Klima- und Energie-
Modellregionen
heute aktiv, morgen autark

LEITFADEN ZUR OPTIMIERUNG DER PHOTOVOLTAIK-EIGENSTROMNUTZUNG AUF KLÄRANLAGEN MITTELS LASTVERSCHIEBUNG

Leitprojekt „OptiPV“

Version 1, erstellt am 30.03.2017

IMPRESSUM

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Leitprojektes der Klima- und Energiemodellregion „Das ökoEnergieland“ namens „OptiPV – Optimierung der Photovoltaik-Eigenstromnutzung auf Kläranlagen mittels Lastverschiebung“ angefertigt.

Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „Leitprojekte in Klima- und Energiemodellregionen“ durchgeführt.

Projektnehmer: Europäisches Zentrum für Erneuerbare Energie Güssing GmbH
Europastraße 1
7540 Güssing

EUROPÄISCHES ZENTRUM FÜR ERNEUERBARE ENERGIE GÜSSING GMBH

Projektbeteiligte: Nowak Abwasser Beratung e.U.
Colmarplatz 1
7000 Eisenstadt

NOWAK ABWASSERBERATUNG
UNIV.-DOZ. DIPL.-ING. DR. OTTO NOWAK
INGENIEURBÜRO FÜR WASSERWIRTSCHAFT

4ward Energy Research GmbH
Reininghausstraße 13A
8020 Graz

4ward Energy Research GmbH

Autorinnen/Autoren
Andrea Moser, Joachim Hacker, Otto Nowak, Thomas Nacht, Martin Schloffer, Evelyn Hummer

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 6
1.1 Lastverschiebung auf Kläranlagen – Status quo in Österreich 6
1.2 Das Projekt „OptiPV“ 7
1.3 Das Praxishandbuch „Leitfaden zur Optimierung der Photovoltaik-Eigenstromnutzung auf Kläranlagen mittels Lastverschiebung“ 8
2 Anwendung des Praxishandbuchs 8
3 Abschätzung von Potenzialen zur Lastverschiebung 11
3.1 Schritt 1: Allgemeine Kläranlagenbeschreibung und Kategorisierung der Anlage 12
3.2 Schritt 2: Abwassertechnische Eigenbewertung 21
3.2.1 Bestimmung der Anlagenbelastung 22
3.2.2 Plausibilitätsprüfung / Verifikation der Anlagenbelastung 25
3.2.3 Verifikation des Tagesgangs der Anlagenbelastung 27
3.3 Schritt 3: Energetische Analyse 29
3.3.1 Berechnung Energiekennzahlen 29
3.3.2 Erfassung und Analyse Energieverbrauch der Aggregate 30
3.3.3 Analyse des Lastgangs 32
3.3.4 Analyse PV-Produktionsdaten 37
3.4 Schritt 4: Potentialabschätzung 40
3.4.1 Potentialabschätzung mittels Berechnungsmodell 40
3.4.2 Potentialabschätzung aus dem Lastverlauf der Erzeugung und des Verbrauchs 42
3.4.3 Ermittlung PV-Ausbau 46
4 Zusammenfassung / Schlussfolgerung 49

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Eingesetzte Reinigungsverfahren kommunaler Kläranlagen 10
Abbildung 2: Ablauf zur Ermittlung der Potenziale zur Optimierung der Photovoltaik-Eigenstromnutzung [eigene Darstellung] 12
Abbildung 3: Entscheidungsbaum zur Anwenund des Leitfadens [eigene Darstellung] 14
Abbildung 4: Spezifische Fracht an organischer Trockensubstanz im Klärschlamm von Belebungsanlagen mit „simultaner aerober Schlammstabilisierung“ [eigene Darstellung] 26
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Bereiningung der dauernd laufenden Aggregate 34
Abbildung 6: Sichtung dominanter Lastspitzen im Verbrauch 35
Abbildung 7: Schematische Darstellung der Bereiningung der Aggregate mit hohen Leistungen und geringen Laufzeiten 35
Abbildung 8: Beispielhafte Illustration eines PV-Datenloggers [Quelle: www.fp4all.com] 39
Abbildung 9: Globale Einstrahlung auf eine feste Ebene (W/m2) (http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=de&map=europe) 43
Abbildung 10: Grafische Darstellung der Einstrahlungswerte 44
Abbildung 11: Visualisierung der Gegenüberstellung des PV-ERzeugungsprofils mit dem LASTPROFIL DER Kläranalge - Juni 45
Abbildung 12: Visualisierung der Gegenüberstellung des PV-ERzeugungsprofils mit dem LASTPROFIL DER Kläranalge - Juni 46
Abbildung 13: Beispielhafte Darstellung der Analyse von Häufigkeiten von Überschüssen oder Unterdeckung 47
Abbildung 14: DArstellung der Überschusssituation der Beispielkläranlage 48
Abbildung 15: Darstellung des Handbuch-Aufbaus 49

