

# LoadShift: Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur Potenzialanalyse für Smart Grids

Lastverschiebung bei  
kommunalen Kläranlagen  
und Wasserversorgungssystemen

M. Reinhofer-Gubisch,  
J. Pucker, B. Frantes,  
R. Rezania

Österreichische  
Begleitforschung  
zu Smart Grids

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## 7h/2015

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

[www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at)

# LoadShift: Lastverschiebung in Haushalt, Industrie, Gewerbe und kommunaler Infrastruktur Potenzialanalyse für Smart Grids

Lastverschiebung bei kommunalen Kläranlagen  
und Wasserversorgungssystemen

Österreichische Begleitforschung  
zu Smart Grids

Marion Reinhofer-Gubisch, Johanna Pucker  
JOANNEUM RESEARCH  
RESOURCES – Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit

Bettina Frantes  
Sonnenplatz Großschönau GmbH

Rusbeh Rezanja  
TU Wien – EEG

Wien, Juni 2014

## Vorbemerkung

In der Strategie der österreichischen Bundesregierung für Forschung, Technologie und Innovation ist deutlich verankert, dass Forschung und Technologieentwicklung zur Lösung der großen gesellschaftlichen Herausforderungen beizutragen hat, wobei die Energie-, Klima- und Ressourcenfrage explizit genannt wird. In der vom Rat für Forschung und Technologieentwicklung für Österreich entwickelten Energieforschungsstrategie wird der Anspruch an die Forschung durch das Motto „Making the Zero Carbon Society Possible!“ auf den Punkt gebracht. Um diesem hohen Anspruch gerecht zu werden sind jedoch erhebliche Anstrengungen erforderlich.

Im Bereich der Energieforschung wurden in den letzten Jahren die Forschungsausgaben deutlich gesteigert und mit Unterstützung ambitionierter Forschungs- und Entwicklungsprogramme international beachtete Ergebnisse erzielt. Neben der Finanzierung von innovativen Forschungsprojekten gilt es mit umfassenden Begleitmaßnahmen und geeigneten Rahmenbedingungen eine erfolgreiche Umsetzung der Forschungsergebnisse einzuleiten. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Umsetzung ist die weitgehende öffentliche Verfügbarkeit der Resultate. Die große Nachfrage und hohe Verwendungsquoten der zur Verfügung gestellten Ressourcen bestätigen die Sinnhaftigkeit dieser Maßnahme. Gleichzeitig stellen die veröffentlichten Ergebnisse eine gute Basis für weiterführende innovative Forschungsarbeiten dar. In diesem Sinne und entsprechend dem Grundsatz des „Open Access Approach“ steht Ihnen der vorliegende Projektbericht zur Verfügung. Weitere Berichte finden Sie unter [www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at).

DI Michael Paula

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

## **Vorbemerkung zur Smart Grids Begleitforschung**

In den letzten Jahren setzt das BMVIT aufgrund der Aktualität des Themas einen strategischen Schwerpunkt im Bereich der Weiterentwicklung der Elektrizitätsversorgungsnetze. Dabei stehen insbesondere neue technische, aber auch sozio-technische und sozio-ökonomische Systemaspekte im Vordergrund.

Im Rahmen der „Smart Grids Begleitforschung“ wurden daher Fragestellungen von zentraler Bedeutung für die Weiterentwicklung diesbezüglicher F&E-Strategien identifiziert und dementsprechende Metastudien, Detailanalysen und Aktionspapiere initiiert und - zum Teil gemeinsam mit dem Klima- und Energiefonds - finanziert. Der gegenständliche Bericht dokumentiert eine in diesem Zusammenhang entstandene Arbeit, die nicht zwingend als Endergebnis zur jeweiligen Fragestellung zu verstehen ist, sondern vielmehr als Ausgangspunkt und Grundlage für weiterführende Forschung, Strategieentwicklung und Entscheidungsfindung.

Michael Hübner

Themenmanagement Smart Grids

Abteilung Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Der Klima- und Energiefonds unterstützt das bmvit bei dieser Strategieentwicklung. Dieses Projekt wurde mit Mitteln des Klima- und Energiefonds finanziert.

## VORWORT

Im Rahmen des Projektes „Loadshift“ werden Potenziale der Verschiebung der Energienachfrage erhoben und die ökonomischen, technischen sowie rechtlichen bzw. organisatorischen Aspekte der Verschiebungspotenziale analysiert. Das Projekt untersucht die Lastverschiebungspotenziale dabei getrennt für die Sektoren Industrie, Gewerbe, Haushalte und kommunale Infrastruktur, liefert konsistente Schätzungen für den Aufwand verschiedener Grade der Potenzialausschöpfung und leitet Kostenkurven für Österreich ab.

Der vorliegende **Projektbericht 7/9 „Lastverschiebung bei kommunalen Kläranlagen und Wasserversorgungssystemen“** wurde im Rahmen dieses Projektes erstellt. Weitere Projektberichte des Projektes Loadshift sind:

0/9: Überblick und Zusammenfassung: Das Projekt Loadshift

1/9: Loadshift- Rahmenbedingungen

2/9: Netztechnische Betrachtung

3/9: Literaturvergleich

4/9: Lastverschiebung in der Industrie

5/9: Lastverschiebung bei gewerblichen Anwendungen: Lebensmittelkühlung und Dienstleistungsgebäude

6/9: Lastverschiebung in Haushalten

**7/9: Lastverschiebung bei kommunalen Kläranlagen und Wasserversorgungssystemen**

8/9: Rechtliche Aspekte des nachfrageseitigen Lastmanagements in Österreich inkl. eines Ausblicks auf die deutsche Rechtslage

9/9: Hemmniskatalog



Das Projekt Loadshift wird im Rahmen der 5. Ausschreibung Neue Energien 2020 vom Klima- und Energiefonds gefördert.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung zum Arbeitspapier <i>Lastverschiebung bei kommunalen Kläranlagen und Wasserversorgungssystemen</i> .....	4
2	Lastverschiebungspotenziale in der kommunalen Abwasserreinigung .....	5
2.1	Einleitung und Problemstellung .....	5
2.2	Zielsetzung .....	6
2.3	Methodik .....	6
2.4	Grundlagen .....	6
2.4.1	Kläranlagen in Österreich .....	6
2.5	Lastverschiebungspotenzial in Kläranlagen .....	10
2.5.1	Grundlagen zur Lastverschiebung in Kläranlagen .....	10
2.5.2	Lastverschiebungspotenzial anhand von Praxisbeispielen .....	11
2.5.3	Gesamtösterreichisches Lastverschiebungspotenzial in Kläranlagen .....	23
2.5.4	Inputdaten zur Erstellung von Cost-Curves für Kläranlagen .....	26
2.5.5	Hemmnisse zur Umsetzung der Lastverschiebung im Bereich der Abwasserreinigung .....	27
2.6	Zusammenfassung .....	29
2.7	Literaturverzeichnis .....	31
3	Case Study: Lastverschiebung bei Abwasserbeseitigungsanlagen und Wasserversorgungssystemen am Beispiel der Marktgemeinde Großschönau .....	34
3.1	Überblick der Wasserversorgung in Großschönau .....	34
3.2	Überblick der Abwasser-Beseitigungsanlagen in Großschönau .....	39
3.3	Ökonomische Bewertung des Lastverschiebepotenzials .....	39
3.3.1	Datengrundlage .....	40
3.4	Ergebnisse .....	41
3.4.1	Einnahmepotenzial für das Wasserversorgungssystem .....	41
3.4.2	Einnahmepotenzial für die Abwasser-Beseitigungsanlagen .....	42
3.4.3	Kosten-Nutzen-Analyse .....	43
3.5	Schlussfolgerungen .....	44
3.6	Literaturverzeichnis .....	45
3.7	Anhang .....	46
4	Abbildungsverzeichnis .....	45
5	Tabellenverzeichnis .....	45

# **1 Einleitung zum Arbeitspapier „Lastverschiebung bei kommunalen Kläranlagen und Wasserversorgungssystemen“**

Das vorliegende Arbeitspapier beschäftigt sich aus zwei unterschiedlichen Perspektiven mit der Frage, welche Lastverschiebepotenziale in der kommunalen Infrastruktur genutzt werden könnten.

Im ersten Teil werden die anlagen- und verfahrenstechnischen Möglichkeiten zur Verschiebung von elektrischen Lasten im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung, untersucht. Diesbezüglich werden Abwasserreinigungsanlagen (ARAs) hinsichtlich der wesentlichen energetischen Verbrauchergruppen evaluiert und die Rahmenbedingungen zur Verschiebung von elektrischen Lasten definiert. Darauf aufbauend werden die sich daraus ergebenden Potenziale zur Reduktion von Spitzenlasten bewertet und das daraus erzielbare Kosten/Nutzenverhältnis evaluiert. Als Fallbeispiele dienen Abwasserreinigungsanlagen mit einer Ausbaupazität zwischen 10.000 bis 70.000 EW (Einwohnerwerten). Auf Basis dieser Fallbeispiele erfolgt eine Hochrechnung auf das Verschiebepotenzial in ganz Österreich.

Im zweiten Teil wird die Analyse durch einen Case Study ergänzt: im Rahmen einer detaillierten Analyse der Umsetzung von Maßnahmen zur Nutzung von Verschiebepotenzialen, die in der Gemeinde Großschönau, Niederösterreich, durchgeführt wurde, wird gezeigt, wie sich die Realisierung von Lastverschiebemaßnahmen für eine (kleine) Gemeinde darstellt.



## 2 Lastverschiebungspotenziale in der kommunalen Abwasserreinigung

### 2.1 Einleitung und Problemstellung

Zur Abschätzung des Potenzials für Lastverschiebung in Österreich im Bereich der kommunalen Infrastruktur wurden innerhalb des Projektes Loadshift Einzelbetrachtungen für die verschiedenen Bereiche der kommunalen Infrastruktur durchgeführt. Wobei ein wesentlicher Schwerpunkt bei der Untersuchung der verfahrenstechnischen bzw. anlagenspezifischen Möglichkeiten zur Verschiebung von elektrischen Lasten im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung gesetzt wurde.

Kläranlagen haben zwischen 14 und 20 % Anteil am Gesamtstromverbrauch im kommunalen Bereich und gehören damit oft zu den großen Stromverbraucher in einer Gemeinde<sup>1</sup> (siehe Abbildung 2-1). Der Gesamtstromverbrauch der Kläranlagen in Österreich beträgt in etwa 550 GWh pro Jahr (vgl. Lindtner (2012)).

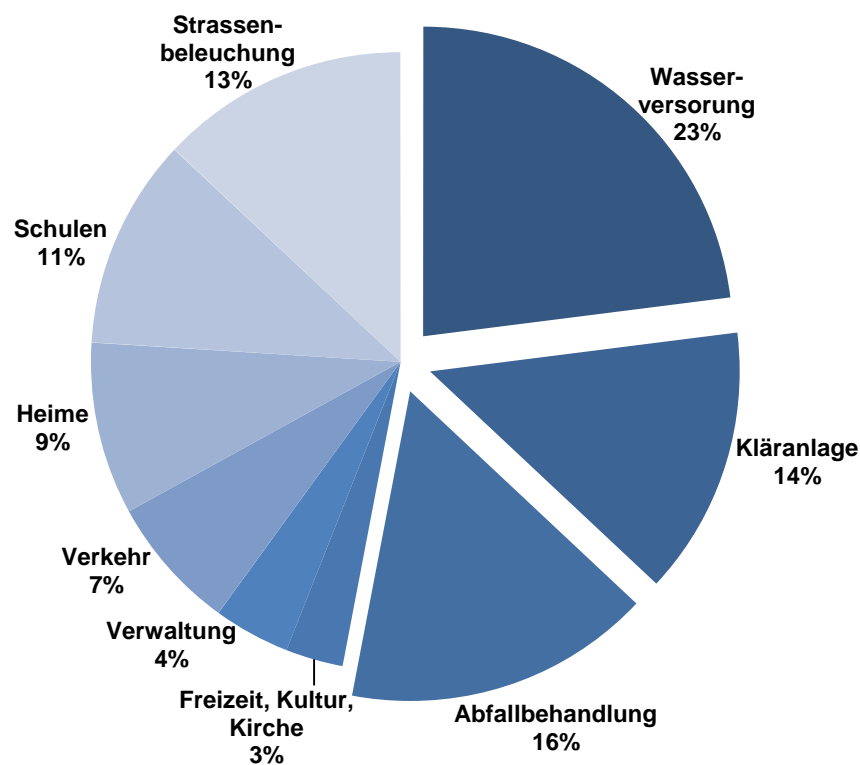


Abbildung 2-1: Verteilung des Anteils am Stromverbrauch kommunaler Einrichtungen am Beispiel der Schweiz, Quelle: Müller (2013).

<sup>1</sup> Fricke (2009), Müller (2013).

## 2.2 Zielsetzung

Zielsetzung der Arbeiten ist eine Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials aus Kläranlagen für Gesamtösterreich unter Berücksichtigung des übergeordneten Projektzieles des Projektes „Loadshift“. Darauf basierend werden Rahmenbedingungen identifiziert, welche für die technische und wirtschaftliche Nutzung und Umsetzung dieses Potenzials notwendig sind.

## 2.3 Methodik

Die Erhebung des Lastverschiebungspotenzials in Kläranlagen erfolgte durch die Abschätzung des Potenzials anhand von Fallbeispielen und einer Hochrechnung der Ergebnisse auf Basis statistischer Daten für Österreich. Zur Datenerhebung wurde eine umfangreiche Literaturrecherche zum Energieverbrauch von Kläranlagen, zum spezifischen Stromverbrauch einzelner Anlagenkomponenten bzw. einzelner Verfahrensschritte sowie zur Lastverschiebung im Kläranlagenbereich durchgeführt.

Zur Bestimmung des Lastverschiebungspotenzials wurden Daten zum elektrischen Energieverbrauch aus ausgewählten Kläranlagen, welche in ihren Größen (Einwohneranschlusswert) repräsentativ für die Struktur der Abwasserreinigung in Österreich sind, ausgewertet. Dafür wurden für ausgewählte Kläranlagen Messwerte zu Stromverbrauch und soweit vorhanden zum Lastgang erhoben und für die einzelnen elektrischen Anlagenkomponenten die Leistung und die Laufzeiten ermittelt.

In einem weiteren Schritt wurden – zumeist in unmittelbarer Zusammenarbeit mit den Betreibern der Kläranlage – jene Prozessschritte identifiziert, wo grundsätzlich Lastverschiebungen möglich sind, sowie die maximal mögliche Dauer der Verlagerung festgestellt. Basierend darauf erfolgte die Berechnung der Lastverschiebungspotenziale für die ausgewählten Kläranlagen. Das Lastverschiebungspotenzial wurde für den aktuellen Stand der Technik und die derzeitige technische Anlagenausstattung der Praxisbeispiele erhoben. Wesentliche Änderungen in der Anlagentechnik oder die Installation von zusätzlichen Anlagenkomponenten (z.B.: Sammelbehälter, Blockheizkraftwerke, Gasspeicher) wurden nicht berücksichtigt.

Aufbauend auf den Lastverschiebungspotenzialen der Praxisbeispiele und allgemeinen Daten zu Kläranlagen in Österreich (Anzahl der Anlagen, Ausbaupkapazitäten, Stromverbrauch), wurde das Lastverschiebungspotenzial in Kläranlagen für ganz Österreich mittels „Bottom-Up-Methode“ und „Top-Down-Methode“ abgeschätzt.

## 2.4 Grundlagen

### 2.4.1 Kläranlagen in Österreich

In Österreich sind 93,9 % der Bevölkerung<sup>2</sup> an ein öffentliches Kanalnetz mit kommunaler Kläranlage angeschlossen. Gemäß des österreichischen Berichtes zur Kommunalen Abwasserrichtlinie der EU (Lebensministerium 2012) sind derzeit 1.841 Kläranlagen unterschiedlicher Größenklassen in Betrieb, was einer vorhandenen Ausbaupkapazität von insgesamt rund 21,5 Mio. EW<sub>60</sub> entspricht (siehe Tabelle 2-1).

---

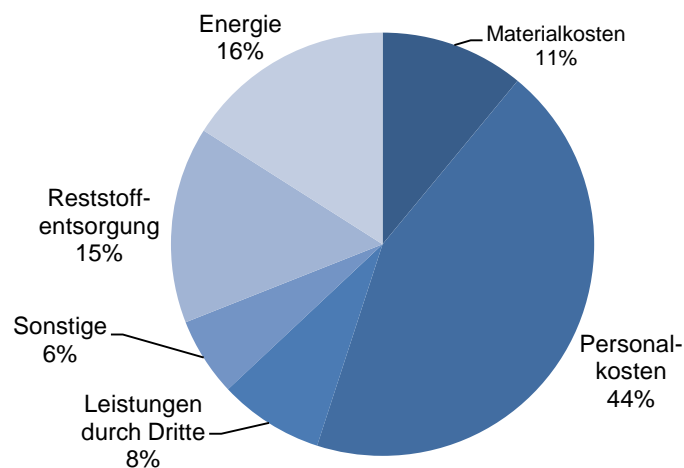
<sup>2</sup> Lebensministerium (2012).

**Tabelle 2-1: Vorhandene Ausbaupazitäten der Kläranlagen in Österreich (Stand 31.12.2012)**

Größenklasse (EW)	Anzahl Kläranlagen	% Anteil an der Kläranlagenzahl	Ausbaupazität (EW 60)	% Anteil an der Ausbaupazität
51-1.999	1.206	66,5 %	475.009	2,2 %
2.000-10.000	371	20,1 %	1.757.654	8,2 %
10.001-15.000	46	2,5 %	592.405	2,8 %
15.001 – 150.000	200	10,9 %	8.783.235	40,8 %
> 150.000 <sup>1</sup>	18	1,0 %	9.899.267	46,0 %
<b>Summen</b>	<b>1.841</b>	<b>100 %</b>	<b>21.507.570</b>	<b>100 %</b>

Quelle: Lebensministerium (2012).

Die Energiekosten von Kläranlagen, welche in Kosten für thermischen und elektrischen Bedarf untergliedert werden können, werden im Wesentlichen von Kosten für elektrische Energie dominiert. Wie nachfolgende Abbildung 2-2 verdeutlicht, machen die Energiekosten rund 16 % der Gesamtbetriebskosten der Kläranlage aus.<sup>3</sup>



**Abbildung 2-2: Betriebskostenverteilung auf Kläranlagen, Quelle: Lindtner (2011).**

### 2.4.1.1 Elektrischer Energiebedarf von Kläranlagen

In der Literatur<sup>4</sup> finden sich die in Tabelle 2-2 dargestellten Angaben für den spezifischen Stromverbrauch von Kläranlagen, abhängig von der Anlagengröße.

**Tabelle 2-2: Anschlussgröße und spezifischer Stromverbrauch von Kläranlagen**

Anschlussgröße	Spezifischer Stromverbrauch pro EW/Jahr [kWh/(EW*a)]
< 1.000 EW	75
> 1.000 – 5.000 EW	55
> 5.000 – 10.000 EW	44
> 10.000 – 100.000 EW	35
> 100.000 EW	32

Quelle: Fricke (2009).

Der Energiebedarf wird wesentlich von der Verfahrenstechnik und der Ausbaugröße beeinflusst<sup>5</sup>. Anlagen mit Schlammfäulung und einer Ausbaugröße über 50.000 EW

<sup>3</sup> Vgl. Lindtner (2011).

<sup>4</sup> Vgl. Fricke (2009).

benötigen wesentlich weniger elektrische Energie als Anlagen mit Ausbaugrößen unter 1.000 EW.

