014): Lastverschiebungspotenziale in kleinen und mittleren Unternehmen und Erfolgsfaktoren zur Hebung dieser Potenziale, Bericht aus Energie- und Umweltforschung, München/Salzburg, 2014 (http://www.nachhaltigwirtschaften.at/e2050/e2050_pdf/reports/201408_bericht_lastverschiebungspotenziale_140115.pdf)

Kopf, E. (2013): Gemeindebetriebe stabilisieren das Smart Grid, CLEANTEC, Schweizer Gemeinden 4/13 (http://www.chgemeinden.ch/wAssets/docs/fachartikel/deutsch/energie/2013/13_04-Cleantec.pdf)

Kroiss, H., Nowak, O. (2001): Energieoptimierung von Kläranlagen, Pilotprojekt - Teil II. Forschungsvorhaben in Zusammenarbeit mit AEC - Ingenieurbüro für Elektrotechnik Dipl.-Ing. Hermann Agis. *Endbericht*. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, Dezember 2001

Lindtner, S. (2008): Leitfaden für die Erstellung eines Energiekonzeptes kommunaler Kläranlagen. Medieninhaber und Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Lebensministerium), Wien, April 2008

Lindtner, S. (2010): Kläranlagenleistungsvergleich 2009 - Bereich Energie. ÖWAV Sprechertag der Kläranlagen-Nachbarschaften, 8.-9. September 2010, Pregarten/OÖ.

Lindtner, S. (2012): Kläranlagenleistungsvergleich 2011 - Bereich Energie. ÖWAV Sprechertag der Kläranlagen-Nachbarschaften, 5.-6. September 2012, Pregarten/OÖ.

Lindtner, S. (2013): Kläranlagenleistungsvergleich - Bereich Energie. KAN -Sprechertag 2013. *Folien zum Vortrag*: <http://www.kan.at/Kontext/WebService/SecureFileAccess.aspx?fileguid={d339f8bb-4034-496a-8504-fc9908c42b16}> Zugriff am 18.09.2013

Müller E.A., Thommen, R., Stähli, P. (1994): Energie in ARA - Handbuch. Bundesamt für Konjunkturfragen (BfK), CH-3003 Bern

Nowak O. (1997) Ziele, Vorbedingungen und Grenzen der Anwendung der dynamischen Simulation. *Wiener Mitteilungen* - Band 137, 35-82

Nowak O., Svardal K., Franz A., Kühn V. (1999a) Degradation of particulate organic matter - A comparison of different models concepts. *Water Science and Technology* 39(1), 119-127

Nowak O., Franz A., Svardal K., Müller V., Kühn V. (1999b) Parameter estimation for activated sludge models with the help of mass balances. *Water Science and Technology* 39(4), 113-120

Nowak, O. (2002): Energie-Benchmarking von Kläranlagen – Überlegungen aus abwassertechnischer Sicht. *Wiener Mitteilungen* - Band 176, 179-210

Nowak, O., Keil, S., Fimml, C. (2011): Examples of energy self-sufficient municipal nutrient removal plants. *Water Science & Technology* 64(1), 1-6

PV GIS (2015): Photovoltaic Geographical Information System, European Commission - Joint Research Centre, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>, abgerufen am 12.01.2015

Riße, H., Reinders, M., Wöffen, b., Schröder, M. (2011): Kläranlagen als Baustein für ein System dezentraler Energieerzeugung und Speicherung, *Solarzeitalter_4.2011*: innenseiten 22.12.11 13:11, Seiten 52-55 (http://www.eurosolar.de/de/images/stories/pdf/SZA_4_2011/Risse_SZA_4_2011.pdf)

Salzburg AG (2013): Ergebnisse & Erkenntnisse aus der Smart Grids Modellregion Salzburg, Projektendbericht im Rahmen der Programme „Energie der Zukunft“, „Neue Energie 2020“ und „e!mission“, Salzburg 2013

Seibert-Erling, G. (2010): Energieverbrauch und Energiekosten im Kanalbetrieb. ÖWAV-Sprechertag der Kläranlagen-Nachbarschaften, Pregarten (OÖ), 8.-9. September 2010