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorhandene Ausbaukapazitäten der Kläranlagen in Österreich (Stand 31.12.2014) ... 9
Tabelle 2: Grunddaten der Kläranlage 13
Tabelle 3: Relevante Parameter für die abwassertechnische Eigenbewertung [eigene Darstellung] 23
Tabelle 4: Kläranlagenkennzahlen [Darstellung anhand von (Lindtner, 2008)] 24
Tabelle 5: Energiekennzahlen [eigene Darstellung] 30
Tabelle 6: Verbrauchergruppen I Kläranlagen [eigene Darstellung] 30
Tabelle 7: Liste zur Erfassung der Aggregate auf Kläranagen [eigene Darstellung] 31

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
BSB	biochemischer Sauerstoffbedarf
CSB	chemischer Sauerstoffbedarf
d	Tag
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EW	Einwohnerwerte
kWh	Kilowattstunde
TS	Trockensubstanz
oTS	organische Trockensubstanz
PV	Photovoltaik
RS	Reinigungsstufe
W	Watt
ÖWAV	Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
KAN	Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften

1 Einleitung

1.1 Lastverschiebung auf Kläranlagen – Status quo in Österreich

Das Bestreben die Energieversorgung umweltverträglicher zu gestalten hat zu einem starken Ausbau der regenerativen Energieerzeuger in Europa und Österreich geführt. In Österreich spielen hier im kleineren Leistungssegment vor allem PV Anlagen eine wichtige Rolle. Aus diesem Grund finden sich mittlerweile auch auf vielen kommunalen Kläranlagen bereits Photovoltaikanlagen. In der Regel decken diese jedoch nur einen geringen Teil der Grundlast der Abwasserreinigungsanlagen ab, d.h. die minimal durchgängige elektrische Last der Kläranlage. Dies gilt insbesondere dann, wenn die PV-Anlagen ohne einen vertraglich festgelegten erhöhten Einspeisetarif errichtet wurden, da in diesem Fall Kläranlagen-Betreiber eine Überschusseinspeisung von PV-Strom ins Netz vermeiden wollen. Aufgrund der Erzeugungscharakteristik der PV-Einspeisung, führt eine Dimensionierung der PV-Anlage unter Berücksichtigung einer Überschussvermeidung dazu, dass die Erzeugungsanlage nur einen geringen Prozentsatz des Strombedarfs decken kann. Daraus ergibt sich die Frage, in welchem Ausmaß eine Erweiterung der PV-Anlage sinnvoll sein könnte, ohne dass in nennenswertem Umfang Strom eingespeist werden muss.

Bei fast allen kommunalen Kläranlagen wird die biologische Abwasserreinigung heute mittels des Belebungsverfahrens durchgeführt. Das Belebungsverfahren ist ein aerober mikrobiologischer Prozess, in dem zum Abbau der Schadstoffe durch Veratmung Sauerstoff zugeführt werden muss. Dieser Prozess ist sehr energieintensiv. Je nach Kläranlagentyp erfordert die Belüftung der Belebungsbecken zwischen 30 und 70 % des gesamten Strombedarfs der Kläranlage, wobei dieser Anteil bei Kläranlagen ohne Schlammfaulung höher liegt als bei Kläranlagen, bei denen der Energiegehalt des Klärschlamms mittels eines anaeroben Prozesses genutzt wird. In der Belüftung der Belebungsbecken liegt daher ein großes Potenzial für die elektrische Lastverschiebung, insbesondere bei Kläranlagen ohne Schlammfaulung. Im Gegensatz zu anderen Prozessen, wie zum Beispiel der Entwässerung des bei der Abwasserreinigung anfallenden Klärschlamms, kann aber die Belüftung der Belebtschlammsysteme nicht beliebig verschoben werden, da die Gefahr besteht, dass geforderte Ablaufwerte – insbesondere beim Parameter Ammonium-Stickstoff (NH_4-N) – überschritten werden.