Grundsätzlich ist durch Optimierungsmaßnahmen im Bereich der Kläranlagen erhebliches Einsparungspotenzial gegeben. So wurde für niederösterreichische Kläranlagen welche rund 95 GWh/a (Daten aus dem Jahr 2008)<sup>6</sup> an elektrischer Energie verbrauchten ein Einsparungspotenzial von bis zu 30 GWh/a ermittelt. Für Kläranlagen mit Faulung und Ausbaugrößen >50.000 EW wurde ein elektrischer Strombedarf von durchschnittlich 31 kWh/(EW<sub>120</sub>\*a) ermittelt. Für die Optimierung kann für Kläranlagen mit Faulung von einem spezifischen Strombedarf von 20 kWh/(EW<sub>120</sub>\*a) ausgegangen werden.<sup>7</sup> Bei Kläranlagen mit aerober Schlammstabilisierung und einer Ausbaugröße <1.000 EW wurde in der Studie ein elektrischer Strombedarf von durchschnittlich 80 kWh/(EW<sub>120</sub>\*a) ermittelt. Je nach Ausbaugröße könnte durch Optimierungsmaßnahmen der elektrische Energiebedarf zwischen 50 – 30 kWh/(EW<sub>120</sub>\*a) gesenkt werden.

Dies zeigt, dass bei der Bestimmung von Lastverschiebungspotenzialen in Kläranlagen, durch die dafür notwendige Analyse des Energiebedarfs der elektrischen Anlagenkomponenten, möglicherweise auch Maßnahmen zur Reduktion des elektrischen Energiebedarfs identifiziert werden können.

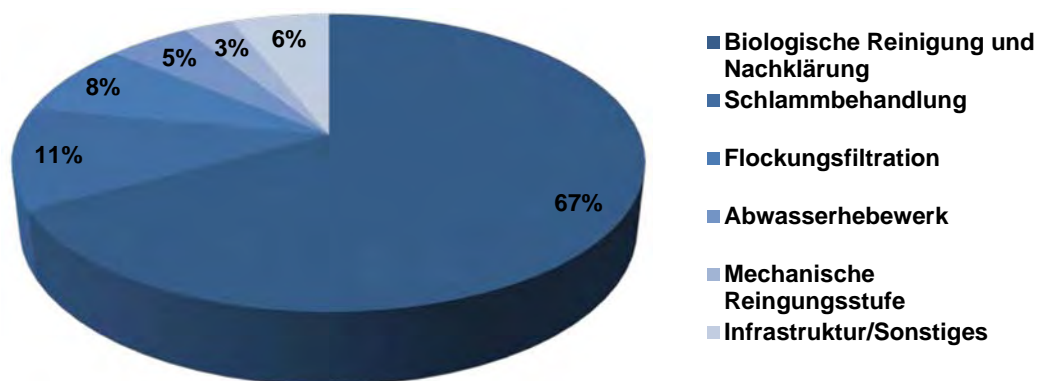


Abbildung 2-3: Anteil der einzelnen Verfahrensschritte am Gesamtstromverbrauch, Quelle: Fricke (2009)

Wie aus Abbildung 2-3 ersichtlich wird, ist der Anteil der biologischen Reinigungsstufe am Gesamtstrombedarf des Klärprozesses mit rund 67 % der größte Stromverbraucher. Je nach Alter und Verfahrenstechnik schwanken die spezifischen Stromverbrauchswerte der einzelnen Anlagenkomponenten stark.

Die Belüftungseinrichtungen sind im Regelfall die größten Stromverbraucher. Für Anlagen mit anaerober Stabilisierung (d.h. Klärschlammfäulung und Biogasgewinnung) liegt der Stromverbrauch für die Belüftung bei rund 50 % des Gesamtstrombedarfs. Anlagen mit aerober Schlammstabilisierung benötigen für die Belüftung zwischen 60 % und 80 % des Gesamtstrombedarfs der Kläranlage.

Nachfolgende

Tabelle 2-3 gibt den Normalbereich für den spezifischen Stromverbrauch in kWh/(EW<sub>120</sub>\*a) für die einzelnen Verfahrensschritte an, welcher für Maßnahmen zur Energieoptimierung als

<sup>5</sup> siehe Lindtner (2011).

<sup>6</sup> siehe Lindtner (2008).

<sup>7</sup> Siehe Lindtner (2008).

Orientierungshilfe herangezogen wird und auch zur Eruierung bzw. Beurteilung des Lastverschiebungspotenzials relevant ist.

**Tabelle 2-3: Normalbereiche des spezifischen Stromverbrauch**

Verfahrensschritt	Normalbereich (von-bis)
	kWh/(EW <sub>120</sub> *a)
<b>Kläranlage gesamt</b>	<b>20 - 50</b>
<b>Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung</b>	<b>2,5 - 5,5</b>
Zulaufpumpwerk	1,5 - 3,5
Rechen	0,5 - 1
Sand- u. Fettfang	0,5 - 1
<b>Mechanisch-biologische Reinigung</b>	<b>14,5 - 33</b>
Belüftung	11,5 - 22
Rührwerk	1,5 - 4,5
RS-Pumpen	1 - 4,5
Sonstiges (VKB, NKB,...)	0,5 - 2
<b>Schlammbehandlung</b>	<b>2 - 7</b>
MÜSE und stationärer Eindicker	0,5 - 1
Faulung	1 - 2,5
Schlammwässerung	0,5 - 3,5
<b>Infrastruktur</b>	<b>1 - 4,5</b>
Heizung	0 - 2,5
Sonstige Infrastruktur	1 - 2

Quellen: Fricke (2009), Lindtner (2011).

Wie in

Tabelle 2-3 ersichtlich, ist die Schwankungsbreite des Stromverbrauchs für die Belüftung besonders hoch. Aus verfahrenstechnischen Gründen brauchen Anlagen mit aerober Stabilisierung mehr Strom für die Belüftung als Anlagen mit anaerober Stabilisierung (Faulung). Tabelle 2-4 verdeutlicht den unterschiedlichen spezifischen Energieaufwand in Abhängigkeit von der Verfahrenstechnik und der Abwasserzusammensetzung.

**Tabelle 2-4: Unterschiede im Stromverbrauch für die Stabilisierung je nach Verfahrenstechnik und Schmutzfracht**

	N/CSB Verhältnis	Sauerstoff	kWh/(EW <sub>120</sub> *a)
<b>Anaerobe Stabilisierung (Faulung)</b>	0,1	Guter Sauerstofftrag (Optimum von 2,2 kg/kWh)	10
	0,1	Ungünstige Sauerstoffverhältnisse (1,5 kg/kWh)	15
	0,05	Sauerstoffbedarf wird geringer	9
<b>Aerobe Stabilisierung</b>	0,1	Guter Sauerstofftrag (Optimum von 2,2 kg/kWh)	15
	0,1	Ungünstige Sauerstoffverhältnisse (1,5 kg/kWh)	22

Quelle: Lindtner (2011).

## 2.5 Lastverschiebungspotenzial in Kläranlagen

### 2.5.1 Grundlagen zur Lastverschiebung in Kläranlagen

Aus Sicht des Netzbetreibers sind zwei Möglichkeiten der Lastverschiebungen interessant:

1. Lastreduktion & Erhöhung der Erzeugung zum Ausgleich von Leistungsdefiziten im Netz (positive Regelleistung)
2. Lasterhöhung & Reduktion der Erzeugung zum Ausgleich von Leistungsüberschüssen im Netz (negative Regelleistung)

In einer Kläranlage kann Lastreduktion in Form einer kurzzeitigen Minimierung des Strombezuges, durch Abschalten von Anlagenkomponenten, zur Verfügung gestellt werden. Eine Erhöhung der Erzeugung kann durch die Erhöhung der Eigenstromproduktion aus Faulgas erfolgen, sofern die Kläranlage über eine Schlammfäulung und ein Blockheizkraftwerk (BHKW) verfügt.

Lasterhöhung könnte von einer Kläranlage durch eine Erhöhung des Stromverbrauchs durch Einschalten von Anlagenkomponenten erfolgen. Dies ist aus betriebstechnischer Sicht jedoch zumeist nicht sinnvoll. Aus Sicht der Reinigungsleistung ergibt z.B. eine stärkere Belüftung in der Biologie keine zusätzlichen Vorteile. Auch jene Prozessschritte, welche zeitlich einer größeren Flexibilität unterliegen, wie z.B. das Abpressen des Klärschlammes, können aus betriebstechnischer Sicht zumeist nicht unbegrenzt verschoben werden bzw. in der Nacht oder auch an Wochenenden durchgeführt werden, da für diese Prozesse zumeist die Anwesenheit von Personal in der Anlage notwendig ist.

Die aus Sicht des Kläranlagenbetriebes einzige sinnvolle Möglichkeit zum Ausgleich von Leistungsüberschüssen im Netz ist, in Anlagen mit Schlammfäulung und Blockheizkraftwerken (BHKWs), die Minimierung der Stromproduktion durch Speicherung des Faulgases. Die Dauer bzw. Menge der Stromreduktion hängt dabei stark von der Größe der vorhandenen Gasspeicher ab, welche je nach Anlage sehr stark variieren.

Die Identifikation von Lastverschiebungspotenzialen in Kläranlagen setzt die Transparenz des Stromverbrauches einzelner Anlagenkomponenten, insbesondere jene der größten Stromverbraucher wie Belüftungseinrichtungen und Pumpwerke, voraus. Hier kommen zum einen Stromzähler und zum anderen die Messung des Druckverlustes von Belüftungseinrichtungen durch Manometer<sup>8</sup> zum Einsatz. Derzeit ist diese Kontrolle der Anlagenteile in den Kläranlagen noch nicht allgemein üblich. Moderne Kläranlagen verfügen im Regelfall über zentrale Steuereinrichtungen, in welche Stromverbrauchsdaten sowie Regelungen zur Lastverschiebung relativ leicht integriert werden könnten.

Der Großteil der österreichischen Kläranlagen arbeitet nach dem Prinzip der biologischen Reinigung (mechanischen Vorreinigung, ein- oder mehrstufige biologischen Hauptreinigung und Nachreinigung). Unterschiede finden sich bei der Schlammstabilisierung (aerobe Stabilisierung oder Fäulung). Grundsätzlich haben Anlagen <20.000 EW höhere Energiekosten als größere Anlagen, was in der Verfahrenstechnik<sup>9</sup> begründet ist. Anlagen >20.000 EW mit Schlammfäulung profitieren zumeist durch die Eigenstromerzeugung aus der Faulgasnutzung mittels BHKW.

Wesentliche Anlagenkomponenten, welche relevant für den Stromverbrauch sind, sind Pumpen, Hebeanlagen (Hebeschnecken) sowie Belüftungsanlagen zum Eintrag des

---

<sup>8</sup> Siehe Fricke (2009).

<sup>9</sup> Vgl. Lindtner (2011).

notwendigen Sauerstoffs und Einrichtungen zur Entwässerung des Klärschlammes. Den weitaus größten Anteil am Stromverbrauch haben im Regelfall die unterschiedlichen Belüfter. In welchem verfahrenstechnischen Abschnitt der Kläranlage Lastverschiebung, z.B. durch Abschalten einzelner Anlagenteile, durchgeführt werden kann, hängt immer von der Belastung des Abwassers und der Klärtechnik (Alter der Anlage, Verfahrenstechnik, etc.) ab. In der Literatur<sup>10</sup> werden für Kläranlagen folgende Möglichkeiten zur Lastverschiebung beschrieben:

- Kurzzeitige Reduzierung der Belüftungsleistung bis hin zu kurzzeitigem Abschalten der Belüftung
- Kurzzeitige Reduktion von Pumpleistungen bis hin zu kurzzeitigem Abschalten
- Sauerstoffanreicherung vor der Lastverschiebung
- Nutzung von Speichervolumen für Rohabwasser während Stromspitzen
- Zeitversetzter Einsatz von Rücklaufpumpen bzw. angepasste zeitliche Neuplanung
- Hebeschnecken für den Schlammabzug
- Schlammbehandlung

## **2.5.2 Lastverschiebungspotenzial anhand von Praxisbeispielen**

Die für das Projekt ausgewählten Kläranlagen repräsentieren sowohl in ihrer Größe (Anschlusswerte von >150.000 EW, 45.000 EW, 5.500 EW und 500 EW) als auch der Verfahrenstechnik sehr gut die österreichische Situation der Abwasserreinigung.

Für die ausgewählten Kläranlagen wurden Messwerte zu Stromverbrauch und Leistung (¼-Stunden Mittelwert oder monatliche Spitzenwerte) erhoben und ausgewertet. Für die einzelnen elektrischen Anlagenkomponenten wurden Nennleistung und die Laufzeiten ermittelt.

In einem weiteren Schritt wurden – zumeist in unmittelbarer Zusammenarbeit mit den Betreibern der Kläranlage – jene Prozessschritte identifiziert, wo grundsätzlich Lastverschiebungen möglich sind, sowie die maximal mögliche Dauer der Verlagerung festgestellt. Basierend auf diesen Informationen wurde das Lastverschiebungspotenzial für die folgenden Zeitabschnitte bestimmt:

- max. 5 min
- max. 15 min
- max. 1 h
- max. 4 h
- max. 12 h
- max. 24 h

Das Lastverschiebungspotenzial wurde für den aktuellen Stand der Technik und die derzeitige technische Anlagenausstattung der Beispielanlagen erhoben. Wesentliche Änderungen in der Anlagentechnik oder die Installation von zusätzlichen Anlagenkomponenten (z.B. Sammelbehälter, Blockheizkraftwerke, Gasspeicher) wurden nicht berücksichtigt.

---

<sup>10</sup> Vgl. Lekov (2009), Thompson (2008), Thompson (2010).

### 2.5.2.1 Kläranlage 1 – Anschlusswert 45.000 EW

„Kläranlage 1“ (siehe Abbildung 2-4) ist eine mechanisch biologische Abwasserreinigungsanlage mit einem Anschlusswert von 45.000 EW. Es wird vorwiegend kommunales Abwasser gereinigt (43.000 EW) sowie Abwasser aus einem lebensmittelerzeugenden Betrieb. Für die Bestimmung des Lastverschiebungspotenzials wurden die in Tabelle 2-5 aufgelisteten Anlagenkomponenten berücksichtigt.

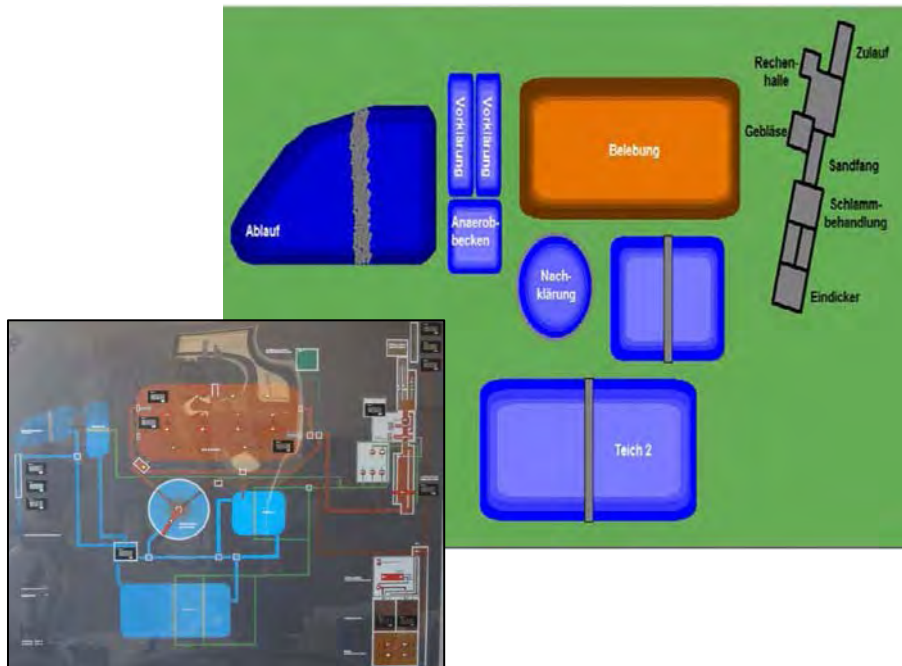


Abbildung 2-4: Anlagenschema – „Kläranlage 1“, Quelle: Eigene Darstellung - Betreiber der Kläranlage 1

Tabelle 2-5: Anlagenkomponenten der Anlage 1

Zulauf	Schneckenpumpe 1	Eindicker	Mixer
	Schneckenpumpe 2	Belüfter	Tiefenbelüfter 1
Rechen	Rechenanlage		Tiefenbelüfter 2
Sandfang	Sandklasierer		Tiefenbelüfter 3
	Abwassertauchpumpe		Tiefenbelüfter 4
	Räumer		Umwälzbelüfter 1
Fettabscheider	Pumpe		Umwälzbelüfter 2
Vorklärung	Rührwerk 1		Umwälzbelüfter 3
	Rührwerk 2		Umwälzbelüfter 4
	Kettenräumer 1		Umwälzbelüfter 5
	Kettenräumer 2	Zwischenklär-becken	Rundräumer
	Schwimmschlammpumpe 1	mechanische Überschussschlamm-twässerung	
	Schwimmschlammpumpe 2	Dekanter	Zentrifuge
	Schwimmschlammräumer 1		
	Schwimmschlammräumer 2		
	Frischschlammpumpe (Primärschlamm)		
	Schlammheber - Hydraulikaggregat		
	Rücklaufschlammpumpe		
	Überschussschlammpumpe		

Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research



## Elektrische Energieversorgung

Die Anlage benötigte im Jahr 2012 ca. 1.500 MWh Strom. Der spezifische jährliche Stromverbrauch bezogen auf 45.000 EW betrug 34 kWh/(EW\*a).

Basierend auf den gemessenen Viertelstunden-Mittelwerten der Leistung konnte für Kläranlage 1 der Lastverlauf für das Jahr 2012 dargestellt werden. Beispielhaft sind die Monate Februar und August in Abbildung 2-5 und Abbildung 2-6 dargestellt.

In den Monaten April bis September treten deutlich weniger negative Leistungsspitzen auf, als in den Monaten Oktober bis März. Das kann darauf zurückgeführt werden, dass bei höheren Temperaturen der Sauerstoffbedarf zur Erreichung der geforderten Reinigungsleistung höher ist und die Belüftungs- und Rührwerke stärker zum Einsatz kommen. In den Monaten April bis September kann ein Wochengang im Lastverlauf erkannt werden. An Samstagen und Sonntagen ist die benötigte Leistung deutlich geringer und es treten weniger Leistungsspitzen auf. Hier zeigt sich der Einfluss der gewerblichen Abwässer, die in der Kläranlage gereinigt werden.