Überreiter, E., Lenz, K., Windhofer, G., Zieritz, I. (2012): Kommunale Abwasserrichtlinie der EU – 91/271/EWG. Österreichischer Bericht 2012. Medieninhaber und Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion VII, Stubenring 1, 1010 Wien, Juni 2012

Überreiter, E., Stork, C., Windhofer, G., Zieritz, I. (2014): Kommunales Abwasser. Österreichischer Bericht 2014. EU Richtlinie 91/271/EWG über die Behandlung von kommunalem Abwasser. Kombiniertes Bericht gemäß Artikel 15 und Artikel 16 der Richtlinie für den Zeitraum 2011 – 2012. Medieninhaber und Herausgeber: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Sektion VII, Stubenring 1, 1010 Wien, Juni 2014

8.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3.1: Kategorien des Demand Side Management.....	12
Abbildung 3.2: Handlungsalternativen zur Lastgangbeeinflussung im Rahmen von Lastmanagement ...	13
Abbildung 3.3: Schematische Darstellung des Strommarktes in Österreich.....	16
Abbildung 3.4: Kommunaler Stromverbrauch	18
Abbildung 3.5: Jahresstromverbrauch aller kommunalen Kläranlagen in Österreich.....	19
Abbildung 3.6: Kommunikation der Lastverschiebung in der Industrie	27
Abbildung 4.1: Zusammensetzung der Strombezugskosten EVU Kläranlage I (Datenbasis: 2013)	38
Abbildung 4.2: Energieverbrauch in kWh/a gemessen exkl. Wärmepumpenstrom (Datenbasis: 2013)....	39
Abbildung 4.3: Wirkleistung Einzel-Aggregate Kläranlage I (Datenbasis: 2013).....	40
Abbildung 4.4: Monatshöchstleistung verrechnet und vereinbartes Bezugsrecht Kläranlage I	40
Abbildung 4.5: Zusammensetzung der Strombezugskosten EVU Kläranlage II (Datenbasis: 2013)	42
Abbildung 4.6: Energieverbrauch in kWh/a gemessen exkl. Heizung (Datenbasis: 2012).....	43
Abbildung 4.7: Wirkleistung ausgewählte Einzel-Aggregate Kläranlage II (Datenbasis: 2012).....	44
Abbildung 4.8: Monatshöchstleistung verrechnet und vereinbartes Bezugsrecht Kläranlage II	44
Abbildung 4.9: Zusammensetzung der Strombezugskosten EVU Kläranlage III (Datenbasis: 2013)	46
Abbildung 4.10: Energieverbrauch in kWh/a aus Bezug & Eigenstromproduktion (Datenbasis: 2013)....	47
Abbildung 4.11: Erdgas-Bezug und Faulgas-Anfall (Datenbasis: 2013).....	47
Abbildung 4.12: Wirkleistung ausgewählte Einzel-Aggregate Kläranlage III (Datenbasis: 2013).....	48
Abbildung 4.13: Monatshöchstleistung verrechnet und vereinbartes Bezugsrecht Kläranlage III	49
Abbildung 4.14: Zusammensetzung der Strombezugskosten EVU Kläranlage VI (Datenbasis: 2014)	51
Abbildung 4.15: Energieverbrauch in kWh/a aus Bezug & Eigenstromproduktion (Datenbasis: 2014)....	52
Abbildung 4.16: Erdgas-Bezug und Faulgas-Anfall (Datenbasis: 2014).....	52
Abbildung 4.17: Wirkleistung ausgewählte Einzel-Aggregate Kläranlage IV (Datenbasis: 2014)	53
Abbildung 4.18: Beispiel Tageslastgang für Wintermonat Kläranlage IV (Datenbasis: 2014).....	54
Abbildung 4.19: Monatshöchstleistung verrechnet und vereinbartes Bezugsrecht Kläranlage IV	54