Die Ergebnisse vorangehender Studien (Nowak, Schloffer, Lang, & Enderle, 2015) zeigen, dass kommunale Kläranlagen hinsichtlich ihrer Konzeption, ihres Energieverbrauchs und somit auch ihres Lastverschiebungspotenzials nur sehr schwer untereinander verglichen werden können. Ein Lastverschiebungspotenzial, das bei einer Kläranlage ausgemacht wurde, gilt daher nicht universell auch bei anderen Kläranlagen. Dessen ungeachtet können Ähnlichkeiten ausgemacht werden.

1.2 Das Projekt „OptiPV“

Ausgangspunkt für das Leitprojekt der Klima- und Energiemodellregion „Das ökoEnergieland“ war die Tatsache, dass bereits auf vielen Kläranlagen Photovoltaikanalgen installiert werden, um die Grundlast abzudecken. Die Installation von Photovoltaikanlagen auf Kläranlagen ist durchaus ratsam, da Kläranlagen einen großen Energieverbrauch aufweisen, welcher zumindest tagsüber mit dem erzeugten Sonnenstrom abgedeckt werden könnte. Die Photovoltaikanlagen zumeist so dimensioniert, dass aufgrund der Erzeugungscharakteristik so wenig Überschuss wie möglich anfällt. Dies führt jedoch auch dazu, dass die Erzeugungsanlage in Summe nur einen geringen Prozentsatz des Gesamtstrombedarfs decken kann.

Hieraus ergibt sich bereits die erste Einschränkung, dass Photovoltaikanlagen die zur Eigenstromabdeckung errichtet werden, zumeist über keinen Ökostromtarif verfügen und wenn ein Überschuss anfällt dieser nur zu einem geringen Tarif vergütet wird. Daher werden die Anlagen auch so dimensioniert, dass die Produktion der PV-Anlage um die Mittagszeit den Bedarf nicht übersteigt und kein Überschuss ins Netz geht. Dies bedeutet aber, dass zu den restlichen Zeiten die Produktion geringer als die in der Kläranlage auftretenden Lasten ist. Die zweite Einschränkung ergibt sich häufig daraus, dass bei der Planung von Photovoltaikanlagen oft nur die am Kläranlagenstandort befindlichen Dachflächen der Betriebsgebäude berücksichtigt werden.

Im Zuge des Projekts sollte somit herausgefunden werden, wie man die optimale PV-Anlagengröße für bestehende Kläranlagen ermittelt, damit eine maximal mögliche Eigenstromabdeckung erfolgen kann und wie man Lasten von der Nacht auf den Tag verschiebt, damit Überschüsse vermieden werden.

Betrachtungsgebiet waren kleinere Kläranlagen ohne Schlammfaulung mit einer durchschnittlichen Belastung von 400 bis 35.000 EW. Ziel war es reale Lastverschiebungspotentiale der Kläranlagen in der Klima- und Energiemodellregion zu erforschen, sowie eine Aussage bzgl. der optimalen Größe der PV-Analgen am jeweiligen Standort treffen zu können und auch etwaige PV-Ausbaupotentiale zu definieren.

Es wurde angestrebt, Wissen und Erfahrungen über das Lastverschiebungspotenzial von Kläranlagen ohne Schlammfaulung und Gasnutzung in Kombination mit Nutzung von PV-Strom zu erarbeiten.

1.3 Das Praxishandbuch „Leitfaden zur Optimierung der Photovoltaik-Eigenstromnutzung auf Kläranlagen mittels Lastverschiebung“

Ein Ergebnis des Forschungsprojekts ist das nunmehr vorliegende Praxishandbuch „Leitfaden zur Optimierung der Photovoltaik-Eigenstromnutzung auf Kläranlagen mittels Lastverschiebung“. Zielgruppen des Handbuches sind:

- (Ab-)Wasserverbände: Optimierung der PV-Eigenstromnutzung.
- Unternehmens- und Umweltberater, die ihr Beratungsspektrum und –portfolio um das Thema „Lastverschiebung auf Kläranlagen zur Optimierung der PV-Eigenstromnutzung“ erweitern wollen.

Das Handbuch beinhaltet kurz und übersichtlich zusammengefasst das erforderliche Wissen und Know-how, um das Potenzial für Lastverschiebungen auf Kläranlagen ohne Schlammfaulung identifizieren und abschätzen und in weiterer Folge auch im Betrieb realisieren zu können. Das bedeutet, dass neben technischen Fragestellungen auch organisatorische und rechtliche Aspekte berücksichtigt werden.
Die Kapitel des Praxishandbuchs sind aufbauend gestaltet und müssen in der vorliegenden Reihenfolge gelesen und bearbeitet werden.
Anhand von praxiserprobten Fallbeispielen soll die Abwicklung und Umsetzung im Detail vorgestellt werden.