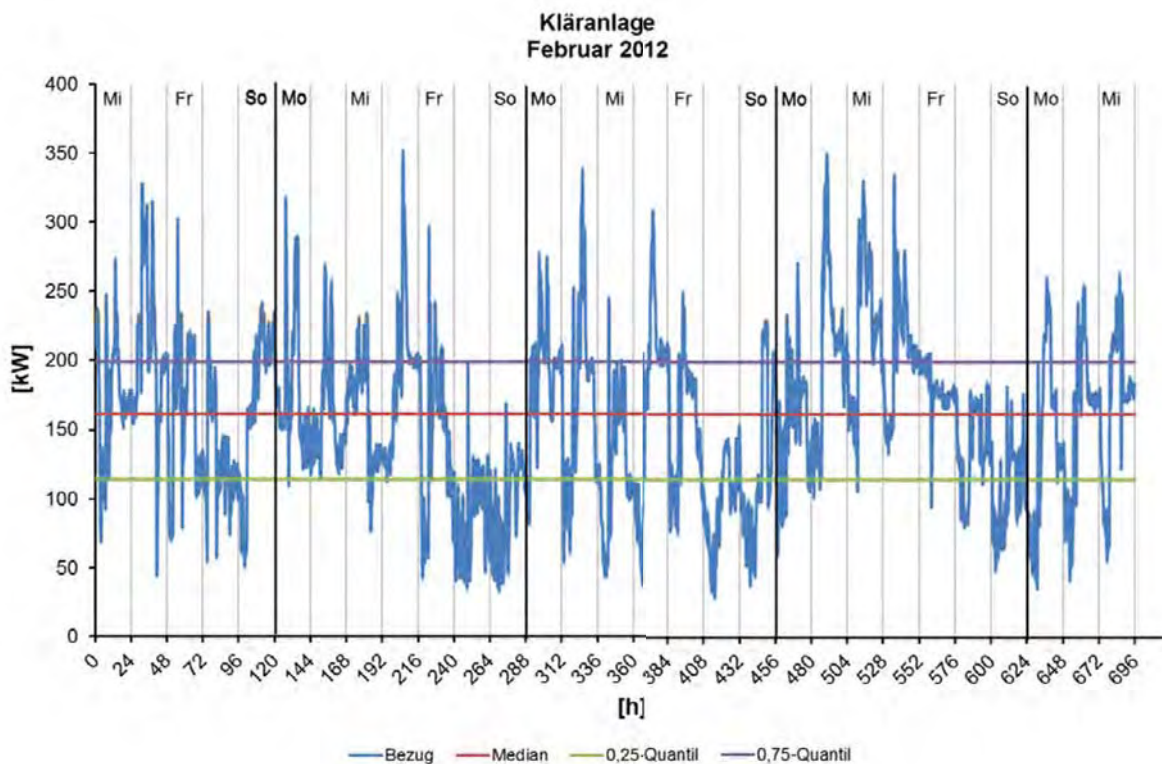
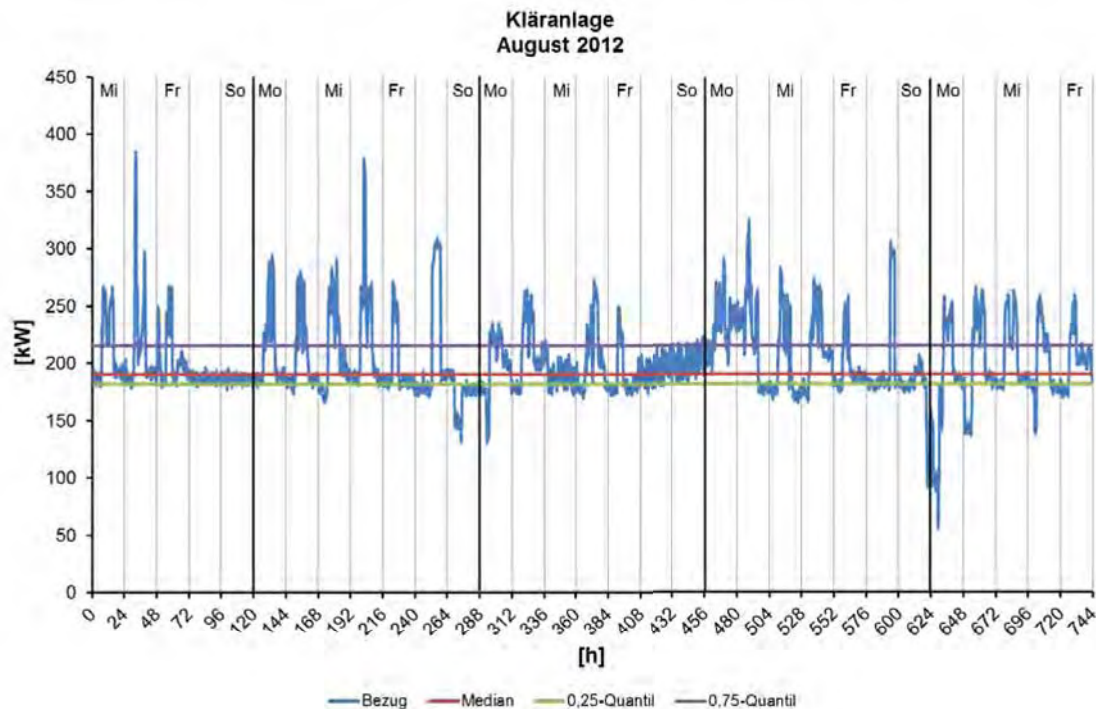


Abbildung 2-5: Lastverlauf der Anlage 1 im Februar 2012 (Viertelstunden-Mittelwerte der Leistung)  
(Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research)



**Abbildung 2-6: Lastverlauf der Anlage 1 im August 2012 (Viertelstunden-Mittelwerte der Leistung)**  
 (Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research)

Für die in Tabelle 2-5 dargestellten elektrischen Anlagenkomponenten konnte die Nennleistung erhoben werden. Diese beträgt in Summe 382 kW. Die höchste Nennleistung weisen die vier Tiefenbelüfter (jeweils 46,15 kW), die Zentrifuge (25 kW) und die fünf Umwälzbelüfter (jeweils 15 kW) auf.

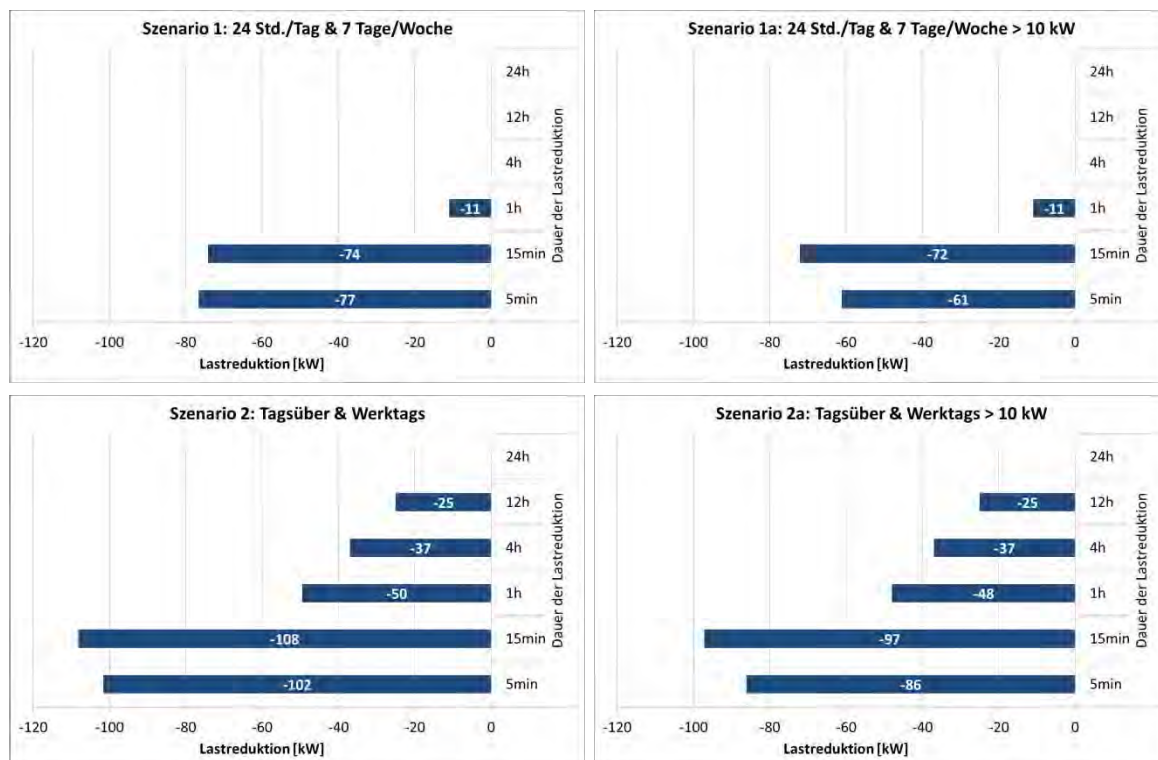
Das zuständige Elektrizitätsversorgungsunternehmen greift bereits heute für die Blindleistungsbegrenzung im Stromnetz in die Betriebsführung der Kläranlage ein. Wird ein bestimmter Blindleistungsgrenzwert im Stromnetz überschritten, werden mittels Rundsteuerempfänger die Presse bzw. die Belüfter der Kläranlage abgeschaltet. Diese Eingriffe treten derzeit jedoch nur vereinzelt im Winter auf und die Abschaltungen dauern in der Regel nur einige Minuten bis zu einer halben Stunde. Die Kläranlage ist die einzige Einrichtung im Netzgebiet des Elektrizitätsversorgungsunternehmens in dem diese Maßnahme durchgeführt wird und es gibt keine tarifliche Vereinbarung.

### **Lastverschiebungspotenzial:**

Für diese Anlage wurden vier Szenarien für die Lastverschiebung durch Abschaltung von elektrischen Anlagenkomponenten (Lastreduktion) untersucht:

- Szenario 1: Es werden nur Anlagenkomponenten berücksichtigt, die durchgehend in Betrieb sind (24 Stunden pro Tag, 7 Tage in der Woche).
- Szenario 1a: Es werden nur Anlagenkomponenten berücksichtigt, die durchgehend in Betrieb sind und eine Mindestnennleistung von 10 kW aufweisen.
- Szenario 2: Es werden alle Anlagenkomponenten berücksichtigt, die tagesüber von Montag bis Freitag in Betrieb sind.
- Szenario 2a: Es werden alle Anlagenkomponenten berücksichtigt, die tagesüber von Montag bis Freitag in Betrieb sind und eine Mindestnennleistung von 10 kW aufweisen.

Abbildung 2-7 zeigt das ermittelte Lastverschiebungspotenzial durch Lastreduktion von Kläranlage 1 für diese vier Szenarien.



**Abbildung 2-7: Lastverschiebungspotenzial durch Lastreduktion von Kläranlage 1 für vier Szenarien, (Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research)**

Das höchste Potenzial wurde für die Abschaltdauer von max. 15 min ermittelt. Je nach Szenario beträgt das Potenzial für diese Abschaltdauer zwischen 72 und 108 kW. Für dieses Zeitintervall können folgende Anlagenkomponenten zur Lastverschiebung eingesetzt werden: Rücklaufschlammpumpe, 1 Tiefenbelüfter, 1 Umwälzbelüfter, Zentrifuge.

Das Potenzial für eine Abschaltdauer von max. 5 min ist das zweithöchste Potenzial und liegt zwischen 61 und 102 kW. Für diese Zeitintervalle können folgende Anlagenkomponenten zur Lastverschiebung eingesetzt werden: Schneckenpumpe, Rührwerke, 1 Tiefenbelüfter, 1 Umwälzbelüfter, Zentrifuge.

Bei längeren Abschaltdauern reduziert sich das Potenzial für die Lastverschiebung deutlich. Bei einer Abschaltdauer bis zu 1 h beträgt das Potenzial nur mehr zwischen 11 und 50 kW. Eine Abschaltdauer über 1 h erscheint nur an Werktagen und tagsüber möglich. Für Dauern über 4 h kann nur die Zentrifuge zur Lastverschiebung eingesetzt werden, die derzeit jedoch nur 12 h am Tag und 5-mal pro Woche in Betrieb ist.

Ein Potenzial für Lasterhöhung ist in dieser Anlage nicht gegeben. Aus betriebstechnischer Sicht bringt z.B. eine Erhöhung der Belüftung über das derzeitige Niveau hinaus keine zusätzlichen Vorteile. Ebenso ist eine Verlagerung des Betriebes des Dekanter bzw. der Zentrifuge zur Schlammwässerung aus logistischer bzw. betriebstechnischer Sicht nur bedingt möglich.

### 2.5.2.2 Kläranlage 2 – Anschlusswert 950.000 EW

Die Kläranlage 2 hat einen Anschlusswert von 950.000 EW. In der Anlage werden kommunales Abwasser aus einem Einzugsgebiet von 900 km<sup>2</sup> sowie biologisch abbaubare Abwässer aus der Großindustrie (Stahlindustrie, Chemieindustrie) gereinigt. Der Anteil der Abwässer von der Industrie liegt bei ca. 30 – 40 % der Gesamtfracht und verhält sich meist konstant. Abbildung 2-8 gibt einen Überblick über die Anlage und deren technische Daten.

#### Elektrische Energieversorgung

Die Anlage ist mit sieben Blockheizkraftwerken (BHKWs) mit einer installierten elektrischen Leistung von 4,55 MW ausgestattet. Die BHKWs werden mit Klärgas aus der Schlammfäulung und Deponiegas aus einer nahe gelegenen Deponie betrieben. Der Deponiegasanteil betrug 2012 ca. 30 % des zur Verfügung stehenden Gases. Die Deponiegasmengen sinken jedoch kontinuierlich. Weiters verfügt die Anlage über einen Gasspeicher mit einem Fassungsvermögen von ca. 5.000 m<sup>3</sup>, was ca. 30 % der täglich produzierten Gasmenge entspricht.

Bereits heute wird die Kläranlage mit dem Ziel betrieben einen möglichst hohen elektrischen Eigenversorgungsgrad zu erreichen. In Tabelle 2-6 sind die Mengen an erzeugtem Strom, ins Netz gelieferten Strom, aus dem Netz bezogenem Strom und insgesamt verbrauchtem Strom für die Jahre 2011 und 2012 dargestellt. Ca. 98 % des benötigten Stroms werden mit den BHKWs vor Ort erzeugt. Das wird durch Lastverschiebung innerhalb des Anlagenbetriebs erreicht. Die Anlagenregelung ist in Hinblick auf die Erreichung eines hohen Eigenversorgungsgrades bereits optimiert.

Tabelle 2-6: Stromerzeugung und –verbrauch für die Anlage 2 in den Jahren 2011 und 2012

Kläranlage 2	2011	2012
	[GWh]	[GWh]
<b>Stromerzeugung</b>	18,6	17,2
<b>Stromlieferung ans Netz</b>	1,4	1,2
<b>Strombezug aus dem Netz</b>	1,7	1,7
<b>Stromverbrauch</b>	18,8	17,7

Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research

Im Mittel benötigt die gesamte Kläranlage eine elektrische Leistung von ca. 2 MW mit einer Bandbreite von 1,8 bis 2,5 MW. Der größte Verbraucher ist die Druckluffterzeugung in der biologischen Stufe.

Der spezifische jährliche Stromverbrauch bezogen auf 950.000 EW betrug 19 kWh/(EW\*a). Damit liegt der Stromverbrauch von Anlage 2 deutlich unter dem in der Literatur angegebenen spezifischen Stromverbrauch von 32 kWh/(EW\*a) für Kläranlagen der Größenordnung > 100.000 EW.





Abbildung 2-8: Anlagenschema – „Kläranlage 2“

Quelle: Betreiber der Kläranlage 2

## Lastverschiebungspotenziale

Auf Grund des hohen Eigenversorgungsgrad der Kläranlage und des dafür bereits optimierten Anlagenbetriebs, konnte nach Rücksprache mit den für die Energieversorgung der Anlage verantwortlichen Personen, der Gasspeicher mit Potenzial zur Verschiebung von Lasten aus dem Stromnetz identifiziert werden.

Ohne den bestehenden, bereits optimierten, Anlagenbetrieb zu beeinflussen kann Lastverschiebung nur durch das Abschalten der BHKWs bereitgestellt werden. Hier sind Mindeststillstandzeiten nach dem Abschalten, Mindestbetriebszeiten nach dem Start und erlaubte Starts pro Tag bzw. Jahr für das BHKW zu beachten, die vom Hersteller vorgegeben werden. Weiters beeinflusst das Fassungsvermögen des Gasspeichers das mögliche Lastverschiebungspotenzial. Da der vorhandene Gasspeicher nur 30 % des täglich produzierten Gases aufnehmen kann, ist davon auszugehen, dass längere zeitliche Verschiebungen nicht möglich sind. Bei einer Abschaltung des BHKWs für 1 Stunde würden (unter Annahme einer kontinuierlichen Gasproduktion) bereits 23 % des Gasspeichervolumens benötigt werden.

Basierend auf den oben angeführten Faktoren wurde ein Lastverschiebungspotenzial durch Erzeugungsreduktion (bzw. Lasterhöhung) von 1,8 MW für das Zeitintervall von max. 15 min ermittelt. Dieses Lastverschiebungspotenzial kann jedoch nicht uneingeschränkt oft pro Tag genützt werden (ca. 1 Start innerhalb von 6 Stunden).

### 2.5.2.3 Kläranlage 3 – Anschlusswert 5.500 EW

Bei Kläranlage 3 (siehe Abbildung 2-9) handelt es sich um eine mechanisch-biologische Abwasserreinigungsanlage für kommunale Abwässer mit einem Anschlusswert von 5.500 EW. Zum Zeitpunkt der Datenerhebung (April 2013) war die Anlage zu 47 % hydraulisch ausgelastet.

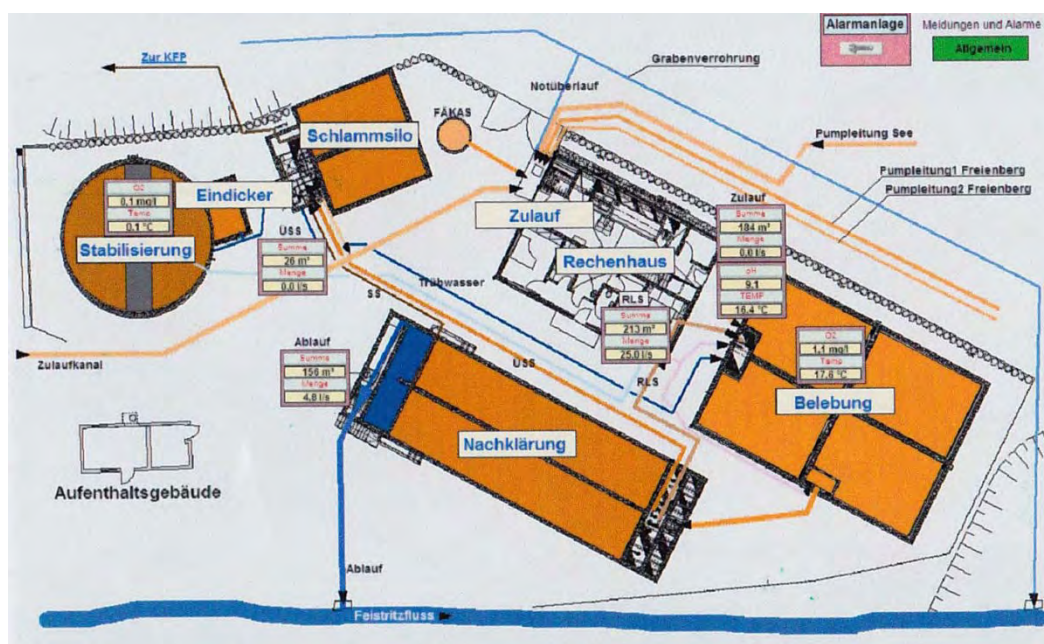


Abbildung 2-9: Anlagenschema „Kläranlage 3“  
Quelle: Betreiber der Kläranlage 3



Zur Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials in der Kläranlage 3 wurden nachfolgende Anlagenkomponenten (Tabelle 2-7) berücksichtigt und einer detaillierten Analyse hinsichtlich der Betriebsstunden, der elektrischen Nennleistung und den Möglichkeiten zur Lastverschiebung unterzogen.