Abbildung 5.1: Stromverbrauch (ohne Zulaufpumpwerk) und Strombereitstellung bei sehr energieeffizienten Kläranlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung (ohne Faulung, ohne Vorklärung) bzw. mit beheizter Schlammfaulung (und kleiner Vorklärung – VKL).....	59
Abbildung 5.2: Stromverbrauch der Kläranlage III im „Referenzszenario“ – bei möglichst konstantem Verbrauch im Tagesverlauf.....	64
Abbildung 5.3: Stromverbrauch der Kläranlage III bei möglichst langer Dauer des Abstellens der Belüftung während der „Vormittagsspitze“	65
Abbildung 5.4: Stromverbrauch der Kläranlage III bei möglichst langer Dauer des Abstellens der Belüftung während der Nachtstunden (etwa ab Mitternacht).....	66
Abbildung 5.5: Stromverbrauch der Kläranlage III bei möglichst langer Dauer des Abstellens der Belüftung während der Nachtstunden und Stromproduktion mittels BHKW bei Volllast bzw. konstant über den Tag	68
Abbildung 5.6: Stromverbrauch der Kläranlage I bei möglichst langer Dauer des Abstellens der Belüftung während der Nachtstunden (13,5 Stunden)	69
Abbildung 5.7: Stromverbrauch der Kläranlage I bei möglichst langer Dauer des Abstellens der Belüftung während der Nachtstunden und Abdeckung des Stromverbrauchs durch eine PV-Anlage mit 225 kWp.....	71

8.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 4.1: Zulaufmengen Kläranlage I (Datenbasis: 2013)	37
Tabelle 4.2: Zulaufmengen Kläranlage II (Datenbasis: 2012)	41
Tabelle 4.3: Zulaufmengen Kläranlage III (Datenbasis: 2013)	45
Tabelle 4.4: Zulaufmengen Kläranlage IV (Datenbasis: 2014)	50
Tabelle 5.1: Stromverbrauch der Kläranlagen nach Anlagenteilen bzw. Aggregatgruppen	61

9 Kontaktdaten

Projektleitung:

DI(FH) DI Martin Schloffer

4ward Energy Research GmbH

Reininghausstraße 13A, 8020 Graz

Tel.: +43 664 88500338

E-Mail: martin.schloffer@4wardenergy.at

Homepage: www.4wardenergy.at

Projektpartner:

Univ.-Doz. Dipl.-Ing. Dr. Otto Nowak

Nowak Abwasser Beratung

Colmarplatz 1, 7000 Eisenstadt

Tel.: +43-676-3370956

E-Mail: nowak@abwasserberatung.at

Homepage: www.abwasserberatung.at/

Projektpartner:

Ing. Reinhard Pregartbauer

Wastewater Solutions Group GmbH

Tel.: +43-664-35 31 387

E-Mail: reinhard.pregartbauer@wastewater.at

Homepage: www.wastewater.at

IMPRESSUM

Projektleitung

Martin Schloffer
4ward Energy Research GmbH
Reininghausstraße 13A, 8020 Graz
Tel.: +43 664 88500338
E-Mail: martin.schloffer@4wardenergy.at
Web: www.4wardenergy.at

Projektpartner

Otto Nowak
Nowak Abwasser Beratung
Colmarplatz 1, 7000 Eisenstadt
Tel.: +43-676-3370956
E-Mail: nowak@abwasserberatung.at
Web: www.abwasserberatung.at/

Reinhard Pregartbauer
Wastewater Solutions Group GmbH
Tel.: +43-664-35 31 387
E-Mail:
reinhard.pregartbauer@wastewater.at
Web: www.wastewater.at

AutorInnen

4ward Energy Research GmbH
– Martin Schloffer
– Evelyn Lang

Nowak Abwasser Beratung
– Otto Nowak
– Peter Enderle

Wastewater Solutions Group
– Reinhard Pregartbauer

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber

Klima- und Energiefonds
Gumpendorfer Straße 5/22
1060 Wien
E-Mail: office@klimafonds.gv.at
Web: www.klimafonds.gv.at

Disclaimer

Die Autoren tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieses Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung des Deckblattes

ZS communication + art GmbH