**Tabelle 2-7: Anlagenkomponenten der Anlage 3**

<b>Zulauf</b>	Zulaufpumpe 1	<b>Nachklärbecken</b>	Kettenräumer 1	
	Zulaufpumpe 2		SS-Schnecke 1	
	Zulaufpumpe 3		SS-Pumpe 1	
	Entwässerungspumpe		Kettenräumer 2	
<b>Rechenhaus</b>	Drehfilter	<b>Eindicker</b>	SS-Schnecke 2	
	Pressschnecke		SS-Pumpe 2	
	Sandräumspirale		Rückschlammpumpe 1	
	Rührwerk Sandwäscher		Rückschlammpumpe 2	
	Sandaustragschnecke		ÜSS-Pumpe	
	Verdichter SF		Beschickungspumpe Stabilisierung	
	Fetträumer		Trübwasserpumpe Eindicker	
	Fettpumpe		Gebälse	
<b>Belebung</b>	Gebälse 1	<b>Stabilisierung</b>	Rührwerk	
	Gebälse 2		Beschickungspumpe	
	Rührwerk 1		Entwässerungspumpe	
	Rezi-Pumpe 1		Trübwasserpumpe 1	
	Rührwerk 2		Rührwerk 1	
	Rezi-Pumpe 2		Trübwasserpumpe 2	
	Schneideradpumpe Fäkal		Rührwerk 2	
	Nutzwasserpumpe		Rührwerk 2	
			<b>Silo</b>	Rührwerk 1
				Trübwasserpumpe 1

Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research

### Elektrische Energieversorgung

Der Stromverbrauch von Kläranlage 3 beträgt ca. 145 MWh pro Jahr. Mit einem Einwohnerwert von 5.500 EW ergibt sich ein spezifischer jährliche Stromverbrauch von 26 kWh/(EW\*a). Damit liegt der Stromverbrauch von Anlage 3 deutlich unter dem in der Literatur angegebenen spezifischen Stromverbrauch von 44 kWh/(EW\*a) für Kläranlagen der Größenordnung >5.000 – 10.000 EW.

Abbildung 2-10 zeigt für das Jahr 2011 den monatlichen Stromverbrauch der Anlage 3 unterteilt in den Stromverbrauch der biologischen Reinigung und der restlichen Anlage. Im Sommer (Juni, Juli, August) nimmt der Stromverbrauch der biologischen Reinigung zu. Der Stromverbrauch der restlichen Anlage nimmt in diesen Monaten jedoch ab, weshalb der monatliche Stromverbrauch der gesamten Anlage keine jahreszeitlich bedingte Schwankung aufweist. Die monatlichen Leistungsspitze (maximaler Viertelstunden-Mittelwert) lag zwischen 35 und 42 kW im Jahr 2011 und 32 und 40 kW im Jahr 2012.

Zur Bestimmung des Lastverschiebungspotenzials wurden die in Tabelle 2-8 dargestellten Anlagenkomponenten mit höheren täglichen Betriebsstunden identifiziert.

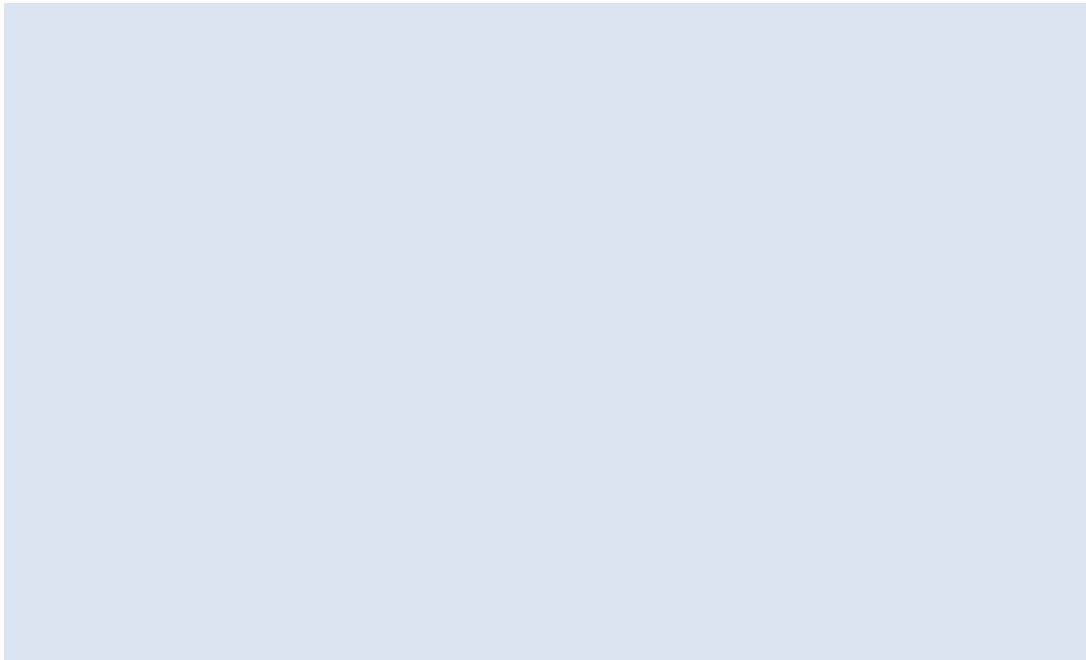


Abbildung 2-10: Monatlicher Stromverbrauch und monatliche Leistungsspitze der Kläranlage 3 im Jahr 2011, Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research

Tabelle 2-8: Mittlere tägliche Betriebsstunden im Jänner und Juni 2012 ausgewählter Anlagenkomponenten von Kläranlage 3 Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research

Anlagenkomponenten		Betriebsstunden Jänner 2012	Betriebsstunden Juni 2012	Nenn-leistung
		Mittel [h/d]	Mittel [h/d]	[kW]
<b>Rechenhaus</b>	Verdichter SF	21,9	24,0	7,5
<b>Belebung</b>	Gebälse 1	4,7	11,4	11
	Gebälse 2	4,6	11,4	11
	Rührwerk 1	21,5	23,5	7,5
	Re-zirkulation Pumpe 1	15,2	12,2	2,8
<b>Nachklär-becken</b>	Kettenräumer 1	21,9	24,0	0,5
	Kettenräumer 2	21,9	24,0	0,5
	Rücklaufschlamm-pumpe 1	10,6	10,8	2,8
	Rücklaufschlamm-pumpe 2	10,3	10,8	2,8

Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research

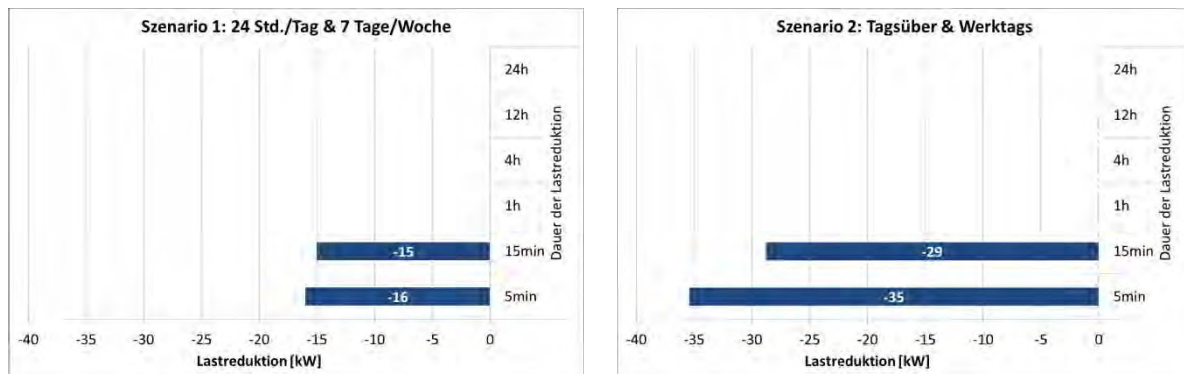
Davon weisen die Gebläse für die Belebung mit jeweils 11 kW die höchsten Nennleistungen auf. In Summe beträgt die Nennleistung für die dargestellten Anlagenkomponenten 49,2 kW. Bei Vergleich mit den monatlichen Leistungsspitzen (max. 42 kW in den Jahren 2011 und 2012) ist erkennbar, dass diese Anlagenkomponenten nie gleichzeitig mit Volllast betrieben werden.



## Lastverschiebungspotenzial

Für Kläranlage 3 wurden zwei Szenarien für die Lastverschiebung durch Abschaltung der elektrischen Anlagenkomponenten (Lastreduktion) untersucht:

- Szenario 1: Es werden nur Anlagenkomponenten berücksichtigt, die durchgehend in Betrieb sind (24 Stunden pro Tag, 7 Tage in der Woche).
- Szenario 2: Es werden alle Anlagenkomponenten berücksichtigt, die tagesüber von Montag bis Freitag in Betrieb sind.



**Abbildung 2-11: Lastverschiebungspotenzial durch Lastreduktion in Kläranlage 3 für zwei Szenarien (Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research)**

Bei Anlage 3 konnte ein Lastverschiebungspotenzial nur für die Abschaltdauer von max. 5 min und max. 15 min identifiziert werden. Für Szenario 1 liegt das Lastverschiebungspotenzial bei 16 kW (max. 5 min) bzw. 15 kW (max. 15 min). Folgende Anlagekomponenten werden hier zur Lastverschiebung eingesetzt: Verdichter im Rechenhaus (Sandfang), 1 Rührwerk, 2 Kettenräumer

Für Szenario 2, in dem angenommen wird, dass die Abschaltung tagsüber und an Werktagen stattfindet, ist das Potenzial mit 35 kW (max. 5 min) und 29 kW (max. 15 min) fast doppelt so hoch. Folgende Anlagekomponenten werden hier zur Lastverschiebung eingesetzt: Verdichter im Rechenhaus (Sandfang), 1 Rührwerk, 2 Kettenräumer, 1 Gebläse, 1 Rezirkulationspumpe und 2 Rücklaufschlammumpfen.

Für Zeitdauern über 15 min konnte in dieser Anlage kein Lastverschiebungspotenzial identifiziert werden. Ebenso ist aus betriebstechnischer Sicht kein Potenzial für eine Lasterhöhung gegeben. Zum Beispiel würde eine Erhöhung der Belüftung über das derzeitige Niveau hinaus, in Zeiten mit Überschuss im Netz, keine zusätzlichen Vorteile für die Kläranlage bringen.

### 2.5.2.4 Kläranlage 4 – Anschlusswerte 500 EW

Da von allen österreichischen Kläranlagen der Anteil an Anlagen mit Anschlusswerten zwischen 50 – 2.000 EW rund 66,5 % ausmacht, wurde im Rahmen des Projektes auch die Möglichkeit der Lastverschiebung bei diesen eher kleinen Anlagen untersucht.

Kläranlage 4 ist eine SBR („Sequencing Batch Reactor“) Anlage mit einem Anschlusswert von 500 EW. Spezifikum des SBR-Verfahrens zur Abwasserreinigung ist, dass alle zur biologischen Reinigung des Abwassers notwendigen Schritte in zeitlicher Abfolge im selben Behälter ablaufen. Eine SBR-Anlage besteht zumeist aus einer Zweikammer-Grube zur mechanischen Vorreinigung sowie zur Pufferung und dem eigentlichen Reaktorbehälter. Die

SBR Anlagen sind besonders für kleine Anschlussgrößen gut geeignet und werden vor allem im Kleinkläranlagenbereich eingesetzt.

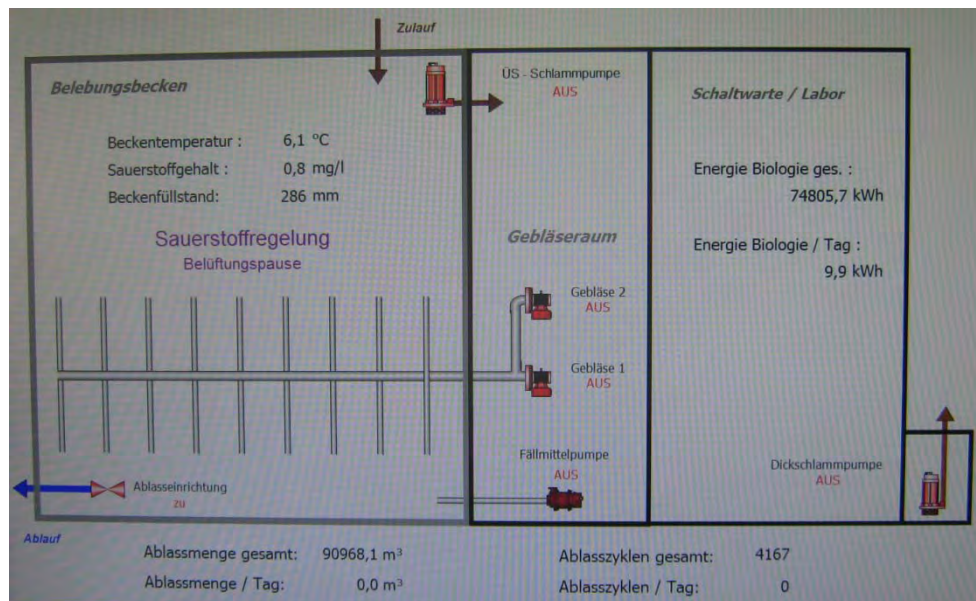


Abbildung 2-12: Anlagenschema „Kläranlage 4“  
Quelle: Betreiber der Kläranlage 4

### Elektrische Energieversorgung

In der Kläranlage 4 wurden von den Betreibern Stromzähler zur Messung und Aufzeichnung des täglichen Strombedarfs für die Abwasserreinigung im Jahr 2013 eingebaut. Zum Zeitpunkt der Ausarbeitung (Mai 2013) liegen Messprotokolle mit dem täglichen Strombedarf für die Abwasserreinigung und den Betriebsstunden der elektrischen Aggregate (Gebläse 1, Gebläse 2, Überschussschlammpumpe, Dickschlammpumpe und Fällmittelpumpe) von 5.3.2013 bis 11.4.2013 vor. Tabelle 2-9 zeigt die Auswertung der Betriebsstunden für diesen Zeitraum. Die Gebläse waren im Mittel 2 Stunden pro Tag in Betrieb, die Fällmittelpumpe und die Dickschlammpumpe weniger als 1 Stunde. Die Überschussschlammpumpe wurde zum betrachteten Zeitpunkt nicht verwendet.

Tabelle 2-9: Betriebsstunden der elektrischen Aggregate von Kläranlage 4

Kläranlage 4	Betriebsstunden		
	Mittel	Minimal	Maximal
	[h/d]		
<b>Gebläse 1</b>	2,2	1,5	3,0
<b>Gebläse 2</b>	2,3	1,0	3,1
<b>Fällmittelpumpe</b>	0,3	0,0	0,5
<b>ÜS-Schlammpumpe</b>	0,0	0,0	0,0
<b>Dickschlammpumpe</b>	0,5	0,4	0,5

Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research

### Lastverschiebungspotenzial

Für den Abwasserreinigungsprozess konnte für Anlage 4 kein Lastverschiebungspotenzial durch Abschalten von elektrischen Aggregaten identifiziert werden, da die Betriebsstunden der einzelnen Anlagenkomponenten sehr gering sind. Es ist nicht gewährleistet, dass die

Anlagenkomponenten in Betrieb sind, wenn aus Netzbetreibersicht der Bedarf für Lastabwurf besteht.

Im Projekt „GAVE – Gemeinde Großschönau als virtueller Energiespeicher“<sup>11</sup> wurde auch das Lastverschiebungspotenzial von kleinen Abwasserreinigungsanlagen untersucht. Hier wurde jedoch nicht der Abwasserreinigungsprozess betrachtet, sondern die Zulaufpumpwerke zur Kläranlage sowie die Pumpen, welche den Klärschlamm in ein Klärschlammvererdungsbecken pumpen. Tabelle 2-10 stellt die berechneten Werte zur Verschiebeleistung der drei untersuchten Abwasser-Pumpwerke in Mistelbach, Rothfarn (=Kläranlage 4) und Großschönau dar. Die Höhe der verschiebbaren Leistung dieser Abwasser- bzw. Schlammumpwerke liegt in einer Bandbreite von 2 bis 11 kW.

**Tabelle 2-10: Verschiebeleistung in unterschiedlichen Abwasser-Beseitigungsanlagen**

Abwasser-pumpen	Minuten pro Zyklus	Leistung in kW	Zyklen pro Tag	Verschiebbare Energiemenge pro Zyklus (kWh)	Verschiebbare Energiemenge pro Tag (kWh)
Mistelbach	11	11	4,29	2,02	8,65
Rothfarn	5	2	10,86	0,17	1,81
Großschönau	4,7	7,4	27	0,58	15,65

Quelle: GAVE (2012).

In Kapitel 1 wird auf die Lastverschiebungspotenziale, die im Projekt GAVE identifiziert wurden, gesondert eingegangen.

### 2.5.3 Gesamtösterreichisches Lastverschiebungspotenzial in Kläranlagen

Aufbauend auf den Lastverschiebungspotenzialen der zuvor beschriebenen Praxisbeispiele und allgemeinen Daten zu Kläranlagen in Österreich für verschiedene Größenklassen, wurde das Lastverschiebungspotenzial in Kläranlagen für ganz Österreich abgeschätzt. Das Lastverschiebungspotenzial in Österreich wurde für die Lastreduktion durch gezieltes Abschalten von elektrischen Aggregaten bestimmt.

Dabei wurde wie folgt beschrieben vorgegangen:

#### 1. Auswahl der berücksichtigten Kläranlagen-Größenklassen

In die Hochrechnung des Lastverschiebungspotenzials für Österreich wurden Anlagen mit Anschlusswerten über 2.000 EW<sub>60</sub> einbezogen. Anlagen mit Anschlusswerten < 2.000 EW<sub>60</sub> wurden nicht berücksichtigt, da für Kläranlagen dieser Größenordnung keine Werte zum Lastverschiebungspotenzial vorliegen. Das Praxisbeispiel „Kläranlage 4“ mit einem Anschlusswert von 500 EW<sub>60</sub> zeigte kein Lastverschiebungspotenzial im Abwasserreinigungsprozess auf Grund geringer Betriebszeiten der elektrischen Aggregate. Anlagen der Größenklasse 51 bis 1.999 EW<sub>60</sub> sind daher nicht in der Hochrechnung berücksichtigt. Auch Müller et al. (2013) berücksichtigen für eine Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials von Abwasserreinigungsanlagen in der Schweiz nur Anlagen größer 5.000 EW<sub>60</sub>.

Tabelle 2-11 zeigt die Daten für die Kläranlagen in Österreich, die für die Hochrechnung berücksichtigt wurden, und die Zuordnung der Praxisbeispiele zu diesen Größenklassen.

**Tabelle 2-11: Für die Hochrechnung berücksichtigte Größenklassen**

<sup>11</sup> Siehe GAVE (2012).

Größenklasse (EW)	Anzahl Kläranlagen	Ausbaukapazität (EW 60)	Praxisbeispiel
2.000-15.000	417	2.350.059	Anlage 3
15.001 – 150.000	200	8.783.235	Anlage 1
> 150.000	18	9.899.267	Anlage 2
<b>Summen</b>	<b>635</b>	<b>21.032.561</b>	

Quelle: abgeleitet aus Tabelle 2-1 und Praxisbeispiele

## 2. Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials in Kläranlagen für ganz Österreich mittels „Bottom-up-Methode“

Für die Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials für Österreich mittels „Bottom-up-Methode“ wurden zwei verschiedene Ansätze gewählt:

- I. Die Ergebnisse der Praxisbeispiele<sup>12</sup> wurden mit der Anzahl der Anlagen in der entsprechenden Größenklasse multipliziert.
- II. Es wurde für jedes Praxisbeispiel das spezifische Lastverschiebungspotenzial pro Einwohnerwert ermittelt und mit der Ausbaukapazität der entsprechenden Größenklasse multipliziert.

Tabelle 2-12 zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Verschiebedauern. Bei beiden Arten der Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials ergibt sich für Österreich ein Lastverschiebungspotenzial durch Lastreduktion in Kläranlagen zwischen 2 und 22 MW, abhängig von der Verschiebedauer.

**Tabelle 2-12: Lastverschiebungspotenzial in Kläranlagen Österreich durch Lastreduktion (Bottom-up-Methode)**

Verschiebedauer	Lastverschiebungspotenzial Österreich (Lastreduktion) [MW]	
	Hochrechnung über Anzahl der Anlagen	Hochrechnung über EW
5min	22,0	21,8
15min	21,1	20,9
1h	2,2	2,1
4h	0,0	0,0
12h	0,0	0,0
24h	0,0	0,0

Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research

## 3. Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials in Kläranlagen für ganz Österreich mittels „Top-Down-Methode“

Zum Vergleich wurde das Lastverschiebungspotenzial auch nach der „Top-down-Methode“ bestimmt.

Der jährliche Stromverbrauch für Kläranlagen in Österreich beträgt ca. 550 GWh<sup>13</sup>. Damit liegt der Stromverbrauch in einer ähnlichen Größenordnung wie in der Schweiz mit 490 GWh

<sup>12</sup> Als Basis für die Abschätzung der Lastverschiebungspotenzials wurden die Ergebnisse für Anlage 1 und Anlage 3 die Ergebnisse für Szenario 1 herangezogen, wo nur Anlagenkomponenten berücksichtigt wurden, die durchgehend in Betrieb sind (24 Stunden pro Tag, 7 Tage in der Woche), sodass jederzeit zugegriffen werden kann

<sup>13</sup> Siehe Lindtner (2012).

pro Jahr. Die installierte elektrische Leistung von elektrischen Verbrauchern in Kläranlagen wird in der Schweiz mit 100 – 150 MW abgeschätzt.<sup>14</sup> Für Österreich wird auf Basis dieser Daten von einer installierten elektrischen Leistung von 125 MW ausgegangen. Basierend auf dem mittleren relativen Lastverschiebungspotenzial der untersuchten Praxisbeispiele wurde das in Tabelle 2-12 dargestellte Lastverschiebungspotenzial für ganz Österreich bestimmt. Das mittels top-down-Berechnung abgeschätzte Lastverschiebungspotenzial liegt zwischen 3 und 27 MW, abhängig von der Verschiebedauer.

**Tabelle 2-13: Lastverschiebungspotenzial in Kläranlagen Österreich (Top-down-Methode)**

Zeitintervall	mittleres relatives Verschiebepotenzial	Lastverschiebungspotenzial Österreich (Lastreduktion) [MW]
5min	22%	27
15min	21%	26
1h	2%	3
4h	0%	0
12h	0%	0
24h	0%	0

Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research

Basierend auf den zwei verschiedenen Methoden zur Abschätzung des Lastverschiebungspotenzials von Kläranlagen in Österreich ergeben sich folgende Bandbreiten für das Lastverschiebungspotenzial durch Lastreduktion in Abhängigkeit von der Abschaltdauer:

- 5 min: 22 – 27 MW
- 15 min: 21 – 26 MW
- 60 min: 2 – 3 MW

Für Abschaltdauern über 1 Stunde konnte kein relevantes Potenzial für Kläranlagen in Österreich identifiziert werden.

### 2.5.3.1 Einordnung der Ergebnisse

Im Vergleich dazu wurde für die Schweiz von Müller et al. (2013) ebenso auf der Basis von 3 untersuchten Kläranlagen unterschiedlicher Verfahrenstechnik Potenziale für eine positive Regelleistung durch Abschalten von Anlagenkomponenten für die Dauer von 15 min von 3 MW, 23 MW und 40 MW errechnet und für Abschaltungen bis zu 2 Stunden zwischen 1 bis 12 MW ermittelt.

In einer österreichischen Studie von Berger et al. (2013) zum Lastverschiebungspotenzial unterschiedlicher industrieller und öffentlicher Sektoren wurde anhand einer Kläranlage ein Potenzial für Lastreduktion durch Abschalten der Kreiselbelüfter von bis zu 15 min täglich von 1,5 MW festgestellt. Darauf basierend wurde für den Sektor Abwasser für die Verschiebedauer von 15 min eine verschiebbare Jahresenergiemenge von 0,4 GWh bzw. eine verschiebbare Leistung von 6,4 MW abgeleitet.

Für Deutschland wurde von DENA (2010) und Elberg (2012) in einer Studie ein Lastverschiebungspotenzial aus Kläranlagen durch Abschalten von Pump- und Belüftungsprozessen von 130 MW abgeschätzt.

<sup>14</sup> Siehe Müller et al. (2013).



## 2.5.4 Inputdaten zur Erstellung von Cost-Curves für Kläranlagen

Zur Realisierung des zuvor beschriebenen Lastverschiebungspotenzials wird davon ausgegangen, dass Investitionen in zusätzliche Software und Mess- und Regelungstechnik für die Kläranlagen notwendig sind. Auf Basis der Untersuchungen in GAVE (2012) wurden dafür Investitionskosten in der Höhe von 3.000 bis 5.000 € pro Anlage abgeschätzt. Diese Bandbreite entspricht auch den Abschätzungen, die von Focken et al. (2011) zu Wasserwerken durchgeführt wurden und auszugsweise in Tabelle 2-14 dargestellt sind.

**Tabelle 2-14: Investitionskosten für Steuerungs- und Kommunikationstechnik für die Lastverschiebung in Wasserwerken**

	Kostenaufwand mit Preisreduzierung bei Mengenabnahme der benötigten Hardwareelemente	Kostenaufwand mit entwickelter Standardschnittstelle (Zukunftsvision)
<b>Variante 1 (Datenleitung)</b>	4.510 €	2.810 €
<b>Variante 2 (WLAN)</b>	4.723 €	3.023 €
<b>Variante 3 (UMTS)</b>	5.255 €	3.555 €

Quelle: Focken et al. (2011).

Die Potenzialerhebung bezieht sich auf die derzeitige technische Ausstattung von Kläranlagen. Technische Adaptionen in größerem Umfang (z.B. Errichtung eines zusätzlichen BHKWs, Vergrößerung des Gasspeichervolumens, etc.) wurden in der Potenzialerhebung nicht berücksichtigt und sind deshalb auch für die Kostenabschätzung nicht relevant.

Weiters wird angenommen, dass für die Kläranlagenbetreiber keine zusätzlichen jährlichen Betriebskosten durch die hier berücksichtigten Lastverschiebungsmaßnahmen entstehen. Durch die Automatisierung mit entsprechender Mess- und Regelungstechnik wird der zusätzliche Betreuungsaufwand für das gezielte Ab- und Zuschalten von technischen Aggregaten als zu gering eingeschätzt, um diesen Aufwand in Form von zusätzlichen Personalkosten zu bewerten.

Mögliche Abnutzungserscheinungen und verkürzte Lebensdauern durch vermehrtes Ab- und Einschalten der elektrischen Aggregate können auf Basis der derzeit vorliegenden praktischen Erfahrung noch nicht abgeschätzt werden. Damit verbundene etwaige zusätzliche Wartungskosten sind deshalb in der Kostenabschätzung nicht berücksichtigt.

Auf Basis der in Tabelle 2-15 dargestellten Inputdaten wurden die jährlichen Gesamtkosten der Lastverschiebung ermittelt (Kapitalkosten der Investition).

Zur Bestimmung der jährlichen Kosten pro Abschaltung und der verschiebbaren Energiemenge wird angenommen, dass einmal täglich eine Abschaltung durchgeführt werden kann. In diesem Fall ergeben sich Kosten von 530 bis ca. 880 € pro Abschaltung. Die Kosten pro Abschaltung bezogen auf die ermittelten Lastverschiebungspotenziale für die betrachteten Zeitintervalle ergeben die in Tabelle 2-16 dargestellten spezifischen Gesamtkosten für die Lastverschiebung in Kläranlagen in Österreich.

**Tabelle 2-15: Bestimmung der jährlichen Gesamtkosten**

<b>Investitionskosten pro Anlage</b>	[€]	<b>3.000 – 5.000</b>
<b>Anzahl Kläranlagen</b>	[-]	635
<b>Abschreibungsdauer</b>	[a]	10
<b>Kalkulationszinsfuß</b>	[%]	3

<b>Jährliche Gesamtkosten (Kapitalkosten der Investition)</b>	[€/a]	Ca. 190.000 – 320.000
---	-------	-----------------------

Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research

**Tabelle 2-16: Spezifische Gesamtkosten des Lastverschiebungspotenzials in Kläranlagen in Österreich für die verschiebbare Energiemenge (MWh) und die verschiebbare Leistung (MW)**

Zeitintervall	Spezifische Kosten*	
	[€/MWh]	[€/MW]
5min	240 - 480	20 - 40
15min	80 - 170	20 - 40
1h	180 - 440	180 - 440

\* bei einer Lastverschiebung durch Abschalten von Anlagenkomponenten pro Tag, Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research

## 2.5.5 Hemmnisse zur Umsetzung der Lastverschiebung im Bereich der Abwasserreinigung

Betriebsinterne bzw. strukturelle Gegebenheiten und rechtliche Rahmenbedingungen können Hemmnisse zur Umsetzung der Lastverschiebung im Bereich der Abwasserreinigung sein. Nachfolgende sind mögliche Hemmnisse dargestellt, die im Bereich der Abwasserreinigung auftreten können.

### Hemmnisse aus Sicht des Anlagenbetreibers:

- Gesetzliche Vorgaben zur Reinigungsleistung: Durch Maßnahmen der Lastverschiebungen darf die Reinigungsleistung der Kläranlage nicht beeinträchtigt werden. Die gesetzlichen Vorgaben, welche die Qualität des gereinigten Abwassers definieren, müssen jedenfalls eingehalten werden.
- Akzeptanz der Anlagenbetreiber: Aus Sicht der Kläranlagenbetreiber ist die Anlagenführung unter allen Umständen aus Sicht einer optimierten Reinigungsleistung zu gewährleisten. Bei von außerhalb gesteuerten Eingriffen in den Reinigungsprozess, d.h. einer „stromgesteuerten“ Anlagenführung bestehen Befürchtungen, dass die Reinigungsleistungen schwieriger zu erreichen sind. Hier fehlt es an Praxisbeispielen zum Lastmanagement, welche die Akzeptanz bzw. Bereitschaft der Einführung derartiger - im Kläranlagenbereich relativ neuen - Modelle erhöhen würde bzw. eine relevante Kosten-Nutzen Betrachtung für Kläranlagenbetreiber ermöglicht.
- Abrufbarkeit des Lastverschiebungspotenzials: Abwasserreinigungsanlagen sind mehr oder minder großen Schwankungen in der hydraulischen Belastung und der Schmutzfracht unterworfen. Diese sind stark von den örtlichen Gegebenheiten und teilweise vom Wetter (Temperatur, Niederschläge, Trockenwetter) abhängig was sich, je nach technischer Ausstattung der Kläranlage auch in der Betriebsführung niederschlägt. Lastreduktion, durch Abschalten von Anlagenkomponenten, kann daher nicht immer verbindlich zur Verfügung gestellt werden, sondern ist im Einzelfall von der Betriebsführung abhängig.
- Lebensdauer der geschalteten Anlagenkomponenten: Häufiges Ein- und Ausschalten von elektrischen Aggregaten könnte deren Lebensdauer negativ beeinflussen. Speziell BHKWs werden derzeit möglichst gleichmäßig als Grundlastanlagen betrieben. Es ist unklar, welche Auswirkungen häufige Schaltvorgänge auf die Lebensdauer der Anlagenkomponenten haben.
- Trend zu „Energieautarken bzw. energieeffizienten Kläranlagen“: Moderne Kläranlagen sind bestrebt eine hohe energietechnische Optimierung innerhalb des

Kläranlagenbetriebes zu erreichen. Dies betrifft sowohl die maschinelle Ausstattung mit energieeffizienter Technologie als auch moderne Regelungstechniken die Lastverschiebungen innerhalb des Betriebes ermöglichen. Speziell große Kläranlagen die mittels BHKW oder Mikrogasturbinen Strom und Wärme für den Anlagenbetrieb bereitstellen, sind - unter den derzeit vorherrschenden Rahmenbedingungen - bestrebt einen möglichst hohen energetischen Eigenversorgungsgrad zu erreichen. Dafür werden bereits heute Lastverschiebungsmaßnahmen im Anlagenbetrieb durchgeführt. In diesem Fall ist das noch verbleibende Lastverschiebungspotenzial für den Netzbetreiber äußerst gering. Speziell in diesen Anlagen kann nur dann eine Bereitschaft zur Umsetzung von Maßnahmen zur Lastverschiebung angenommen werden, wenn ein ausreichend hoher finanzieller Anreiz vorliegt.

#### **Hemmnisse aus Sicht des Netzbetreibers:**

- Dauer der Lastverschiebung: Das anhand der hier untersuchten Fallbeispiele identifizierte Lastverschiebungspotenzial in Kläranlagen kann nur für kürzere Zeiträume abgerufen werden. Für Lastreduktion durch Abschalten von Anlagenaggregaten beträgt die mögliche Dauer der Lastverschiebung maximal eine Stunde. Für Lastverschiebung durch Abschalten von BHKW (Erzeugungsreduktion bzw. Lasterhöhung) ist die Dauer stark abhängig vom verfügbaren Gasvolumen und der Menge an produziertem Klärgas.
- Leistungen: Die Leistungen, die in einzelnen Anlagen abgerufen werden können, sind stark abhängig von der Anlagengröße und im Vergleich zu energieintensiven Industriebetrieben niedrig (z.B. Anlage 1 ca. 70 kW für 15 min, z.B. Anlage 3 ca. 15 kW für 15 min).
- Rahmenbedingungen: Eine Teilnahme am Sekundärregelmarkt ist unter derzeitigen Bedingungen nur in 5 MW-Paketen möglich und die Leistung muss in einem vorgegeben Zeitraum werktags 08:00 bis 20:00 Uhr (peak) oder 20:00 bis 08:00 Uhr (off-peak) bzw. an Wochenenden 00:00 bis 24:00 Uhr (weekend) bereitgestellt werden.<sup>15</sup> Diese Bedingungen können von Kläranlagen ohne größere anlagentechnische Erweiterungen (z.B. Errichtung eines zusätzlichen Gasspeichers) nicht erfüllt werden. Zusätzlich sind auch bei großen Kläranlagen die verschiebbaren Leistungen zu gering, um mit einer Anlage ein 5 MW-Paket bereitzustellen. Das wäre nur durch einen Zusammenschluss mehrerer Großkläranlagen möglich. Für den Ausgleich lokaler Spannungsschwankungen (z.B. durch fluktuierende Stromspeisung von PV-Anlagen) auf Niederspannungsebene in Ortsnetzen könnten jedoch auch kleine und mittlere Kläranlagen zum Einsatz kommen.

---

<sup>15</sup> Oberhofer (2013).



## 2.6 Zusammenfassung

Zur Abschätzung des Potenzials für elektrische Lastverschiebung im Bereich der kommunalen Infrastruktur wurden innerhalb des Projektes „Loadshift“ Untersuchungen der verfahrenstechnischen bzw. anlagenspezifischen Möglichkeiten zur Verschiebung von elektrischen Lasten im Bereich der kommunalen Abwasserreinigung getätigt und eine Hochrechnung für ganz Österreich durchgeführt. Weiters wurden Kosten für die Umsetzung abgeschätzt sowie Hemmnisse aufgezeigt.

Die Analyse von vier ausgewählten Kläranlagen, welche in ihren Größen (Einwohneranschlusswert) repräsentativ für die Struktur der Abwasserreinigung in Österreich sind, ergab die in Tabelle 2-17 dargestellten Potenziale. Es stellte sich heraus, dass bei „Kläranlage 1“ (Anschlusswert EW 45.000) sowie „Kläranlage 3“ (Anschlusswert EW 5.500) nur eine Lastreduktion durch Abschalten von einzelnen Anlagenkomponenten relevant ist. „Kläranlage 2“ (Anschlusswert EW 950.000) ist durch betriebsinterne Lastverschiebung bereits energetisch derart optimiert, dass nur das Abschalten von BHKWs und die Nutzung des Gasspeichers relevant sind. Für „Kläranlage 4“ konnte für den Abwasserreinigungsprozess, auf Grund geringer Betriebszeiten der elektrischen Aggregate, keine Möglichkeit der Lastverschiebung festgestellt werden. Allerdings gibt es hier Potenziale im Bereich der Pumpleistungen für die Abwasserzuleitung bzw. bei der Klärschlamm Entsorgung.

**Tabelle 2-17: Ermittelte Lastverschiebungspotenziale der Praxisbeispiele (Bandbreite der untersuchten Szenarien)**

	Kläranlage 1 (45.000 EW)	Kläranlage 2 (950.000 EW)	Kläranlage 3 (5.500 EW)	Kläranlage 4 (500 EW)
<b>Dauer Lastreduktion durch Abschalten von elektrischen Verbrauchern</b>				
5 min	61-102 kW	0	16-35 kW	2 bis 11 kW für Verschiebedauern von 5 bzw. 11 min (nur Pumpen der Abwasserzuleitung und Klärschlammbehandlung berücksichtigt)
15 min	72-108 kW	0	15-29 kW	
60 min	11-50 kW	0	0	
4 h	0-37 kW	0	0	
12 h	0-25 kW	0	0	
24 h	0	0	0	
<b>Erzeugungsreduktion durch Abschalten von BHKWs</b>				
15 min	0	1,8 MW	0	

Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research

Das gesamtösterreichische Potenzial zur Lastverschiebung wurde auf Basis der ermittelten Potenziale aus den Praxisbeispielen und der Anzahl der in Österreich vorhandenen Kläranlagen mit Anschlusswerten >2.000 EW, mittels „Bottom-Up-Methode“ und „Top-Down-Methode“ abgeschätzt. Basierend auf diesen beiden Methoden zur Abschätzung ergeben sich für Österreich folgende Bandbreiten für das Lastverschiebungspotenzial durch Abschalten von elektrischen Verbrauchern, in Abhängigkeit von der Abschaltedauer:

- 5 min: 22 – 27 MW
- 15 min: 21 – 26 MW
- 60 min: 2 – 3 MW

Die spezifischen Kosten zur Realisierung der Lastverschiebungspotenziale für zusätzliche Installation in Software und Mess- bzw. Regelungstechnik wurden mit einmaligen

Investitionen von rund 3.000 – 5.000 € pro Kläranlage abgeschätzt.<sup>16</sup> Durch die Automatisierung mit entsprechender Mess- und Regelungstechnik wird der zusätzliche Betreuungsaufwand für das gezielte Ab- und Zuschalten von technischen Aggregaten als zu gering eingeschätzt, um diesen Aufwand in Form von zusätzlichen Personalkosten zu bewerten.

Als Hemmnisse zur Umsetzung der Lastverschiebung im Bereich der Abwasserreinigung, wurden betriebsinterne bzw. strukturelle Gegebenheiten und rechtliche Rahmenbedingungen identifiziert, welche sowohl aus Sicht der Kläranlagenbetreiber als auch aus Sicht der Netzbetreiber Relevanz besitzen. Beispiele für derartige Hemmnisse sind die aus betriebstechnischen Gründen oft eingeschränkte Abrufbarkeit und teilweise geringe Dauer der abrufbaren Lastverschiebung. Die Mengen der abrufbaren Leistungen, sind im Vergleich zu Industriebetrieben eher gering. Weiters sind die Rahmenbedingungen für eine Teilnahme am Sekundärregelmarkt unter derzeitigen Bedingungen nur in 5 MW-Paketen möglich und die Leistung muss in einem vorgegeben Zeitraum erfolgen.<sup>17</sup> Diese Bedingungen können von Kläranlagen ohne größere anlagentechnische Erweiterungen (z.B. Errichtung eines zusätzlichen Gasspeichers) nicht erfüllt werden und 5 MW könnten nur durch Aggregation mehrerer Großkläranlagen bereitgestellt werden.

---

<sup>16</sup> Vgl. GAVE (2012).

<sup>17</sup> Vgl. Oberhofer (2013).

## 2.7 Literaturverzeichnis

Berger, H., T. Eisenhut, S. Polak, und R. Hinterberger. „Demand Response Potential of the Austrian industrial and commerce sector. Endbericht.“ Wien, 2013.

DENA. „Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 - 2020 mit Ausblick auf 2025 (dena Netzstudie II).“ Berlin, 2010.

Elberg C., Gravitsch G., Höffler F., Rückler J. Untersuchungen zu einem zukunftsfähigen Strommarktdesign. Endbericht. EWI Köln. 2012.

Focken, Ulrich, Marian Klobasa, und Jens Bümmerstede. „Kurz- bis mittelfristig realisierbare Marktpotenziale für die Anwendung von Demand Response im gewerblichen Sektor.“ energy meteo systems GmbH, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Oldenburg, Karlsruhe, 2011.

Fricke, Klaus. „Energieeffizienz kommunaler Kläranlagen.“ Umweltbundesamt , Dessau-Roßlau, 2009.

GAVE. Gemeinde Großschönau als virtueller Energiespeicher. Endbericht, TU Wien-ICT und AIT, Wien: Klima- und Energiefonds, 2012.

Lebensministerium. „Kommunale Abwasserrichtlinie der EU - 91/271/EWG Österreichischer Bericht.“ 2012.

Lekov, A, L Thompson, A McKane, K Song, und M A Piette. Opportunities for Energy Efficiency and Open Automated Demand Response in Wastewater Treatment Facilities in California - Phase I Report. Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory, 2009.

Lindtner, Stefan. Energieautarke Kläranlage - Grundlagenpapier. St. Pölten: Niederösterreichische Landesregierung, 2011.

Lindtner, Stefan. „Kläranlagenleistungsvergleich - Bereich Energie.“ 2012.

Lindtner, Stefan. Leitfaden für die Erstellung eines Energiekonzeptes kommunaler Kläranlagen. Wien: Lebensministerium, 2008.

Müller, Ernst A. „Potential der Infrastrukturanlagen zur Potentialverschiebung.“ Bern, 21. März 2013.

Müller, Ernst A., et al. Potential der Schweizer Infrastrukturanlagen zur Lastverschiebung. Bern: Bundesamt für Energie BFE, 2013.

Oberhofer, Michael. „Demand-Side-Management in Österreich in Industrie und Gewerbe.“ Masterarbeit, Technische Universität Graz, Institut für Elektrische Anlagen, Graz, 2013.

Thompson, L, A Lekov, A McKane, und M A Piette. Opportunities for Energy Efficiency and Open Automated Demand Response in Wastewater Treatment Facilities in California - Phase II Report- San Luis Rey Wastewater Treatment Plant Case Study. Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory, 2010.

Thompson, Lisa, Song Katherine, Alex Lekov, und Aimee McKane. Automated Demand Response Opportunities in Wastewater Treatment Facilities. Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory. Environmental Energy Technologies Division, 2008.

## 2.8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Vorhandene Ausbaukapazitäten der Kläranlagen in Österreich (Stand 31.12.2012) .....	7
Tabelle 2-2:	Anschlussgröße und spezifischer Stromverbrauch von Kläranlagen .....	7
Tabelle 2-3:	Normalbereiche des spezifischen Stromverbrauch .....	9
Tabelle 2-4:	Unterschiede im Stromverbrauch für die Stabilisierung je nach Verfahrenstechnik und Schmutzfracht .....	9
Tabelle 2-5:	Anlagenkomponenten der Anlage 1 .....	12
Tabelle 2-6:	Stromerzeugung und –verbrauch für die Anlage 2 in den Jahren 2011 und 2012 .....	16
Tabelle 2-7:	Anlagenkomponenten der Anlage 3.....	19
Tabelle 2-8:	Mittlere tägliche Betriebsstunden im Jänner und Juni 2012 ausgewählter Anlagenkomponenten von Kläranlage 3 Quelle: eigene Auswertungen Joanneum Research .....	20
Tabelle 2-9:	Betriebsstunden der elektrischen Aggregate von Kläranlage 4 .....	22
Tabelle 2-10:	Verschiebeleistung in unterschiedlichen Abwasser-Beseitigungsanlagen .....	23
Tabelle 2-11:	Für die Hochrechnung berücksichtigte Größenklassen .....	23
Tabelle 2-12:	Lastverschiebungspotenzial in Kläranlagen Österreich durch Lastreduktion (Bottom-up-Methode) .....	24
Tabelle 2-13:	Lastverschiebungspotenzial in Kläranlagen Österreich (Top-down-Methode) .....	25
Tabelle 2-14:	Investitionskosten für Steuerungs- und Kommunikationstechnik für die Lastverschiebung in Wasserwerken .....	26
Tabelle 2-15:	Bestimmung der jährlichen Gesamtkosten .....	26
Tabelle 2-16:	Spezifische Gesamtkosten des Lastverschiebungspotenzials in Kläranlagen in Österreich für die verschiebbare Energiemenge (MWh) und die verschiebbare Leistung (MW) .....	27
Tabelle 2-17:	Ermittelte Lastverschiebungspotenziale der Praxisbeispiele (Bandbreite der untersuchten Szenarien) .....	29

## 2.9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Verteilung des Anteils am Stromverbrauch kommunaler Einrichtungen am Beispiel der Schweiz. ....	5
Abbildung 2-2:	Betriebskostenverteilung auf Kläranlagen.....	7
Abbildung 2-3:	Anteil der einzelnen Verfahrensschritte am Gesamtstromverbrauch .....	8
Abbildung 2-4:	Anlagenschema – „Kläranlage 1“ .....	12
Abbildung 2-5:	Lastverlauf der Anlage 1 im Februar 2012.....	13
Abbildung 2-6:	Lastverlauf der Anlage 1 im August 2012 .....	14
Abbildung 2-7:	Lastverschiebungspotenzial durch Lastreduktion von Kläranlage 1 für 4 Szenarien.....	15
Abbildung 2-8:	Anlagenschema – „Kläranlage 2“ .....	17
Abbildung 2-9:	Anlagenschema "Kläranlage 3".....	18
Abbildung 2-10:	Monatlicher Stromverbrauch und monatliche Leistungsspitze der Kläranlage 3 .....	20
Abbildung 2-11:	Lastverschiebungspotenzial durch Lastreduktion in Kläranlage 3 für 2 Szenarien .....	21
Abbildung 2-12:	Anlagenschema "Kläranlage 4" .....	22

### **3 Case Study: Lastverschiebung bei Abwasserbeseitigungsanlagen und Wasserversorgungssystemen am Beispiel der Marktgemeinde Großschönau**

*Rusbeh Rezania, Bettina Frantes*

Zur Laststeuerung bzw. Lastverschiebung können gemäß der Ergebnisse des Projektes *Gemeinde Großschönau als virtueller Energiespeicher*<sup>18</sup> auch Abwasserbeseitigungsanlagen und Wasserversorgungssysteme genutzt werden. Die Berechnung des Lastverschiebepotenzials dieser Anlagen in GAVE (2012) ist aus technischer Sicht mit der Installation von entsprechenden Sensoren und passenden Softwarelösungen realisiert und durchgeführt worden. Da die Gemeinde Großschönau auch Teil des Konsortiums des Projektes Loadshift war, war es möglich auf Basis der Ergebnisse von GAVE zusätzliche Auswertungen hinsichtlich der ökonomischen Effekte der Nutzung dieser Lastverschiebungspotenziale zu machen.

Im Gegensatz zum vorangegangenen Kapitel, in dem Prozesse innerhalb von Kläranlagen hinsichtlich ihrer Eignung zur Lastverschiebung analysiert wurden, wird im Folgenden auf Zulaufpumpwerke und die Pumpen zur Klärschlammvererdung eingegangen (der eigentliche Reinigungsprozess wird nicht betrachtet, dies erfolgte bereits in Kapitel 2).

Somit liegt das Ziel des folgenden Kapitels einerseits in der Darstellung der Möglichkeiten zur Lastverschiebung in der Infrastruktur von kleinen Gemeinden am Beispiel von Großschönau und andererseits in der ökonomischen Bewertung des technisch möglichen Lastverschiebungspotenzials der Abwasserbeseitigung und der Wasserversorgung.

#### **3.1 Überblick der Wasserversorgung in Großschönau**

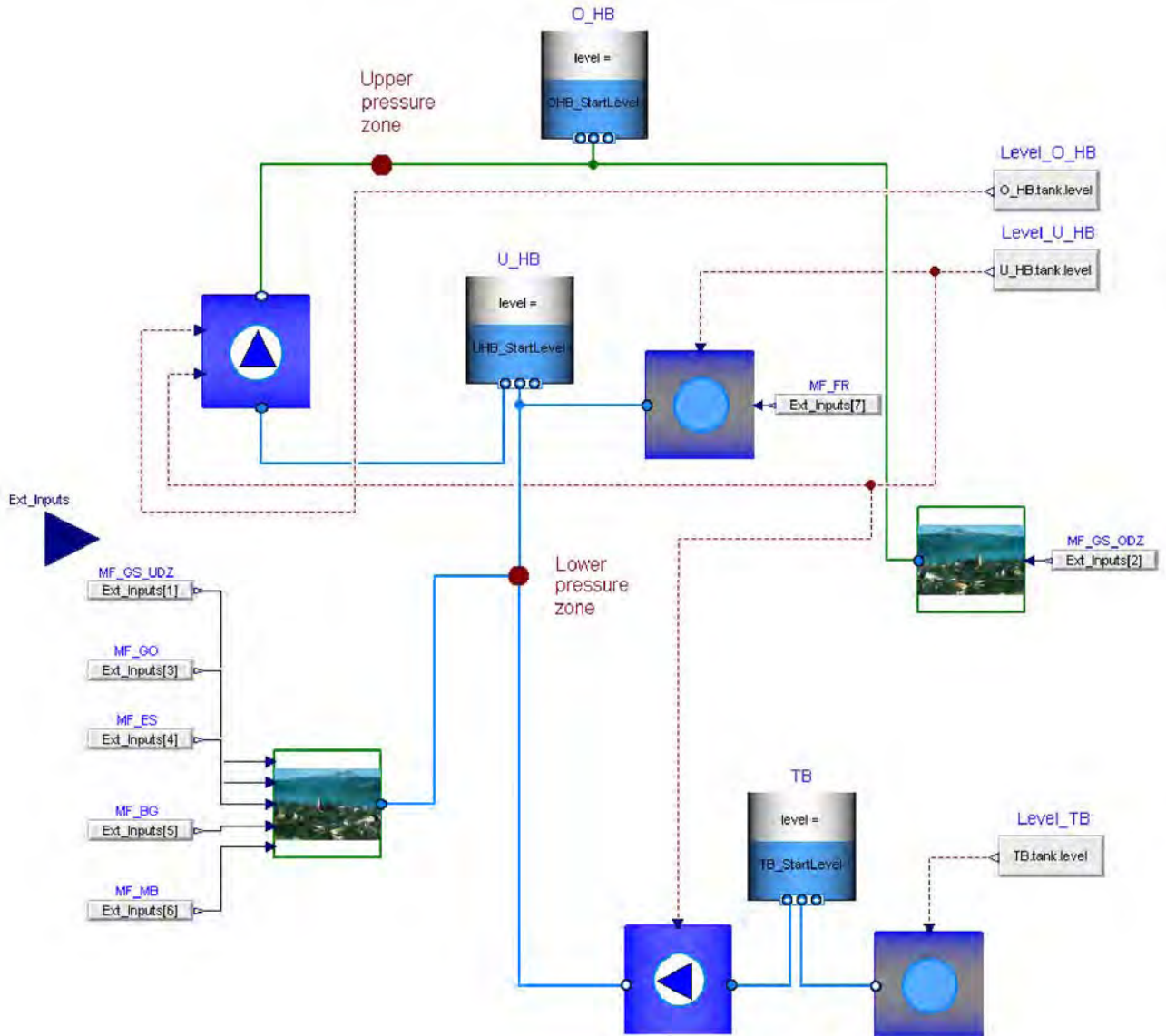
In der Gemeinde Großschönau werden durch ein System von Brunnen außerhalb der Gemeinde zwei Hochbehälter versorgt, die jeweils eine untere und obere Zone bedienen. Die Brunnen sowie die Hochbehälter selbst sind Wassertanks mit einem gewissen Volumen, die durch feste Niveaus geregelt werden. Mit einer Analyse der Füll- bzw. Entleerungsvorgänge kann eine Vorausplanung für Demand-Side-Management gemacht werden. Damit werden die Wasserspeicher zu Energiespeichern innerhalb der Gemeinde.

Die nachstehende Abbildung zeigt das Layout des Modells, welches in Großschönau zur Wasserversorgung verwendet wird und mehrere Dörfer aus verschiedenen Quellen versorgt.

---

<sup>18</sup> Siehe GAVE (2012).

Abbildung 3-1: Layout Modell Wasserversorgung Schönau, Quelle: GAVE (2012).



Der Prozess kann in zwei Zonen eingeteilt werden: In der niedrigeren Druckzone wird das Wasser für die Dörfer Großtotten, Engelstein, Mistelbach und einem Teil von Großschönau geholt, während die obere Druckzone Wasser für die übrigen Benutzer im Ort Großschönau liefert und sich in einer höheren Lage befindet.

Folgende Sensoren sind für das Projekt relevant und wurden erfasst:

- Füllstand unterer Hochbehälter in [m]
- Füllstand oberer Hochbehälter in [m]
- Gesamtmenge Zulauf Friedeich in [m<sup>3</sup>]
- Gesamtmenge Tiefbrunnen in [m<sup>3</sup>]
- Gesamtmenge untere Hochbehälter in [m<sup>3</sup>]
- Gesamtmenge Brunnen Rabenloch in [m<sup>3</sup>]
  - Gesamtmenge Brunnen Agrar III in [m<sup>3</sup>]
  - Füllstand Brunnen Agrar III in [m]
  - Gesamtmenge Brunnen Wandl I in [m<sup>3</sup>]

- Füllstand Brunnen Wandl I in [m]
- Gesamtmenge Brunnen Wandl II in [m<sup>3</sup>]
- Füllstand Brunnen Wandl II in [m]
- Füllstand Tiefbehälter in [m]
- Abnahme Groß-Otten in [m<sup>3</sup>]
- Abnahme Engelstein in [m<sup>3</sup>]

Bei allen dazugehörigen Pumpen wurden die Betriebszeiten und der aktuelle Schaltzustand erfasst. Als Aktuatoren lassen sich bei der Frischwasserversorgung prinzipiell alle Pumpen einsetzen. Folgende Auflistung gibt einen Überblick über die Pumpen mit den dazugehörigen Leistungen:

- Pumpsystem Drucksteigerungsanlage, Leistung ca. 2 x 1,5 kW
- Tiefenbrunnen Kierer, Leistung ca. 1,1 kW
- Rabenloch, Leistung gesamt ca. 8,03 kW
  - Pumpe Agrar III, Leistung ca. 0,55 kW
  - Pumpe Wandl I, Leistung ca. 0,73 kW
  - Pumpe Wandl II, Leistung ca. 0,75 kW
  - Drucksteigerungsanlage, Leistung ca. 2 x 3 kW

Die Wasserbehälter haben einen Füllstand, welcher zur Lastverschiebung bereitsteht. Bei den spezifischen Daten sind vor allem die Füllmengen interessant. Hierzu folgende Auflistung:

- Füllmenge unterer Hochbehälter, 130 m<sup>3</sup>
- Füllmenge oberer Hochbehälter, 100 m<sup>3</sup>
- Füllmenge Tiefbehälter Rabenloch, 34 m<sup>3</sup>

### Berechnung des Verschiebepotenzials

Für alle Verbraucher die für Demand Response Maßnahmen im Bereich Frischwasserversorgung in Frage kommen, wurde die elektrische Leistung anhand der Typenschilder bzw. Betriebsanleitungen ermittelt – diese Werte werden in der unten stehenden Tabelle dargestellt.

**Tabelle 3-1: Elektrische Pumpenleistungen**

Wasser – Versorgungsanlage - Großschönau	
Verbraucher	Elektrische Leistung
Hochbehälter Pumpe unten	1,5 kW
Hochbehälter Pumpe oben	1,5 kW
Pumpe Kirrerbrunnen	1,1 kW
Pumpe Rabenlochbrunnen	3 kW
Hauptpumpe Rabenloch	3 kW



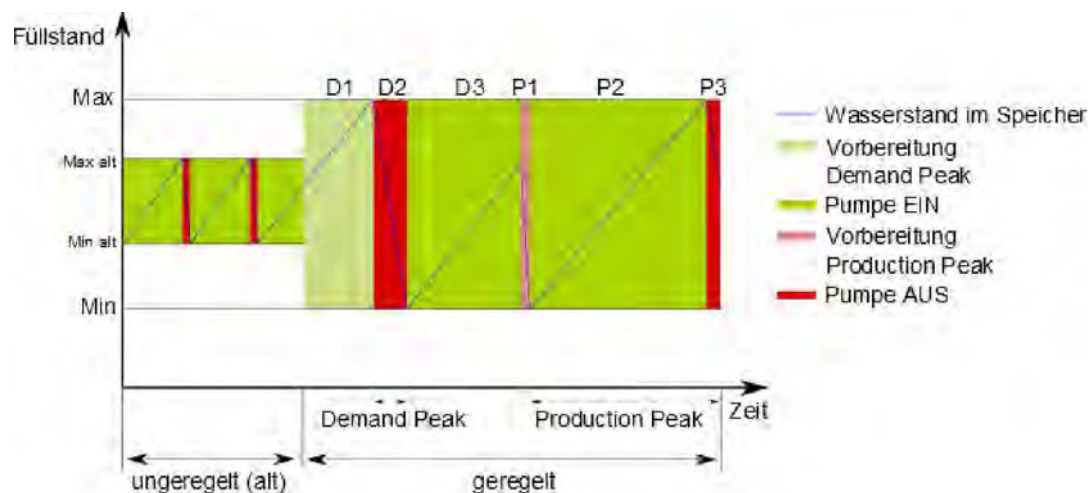
**Tabelle 3-2: Verschiebepotenzial in der Verbrauchsgruppe Frischwasser**

<b>Wasser – Versorgungsanlage - Großschönau</b>	
<b>Frishwasser</b>	10,1 kW

Wie dieses Potenzial konkret genutzt werden kann, hängt von mehreren Faktoren ab:

- Der Länge des Peaks im elektrischen Netz
- Der Kapazität der Speicherbehälter
- Dem Verbrauch während der Zeit des Peaks

Die nachstehende Skizze zeigt schematisch die Füllstandsregelung, mit den Bereichen D1, D2, D3, P1, P2, P3 welche unten genauer beschrieben werden.



**Abbildung 3-2: Prinzip Skizze Wasserstands Regelung**

Demand-Peak: Durch die Länge des Peaks ergibt sich die Zeit, zu der die Pumpen nicht laufen sollten. Ist die Kapazität des Tanks größer als der Verbrauch, der während des Peaks zu erwarten ist, kann die Last wie folgt verschoben werden:

**D1.** Rechtzeitig vor dem Peak wird in der Regelung des entsprechenden Behälters die Obergrenze bis zum höchsten technisch möglichen Füllstand angehoben. Zusätzlich wird die Untergrenze des Füllstandes in der Regelung so gesetzt, dass der Behälter mit dem höchstzulässigen Maß an Duty Cycling auf einem möglichst hohen Niveau gehalten wird. Durch die stochastische Natur der Frischwasserentnahme aus dem Behälter kann nie von einer statischen Füllmenge ausgegangen werden, daher kann der Zeitpunkt zu dem die Befüllung begonnen werden muss nur näherungsweise festgelegt werden; dies führt auch dazu, dass der Füllstand eventuell über eine gewisse Zeit gehalten werden muss, wenn die Entnahme geringer als erwartet ausfällt, und so der Höchststand deutlich vor dem Peak das erste Mal erreicht wird.

**D2.** Während des Peaks wird die Untergrenze des Füllstandes auf den niedrigsten technisch möglichen Füllstand gesetzt. Mit der Obergrenze wird analog zu D1 verfahren, und daher ein Wert gewählt der voraussichtlich zu einem akzeptablen Duty Cycling der Pumpe führt.

**D3.** Nach dem Peak kann der Normalbetrieb nahtlos wieder aufgenommen, werden, was im schlechtesten Fall zu einem Rebound in der Höhe der gesamten elektrischen Leistung führen kann.

Production Peak: (wird umgekehrt wie der Demand-Peak abgehandelt)

**P1.** Rechtzeitig vor dem Peak wird in der Regelung des entsprechenden Behälters die Untergrenze bis zum niedrigsten technisch möglichen Füllstand abgesenkt. Zusätzlich wird die Obergrenze des Füllstandes in der Regelung so gesetzt, dass der Behälter mit dem höchstzulässigen Maß an Duty Cycling auf einem niedrigen Niveau gehalten wird. Durch die stochastische Natur der Frischwasserentnahme aus dem Behälter kann nie von einer statischen Füllmenge ausgegangen werden, daher kann der Zeitpunkt zu dem die Entleerung begonnen werden muss wieder nur näherungsweise festgelegt werden. Dies führt auch hier dazu, dass der niedrige Füllstand eventuell über eine gewisse Zeit gehalten werden muss, wenn die Entnahme höher als erwartet ausfällt, und so der niedrigste Füllstand deutlich vor dem Peak das erste Mal erreicht wird.

**P2.** Während des Peaks wird die Obergrenze des Füllstandes auf den höchsten technisch möglichen Füllstand gesetzt. Mit der Untergrenze wird analog zu (1) verfahren, daher wird ein Wert gewählt, der voraussichtlich zu einem akzeptablen Duty Cycling der Pumpe führt.

**P3.** Nach dem Peak kann der Normalbetrieb nahtlos wieder aufgenommen werden.

Einzelne Lastverschiebungen im Frischwassersystem waren zwar erfolgreich, durch die höhere Komplexität des Systems konnten allerdings durch die Experimente nicht alle Zustände abgedeckt werden. Die erhaltenen guten Ergebnisse haben jedoch nur Stichprobencharakter. Um eine definitive Aussage über die Möglichkeiten zur Lastverschiebung im Bereich der Frischwasserversorgung zu erhalten, wurde mit einem in GAVE (2012) entwickelten Simulationsmodell ein Monte-Carlo-Experiment durchgeführt.

Dazu wurden zunächst nachgewiesen, dass die Füllstände der beiden Tanks, die tatsächlich Frischwasser bereitstellen, statistisch voneinander unabhängig sind. Die Veränderungen der Füllstände sind zwar klarerweise durch die Pumpe dazwischen in vielen Fällen indirekt proportional, der Korrelationskoeffizient der Füllstände zeigte aber, dass diese tatsächlich als unabhängig betrachtet werden können. Daraufhin wurden, da die Sensoren nur auf cm genaue Füllstände angeben, eine diskrete empirische Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion, und daraus die empirische Verteilungsfunktion der Füllstände generiert. Aus dieser empirischen Verteilungsfunktion wurden mittels eines [0,1] gleichverteilten Pseudozufallszahlengenerators 1.000 Paare von Füllständen für die beiden Tanks generiert. Diese Werte wurden als Startwerte für die Simulation eingesetzt, um mit Hilfe der Simulation die Zeit bis zum ersten Erreichen eines unteren Sollwerts zu bestimmen. An diesem Punkt würde eine der Pumpen wieder anspringen, und damit das Ziel, die gesamte Last der Frischwasserversorgung zu verschieben, kompromittieren.

Da die Ergebnisse nicht normalverteilt waren, wurden sie auf log-Normalverteilung getestet, in dem die transformierten Werte auf Normalverteilung getestet wurden. Hier lieferte der Kolmogorov Smirnov Test bei ALPHA=0.95 eine Bestätigung der Hypothese der Normalverteilung, damit kann für die ursprünglichen Daten log-Normalverteilung angenommen werden. Damit ergibt sich für den Erwartungswert der zugrunde liegenden Verteilungsfunktion, deren Parameter ebenfalls aus den transformierten Daten geschätzt werden konnte, ein Erwartungswert von ca. 75 Minuten (genauer 4.425,66 Sekunden), wobei 78,3 Prozent aller Werte über einer Stunde liegen.

Das heißt zusammengefasst, dass bereits ohne Vorkonditionierung das Frischwasserversorgungssystem der Gemeinde Großschönau in 80 % der Fälle für zumindest eine Stunde ohne Betrieb der Pumpen verwendet werden kann. Darauf basierend kann nun zusammen mit vorhandenen Messdaten für das Füllen der Tanks geschlossen werden, dass bei einer Vorkonditionierung, sollte diese eine halbe Stunde vorher begonnen werden, die angepeilten 2 Stunden Dauer, während denen keine Pumpe laufen sollte, in 99,3 % aller Fälle erfüllt werden können. Die verbleibenden Prozentpunkte kommen von

extremen Ereignissen, die in den Daten wiedergespiegelt wurden, wobei hier angemerkt werden muss, dass diese nie länger als 15 Minuten auftraten. In diesen 99,3 % aller Fälle können also die 10,1 kW Leistung der Pumpen komplett auf einen Zeitraum außerhalb eines zweistündigen Peaks verschoben werden. Bei 2 stündiger Abschaltung würde dies eine Lastreduktion von 20,2 kWh pro Abschaltzyklus bedeuten.

### 3.2 Überblick der Abwasser-Beseitigungsanlagen in Großschönau

Im Projekt GAVE wurden weiters die Verschiebeleistungen von drei Abwasserbeseitigungsanlagen untersucht, die sich in den Gemeinden Mistelbach, Rothfarn und Großschönau befinden. Hierbei wurden Vererdungspumpen, Abwasserpumpen sowie eine Wärmepumpe untersucht. Tabelle 3-3 stellt die berechneten Werte zur Verschiebeleistung dieser Anlagen in den drei untersuchten Abwasser-Beseitigungsanlagen dar. Die Höhe der verschiebbaren Energiemenge (kWh) pro Tag und Anlage liegt in einer Bandbreite von 1,81 kWh bis 15,65 kWh.

**Tabelle 3-3: Verschiebeleistung in unterschiedlichen Abwasser-Beseitigungsanlagen (siehe GAVE (2012))**

Name	Minuten pro Zyklus	Leistung in kW	Zyklen	Verschiebbare Energiemenge pro Zyklus, (kWh)	Verschiebbare Energiemenge pro Tag, (kWh)
Mistelbach	11	11	4,29	2,02	8,65
Rothfarn	5	2	10,86	0,17	1,81
Großschönau	4,7	7,4	27	0,58	15,65

Die Investitionskosten für die technische Flexibilisierung der Anlagen sowohl für die Wasserversorgung wie in Kapitel 3.1 beschrieben wie auch für die hier dargestellten Abwasser-Reinigungsanlagen sind unterteilt in die Kosten für allgemeine technische Erweiterung, Sensoren, Aktuatorvorrichtungen und Software. Die Summe der Kosten, wiedergegeben in Tabelle A.1 (siehe Anhang), liegt bei rund 13.500 €

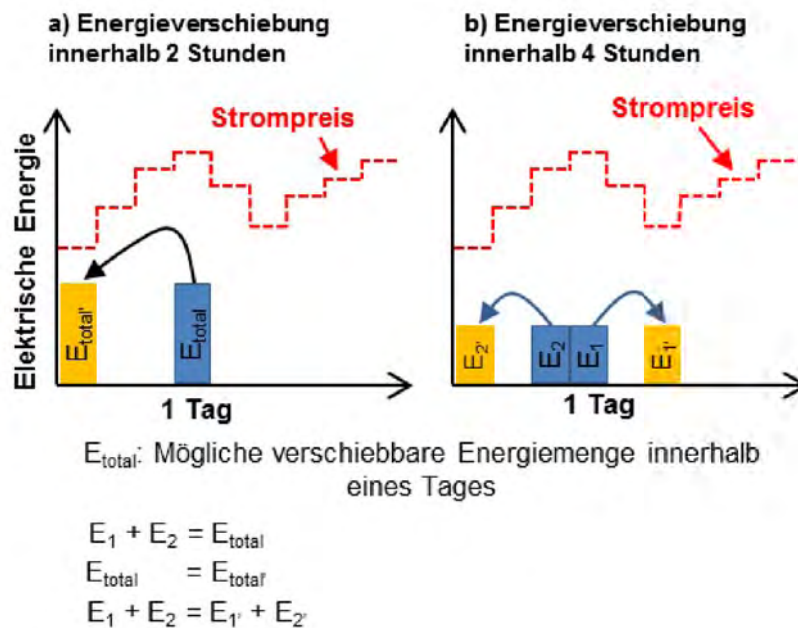
### 3.3 Ökonomische Bewertung des Lastverschiebepotenzials

Die ökonomische Bewertung der errechneten Lastverschiebungspotenziale besteht einerseits aus der Bewertung des Einnahmepotenzials und andererseits dem Vergleich zwischen Einnahmen und benötigten Investitionskosten für die Anlagen.

Das Einnahmepotenzial der Lastverschiebung wird mit den historischen Strompreisen vom Day-Ahead-Markt<sup>19</sup> bewertet. Die ökonomische Bewertung der Lastverschiebung der betrachteten Wasserversorgungs- und Abwasser-Beseitigungsanlagen, basierend auf historischen Strompreisen, gibt einen Rückschluss über die Entwicklung von Peak- und Offpeak Spreizung am Day-Ahead-Markt. Abbildung 3-3 stellt die allgemeine methodische Vorgangsweise für die Berechnung der möglichen Einnahmen aufgrund der Lastverschiebung dar. Die verschiebbare Energie innerhalb eines Tages kann von

<sup>19</sup> Siehe EXAA (2013).

verschiedenen Tageszeitpunkten mit hohen Strompreisen in Zeiten mit niedrigeren Strompreisen verlagert werden. Der linke Teil von Abbildung 3-3 stellt die Verlagerung der verschiebbaren Energie innerhalb eines Tages von der Stunde mit dem höchsten Strompreis in die Stunde mit dem geringsten Strompreis dar. Damit kann die Lastverschiebung innerhalb von zwei Zeitpunkten/Stunden abgeschlossen werden. Der rechte Teil von Abbildung 3-3 stellt die Verlagerung der gleichen Energiemenge pro Tag wie der linke Teil von Abbildung 3-3 dar, wobei diese Verschiebung zwischen insgesamt vier verschiedenen Zeitpunkten/Stunden (von den beiden teuersten zu den beiden billigsten Stunden) bewerkstelligt wird.



**Abbildung 3-3: Methodische Vorgangsweise bei der Verschiebung der verfügbaren Energiemenge innerhalb von unterschiedlichen Tageszeitpunkten**

Der Vergleich zwischen Einnahmen und benötigten Investitionskosten für die Anlagen basiert auf der Anwendung der Barwertmethode. In dieser Methode wird der Wert der zukünftigen Einnahmen der Lastverschiebung auf die Gegenwart umgerechnet und mit den benötigten Investitionskosten<sup>20</sup> (Ausbau der Anlagen) verglichen. Damit wird die Anzahl der Jahre ermittelt, die benötigt, um die Investitionskosten abzudecken.

### 3.3.1 Datengrundlage

Die Daten für die Anwendung der oben beschriebenen Methodik sind in historische Strompreise am Day-Ahead-Markt, technisch mögliche Lastverschiebungspotenziale der untersuchten Anlagen und benötigte Investitionen für die Flexibilisierung der Anlagen unterteilt. Abbildung 3-4 stellt die Entwicklung des mittleren Strompreises am Day-Ahead-Markt dar. Der höchste mittlere Strompreis ist im Jahr 2008 erreicht worden, wobei in den letzten Jahren eine Senkung des mittleren Strompreises zu beobachten ist. Die Ermittlung

<sup>20</sup> Die Realisierung der Lastverschiebung in den untersuchten Anlagen ist mit entsprechender Flexibilisierung der Systeme durchgeführt worden. Die erwähnte Flexibilisierung resultiert aus der Installation von zusätzlichen Messgeräten (Sensoren) und Steuerungssoftware.

des möglichen Einnahmepotenzials der Lastverschiebung von 2003 bis 2012 gibt einen Aufschluss über die jährliche Entwicklung des Strompreisunterschieds zwischen Peak- und Offpeak-Zeiten.

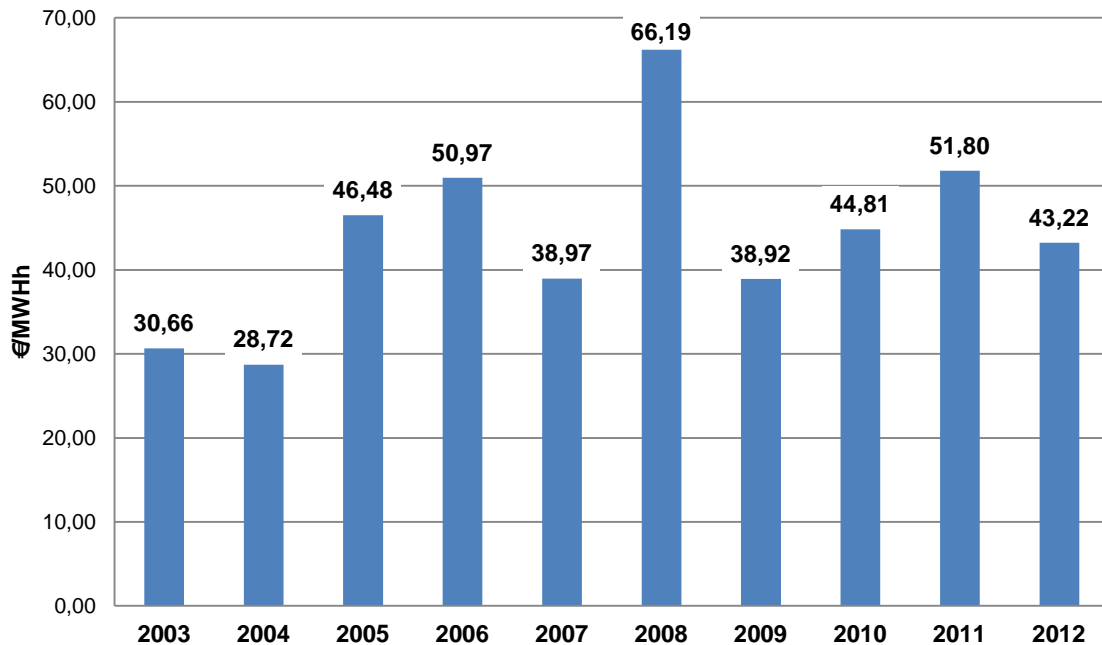


Abbildung 3-4: Mittlerer Strompreis am Day-Ahead-Markt von 2003 bis 2012, Quelle: EXAA (2013).

### 3.4 Ergebnisse

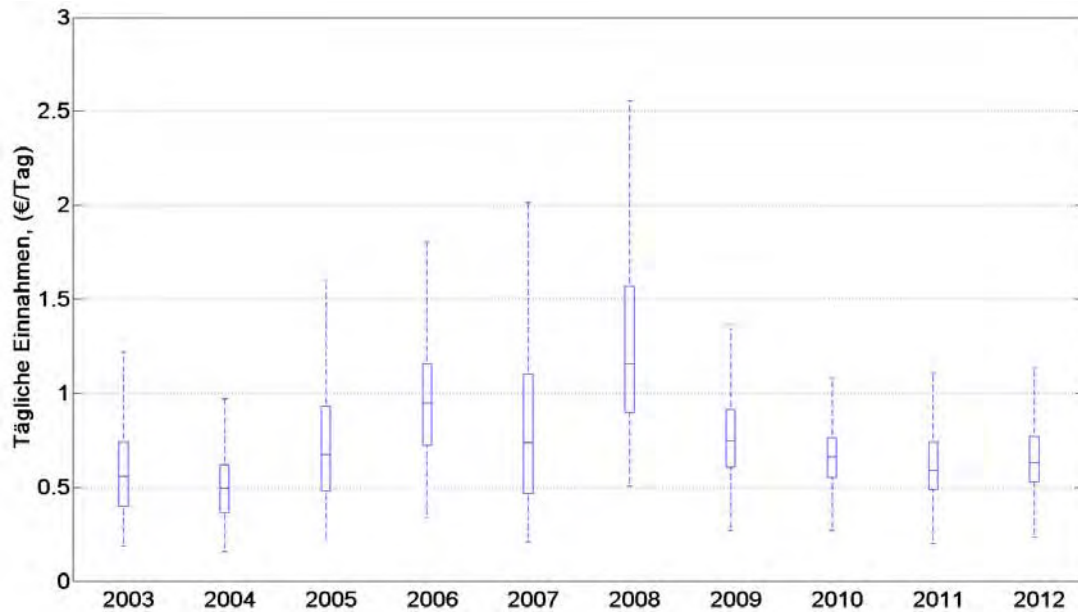
Die Ergebnisse der ökonomischen Untersuchung ergeben sich aus der beschriebenen Methode und der erwähnten Datengrundlage und sind unterteilt in:

- Berechnung des Einnahmepotenzials für das Wasserversorgungssystem,
- Kalkulation des Einnahmepotenzials für die Abwasser-Beseitigungsanlagen,
- Kosten-Nutzen-Analyse: Gegenüberstellung der ermittelten Einnahmen und Investitionskosten.

#### 3.4.1 Einnahmepotenzial für das Wasserversorgungssystem

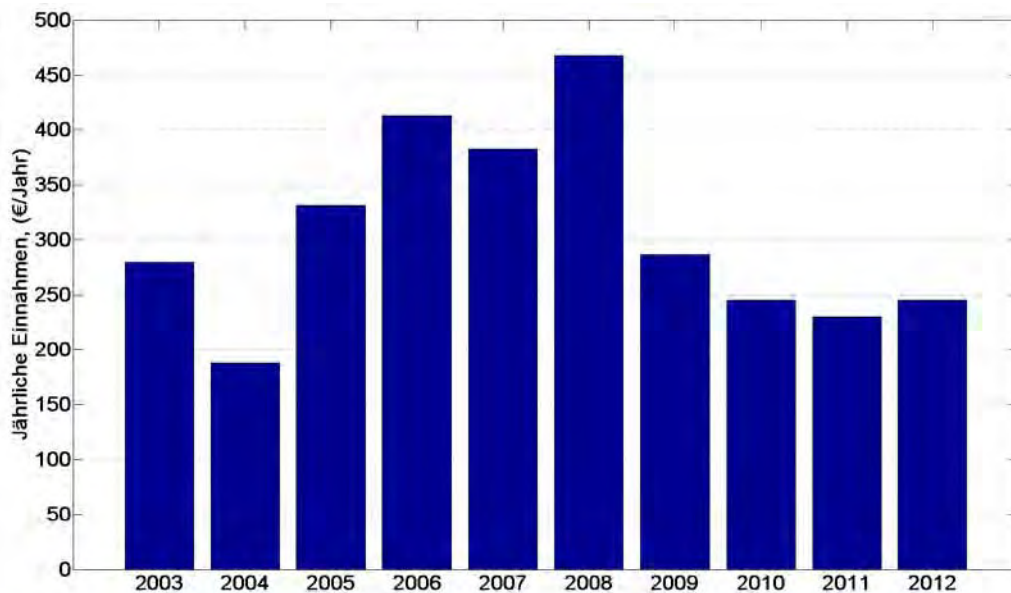
Die ökonomische Bewertung basiert auf Lastverlagerung von Zeiten mit den teuersten hin zu Zeiten mit den niedrigsten Strompreisen. Das Fenster für die Verschiebung ist mit zwei Stunden angenommen worden. Abbildung 3-5 stellt die täglichen Einnahmen bzw. Einsparungen mittels Lastverschiebung innerhalb des Wasserversorgungssystems dar. Es ist ersichtlich, dass die Einsparungen in den letzten Jahren aufgrund der Verringerung des Unterschieds zwischen Peak- und Offpeak-Preisen einen rückläufigen Verlauf angenommen haben. Der Grund des Rückgangs kann in der Verringerung der Peak-Preise in den letzten Jahren aufgrund der hohen Durchdringungsrate der erneuerbaren Technologien insbesondere Photovoltaik gesehen werden<sup>21</sup>.

<sup>21</sup> siehe auch Haas et al. (2013).



**Abbildung 3-5: Tägliche Einnahmen mittels der Lastverlagerung innerhalb des Wasserversorgungssystems**

Die Summe der täglichen Einnahmen, die sich aus der Lastverlagerung ergeben, resultiert in jährlichen Einnahmen für das Wasserversorgungssystem (siehe Abbildung 3-6). Der erwähnte Rückgang des Unterschieds zwischen Peak- und Offpeak-Preisen in den letzten Jahren beeinflusst auch die Höhe der jährlichen Einnahmen. Im Jahr 2012 könnte mittels Lastverschiebung eine Einsparung bei Stromkosten von rund 250 € erzielt werden.



**Abbildung 3-6: Jährliche Einnahmen mittels Lastverlagerung innerhalb des Wasserversorgungssystems**

### 3.4.2 Einnahmepotenzial für die Abwasser-Beseitigungsanlagen

Die ökonomische Bewertung der Lastverschiebung innerhalb der untersuchten Abwasser-Beseitigungsanlagen bezieht sich hier auf die erwähnte verschiebbare Energiemenge pro Tag, die innerhalb von unterschiedlichen Zyklen und Tagesstunden passieren kann.



Abbildung 3-7 stellt die jährlichen Einnahmen mittels der Lastverschiebung in der Abwasser-Beseitigungsanlage von Großschönau dar.

Aus der Beobachtung der Abbildung 3-7 können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Mit der Erhöhung der benötigten Anzahl an Zyklen zu unterschiedlichen Tagesstunden für Verschiebung der erwähnten Strommenge (siehe Tabelle 2-10) wird sich das Einnahme- bzw. Einsparpotenzial verringern.
- Nach dem hohen Einnahmepotenzial im Jahr 2008 kann eine Verringerung der Einsparungen in den darauffolgenden Jahren verzeichnet werden. Dieser Effekt kann mit dem Rückgang der Peak-Offpeak Spreizung erklärt werden.
- Die höchsten jährlichen Einnahmen können durch Verschiebung der Last vom teuersten zu billigsten Zeitpunkt (d.h. innerhalb von zwei Stunden) erzielt werden.

Die entsprechenden Ergebnisse für die Abwasser-Beseitigungsanlagen in Rothfarn und Mistelbach sind in Abbildung A.1 und Abbildung A.2 wiedergegeben.

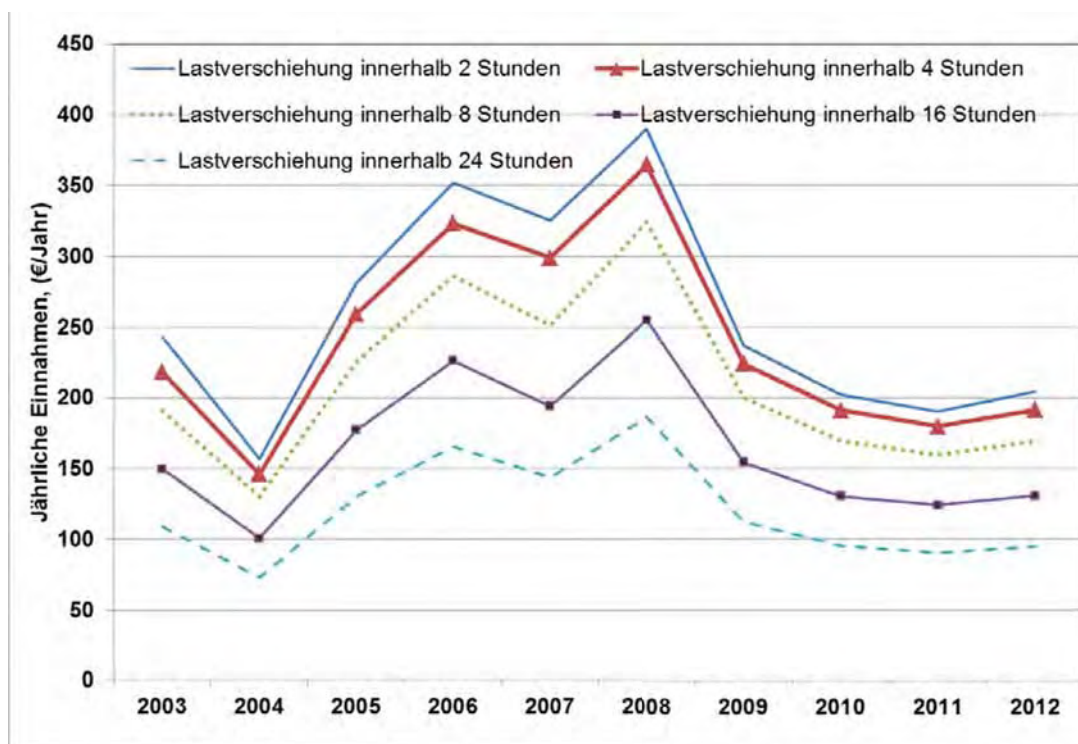


Abbildung 3-7: Jährliche Einnahmen mittels Lastverlagerung in der Abwasser-Beseitigungsanlage in Großschönau

### 3.4.3 Kosten-Nutzen-Analyse

Die Summe der Einnahmen der untersuchten Anlagen (insgesamt vier) – bei Lastverschiebung innerhalb von zwei Stunden – liegt bei rund 590 € für das Jahr 2012. Abbildung 3-8 stellt den Barwert der zukünftigen Zahlungen dar, wobei das Jahr 2012 als Basisjahr angenommen wird. Der Zinssatz (Abzinsungsfaktor) liegt hier bei 7 %.

Die Resultate zeigen, dass sogar nach 30 Jahren – unter Berücksichtigung des derzeitigen Niveaus der Einnahmen – die Investitionskosten in der Höhe von 13.500 nicht abgedeckt werden können. Die Steigerung der jährlichen Einnahme von 60 % ( $590 \cdot 1,60 =$



944 €/Jahr<sub>2012</sub>) führt erst nach mehr als 28 Jahren zur Abdeckung der Investitionskosten, die für die Flexibilisierung der Anlagen notwendig wären.

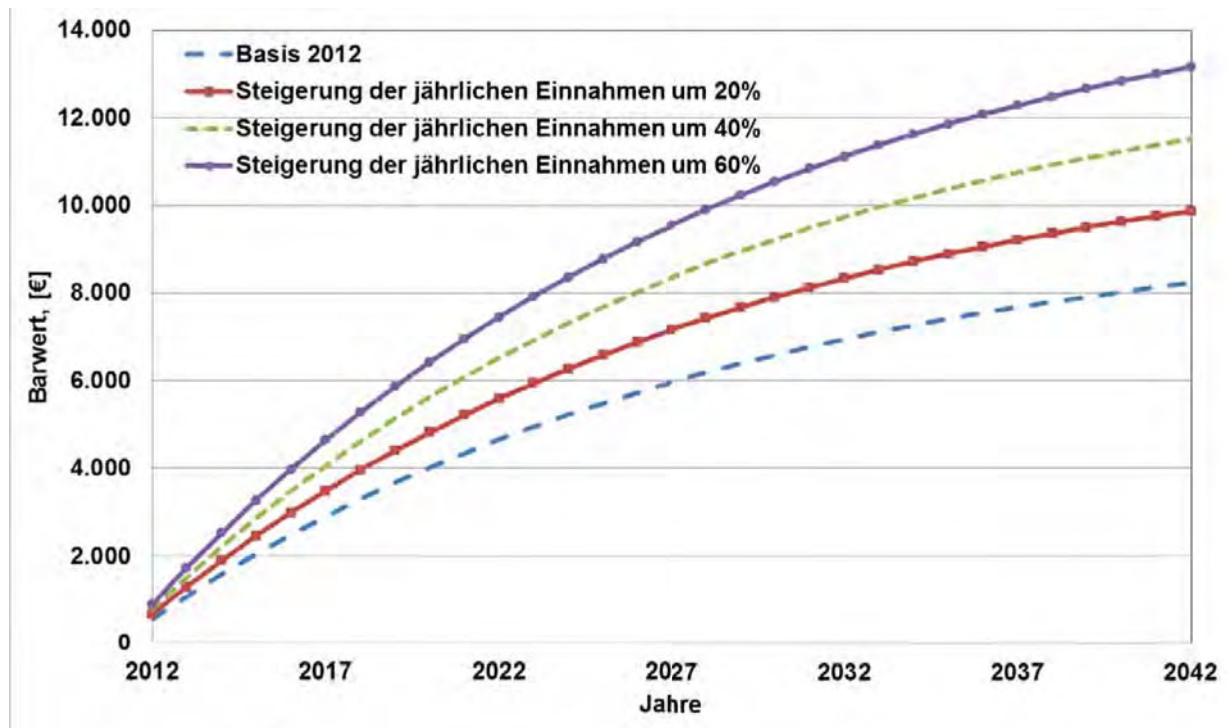


Abbildung 3-8: Barwert der möglichen Einnahmen der untersuchten Anlagen bezogen auf das Basisjahr 2012

### 3.5 Schlussfolgerungen

Die ökonomischen Ergebnisse zeigen einen Rückgang der jährlichen Einnahmen mittels Lastverschiebung (von 2008 bis 2012) der untersuchten Anlagen. Dieser Effekt kann mit dem Rückgang der Peak-Offpeak Spreizung am Day-Ahead-Markt erklärt werden.

Die benötigten Investitionskosten für die Flexibilisierung der untersuchten Anlagen können erst nach mehr als 28 Jahre mittels der Einnahmen aus dem Day-Ahead-Markt abgedeckt werden, wodurch von einer hohen Lebensdauer für die bestehenden Anlagen ausgegangen werden muss. Daher kann die Applikation „Lastverschiebung in untersuchten Wasserersorgungssystem und Abwasser-Beseitigungsanlagen“ ausgehend von der derzeitigen Marktentwicklung am Day-Ahead-Markt und den erforderlichen Investitionskosten als ein nicht realisierbarer Business Case eingestuft werden.

Dieser Umstand kann mit der Erhöhung der Einnahmen und Reduzierung der Investitionskosten verbessert werden. Die Steigerung der Einnahmen kann mit der Teilnahme der Anlagen an Intraday- oder Ausgleichsenergiemärkten (Randbedingung: Erfüllung der technischen Präqualifikation) realisiert werden.

Somit kann schlussfolgernd festgestellt werden, dass aktuell noch keine ökonomischen Anreize für Investitionen in die Flexibilisierung von Abwasser-Beseitigungsanlagen und Wasserversorgungssystemen vorliegen. Jedoch konnte auch gezeigt werden, dass Flexibilitäten grundsätzlich vorliegen und eventuell im Zuge zukünftiger innovativer Geschäftsmodelle, bspw. durch das Pooling der Anlagen mehrerer Gemeinden, genutzt werden könnten.

### 3.6 Literaturverzeichnis

Berger, H., T. Eisenhut, S. Polak, und R. Hinterberger. „Demand Response Potential of the Austrian industrial and commerce sector. Endbericht.“ Wien, 2013.

EXAA. EXXA - Energy Exchange Austria. 2013. <http://www.exxa.at> (Zugriff am 02. 04 2013).

GAVE. Gemeinde Großschönau als virtueller Energiespeicher. Endbericht, TU Wien-ICT und AIT, Wien: Klima- und Energiefonds, 2012.

Haas, Reinhard, Georg Lettner, Hans Auer, und Neven Duic. „The looming revolution: How photovoltaics will change electricity markets in Europe fundamentally.“ Energy, 2013: 38-43.

### 3.7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Elektrische Pumpenleistungen .....	36
Tabelle 3-2:	Verschiebepotenzial in der Verbrauchsgruppe Frischwasser .....	37

### 3.8 Abbildungsverzeichnis

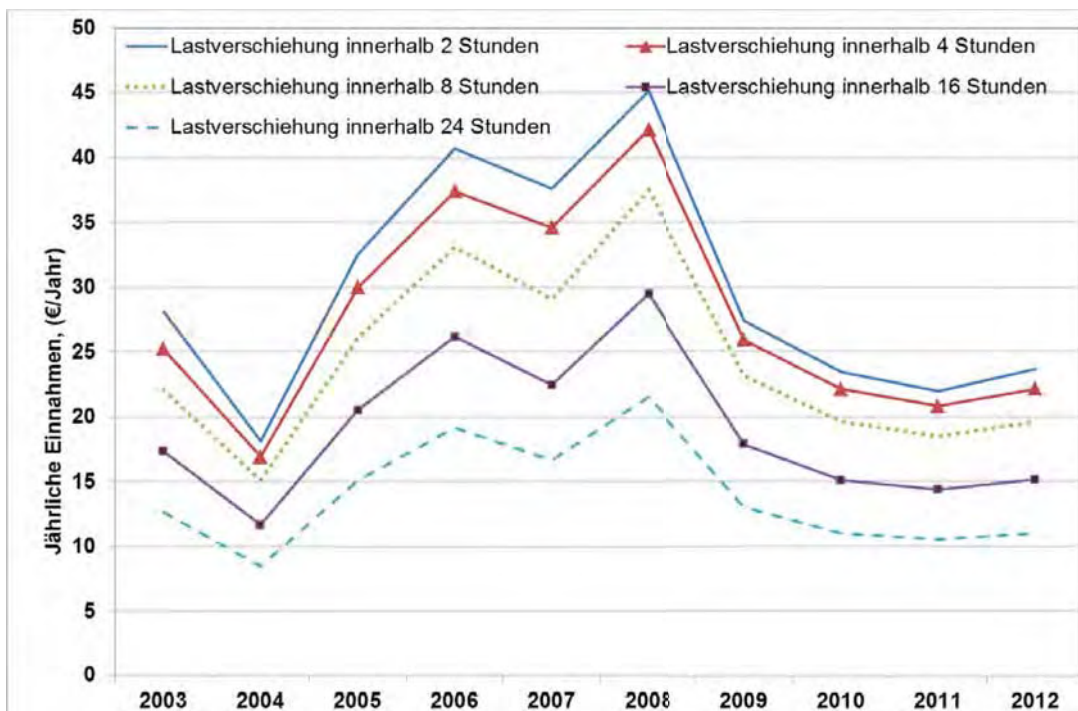
Abbildung 3-1:	Layout Modell Wasserversorgung Schönau, Quelle: GAVE (2012). .....	35
Abbildung 3-2:	Prinzip Skizze Wasserstands Regelung .....	37
Abbildung 3-3:	Methodische Vorgangsweise bei der Verschiebung der verfügbaren Energiemenge innerhalb von unterschiedlichen Tageszeitpunkten .....	40
Abbildung 3-4:	Mittlerer Strompreis am Day-Ahead-Markt von 2003 bis 2012 .....	41
Abbildung 3-5:	Tägliche Einnahmen mittels der Lastverlagerung innerhalb des Wasserversorgungssystems .....	42
Abbildung 3-6:	Jährliche Einnahmen mittels Lastverlagerung innerhalb des Wasserversorgungssystems .....	42
Abbildung 3-7:	Jährliche Einnahmen mittels Lastverlagerung in der Abwasser-Beseitigungsanlage in Großschönau .....	43
Abbildung 3-8:	Barwert der möglichen Einnahmen der untersuchten Anlagen bezogen auf das Basisjahr 2012 .....	44

### 3.9 Anhang

**Tabelle A.1: Gesamtinvestitionskosten für die Flexibilisierung der untersuchten Abwasser-Beseitigungsanlagen und des Wasserversorgungssystems**

Allgemeine technische Erweiterung der untersuchten Anlagen		5.000
<b>Abwasser-Beseitigungsanlagen</b>		
Mistelbach	Sensoren und Aktuatorvorrichtungen	849
Großschönau	Sensoren und Aktuatorvorrichtungen	849
Rothfarn	Sensoren und Aktuatorvorrichtungen	849
	Software	3.000
<b>Wasserversorgungssystem</b>		
	Sensoren und Aktuatorvorrichtungen	2.899
<b>Gesamte Investitionskosten</b>		<b>13.446</b>

Quelle: GAVE (2012)



**Abbildung A.1: Jährliche Einnahmen mittels Lastverlagerung von Abwasser-Beseitigungsanlage in Rothfarn**

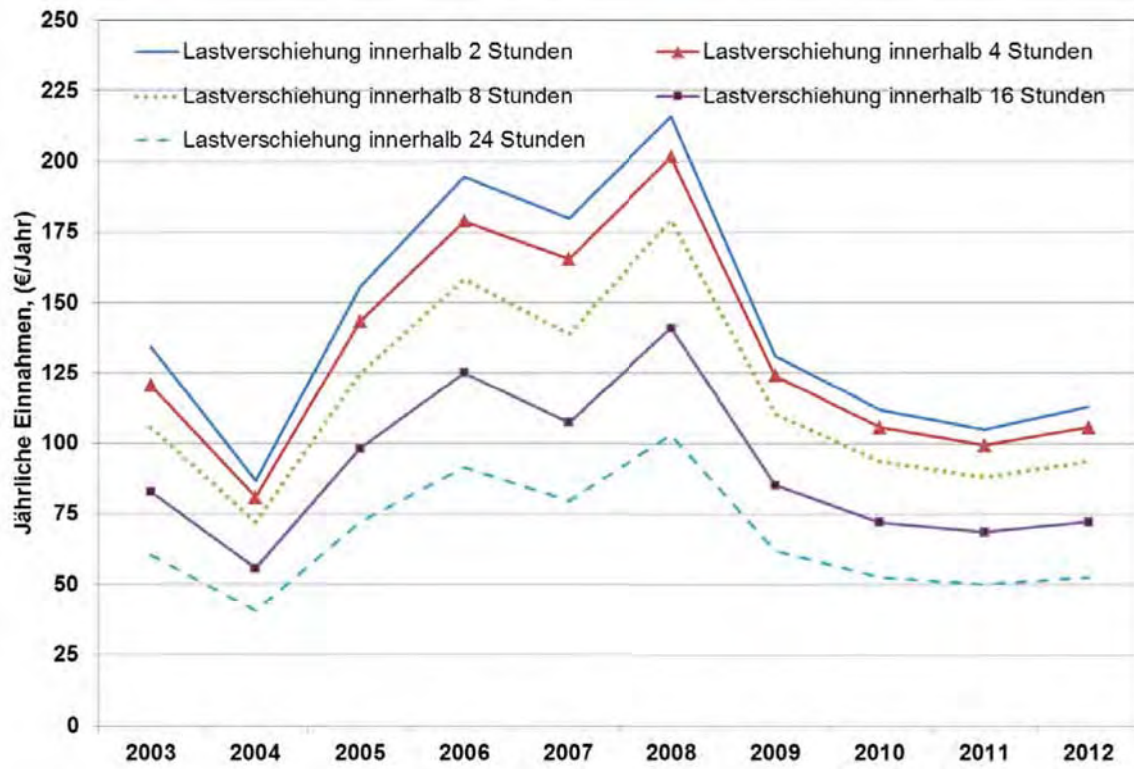


Abbildung A.2: Jährliche Einnahmen mittels Lastverlagerung von Abwasser-Beseitigungsanlage in Mistelbach