2 Anwendung des Praxishandbuchs

Für die Anwendbarkeit der in diesem Leitfaden beschriebenen Methoden ist es notwendig, eine klare Abgrenzung hinsichtlich der betrachteten Anlagen zu treffen, da eine generelle Klassifizierung im Bereich der Kläranlagen nicht möglich ist. In Hinblick auf die betrachteten Anlagen wurden eine Kategorisierung anhand folgender relevanter Kriterien getroffen:

- Ausbaugröße (Anlagengröße),
- angewandtes Reinigungsverfahren/Verfahrenstechnik (Anlagentyp)

Auch wenn die Abschätzung von Lastverschiebungspotenzialen eine individuelle Betrachtung jeder einzelnen Kläranlage bedarf, so kann eine grobe Klassifizierung anhand dieser Aspekte getroffen werden, wobei für die Verwendung dieses Handbuches zu berücksichtigen ist, dass keine universelle Anwendbarkeit vorliegt.

Das Handbuch ist nur zu verwenden, wenn die zu untersuchende Kläranlage die nachfolgend definierten Charakteristika erfüllt. Für Kläranlagen mit anderen Parametern sind die hier definierten Schritte nicht ohne Weiteres zulässig.

Folgende „Kategorisierung“ wurde aufgrund der betrachteten Anlagen getroffen:

- **Ausbaugröße**

In Österreich sind 93,2 % der Bevölkerung an ein öffentliches Kanalnetz mit kommunaler Kläranlage angeschlossen. Gemäß dem österreichischen Bericht zur Kommunalen Abwasserrichtlinie der EU (Überreiter & et al, 2016) sind derzeit 1.865 Kläranlagen unterschiedlicher Größenklassen mit einer vorhandenen Ausbaukapazität von insgesamt rund 21,8 Mio. EW_{60} in Betrieb (siehe Tabelle 1).

TABELLE 1: VORHANDENE AUSBAUKAPAZITÄTEN DER KLÄRANLAGEN IN ÖSTERREICH (STAND 31.12.2014)

Quelle: (Überreiter & et al, 2016)

Größenklasse (EW)	Anzahl Kläranlagen	% Anteil an der Kläranlagenzahl	Ausbaukapazität (EW_{60})	% Anteil an der Ausbaukapazität
51 - 1.999	1.232	66,1 %	465.362	2,1 %
2.000 - 10.000	368	19,7 %	1.750.001	8,0 %
10.001 - 15.000	45	2,4 %	576.225	2,7 %
15.001 – 150.000	201	10,8 %	8.781.965	40,3 %
> 150.000	18	1,0 %	10.200.867	46,9 %
Summen	**1.865**	**100 %**	**21.774.420**	**100 %**

Da das Handbuch auf Basis der Betrachtungen von fünf Kläranlagen entstanden ist, deren Ausbaugröße zwischen 450 EW und 35.000 EW liegen, ist zu berücksichtigen, dass die weiteren Aussagen nur für Anlagen mit **Größenklassen von 51 – 35.000 EW** Anwendung finden können.

- **Reinigungsverfahren**

Aufgrund der zahlreichen Kombinationen bei den eingesetzten Reinigungsverfahren in Kläranlagen würde eine detaillierte Klassifizierung zu einer unüberschaubaren Vielzahl von Unterteilungen führen. Grundsätzlich ergibt sich hinsichtlich der Reinigungsverfahren folgendes Bild in Österreich.

Der überwiegende Anteil der in Österreich betriebenen kommunalen Kläranlagen sind Belebungsanlagen. Rund die Hälfte aller Kläranlagen nutzen einstufige Belebungsverfahren mit Belebungsbecken, Nachklärbecken und simultaner aerober Stabilisierung. Darüber hinaus wurden 150 Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb (Sequencing-Batch-Reactor = SBR) ausgeführt, welche auch zusätzlich zu einer biologischen Stufe mit Belebungs- und Nachklärbecken zum Einsatz kommen. Das entspricht einem Anteil von 16 % aller beim ÖWAV-KAN-Leistungsvergleich[1] erfassten Abwasserreinigungsanlagen.

Die Aussagen des zugrundeliegenden Handbuchs beschränken sich wiederum aufgrund der betrachteten Anlagen auf die in Abbildung 1 gelb eingerahmten Reinigungsverfahren.

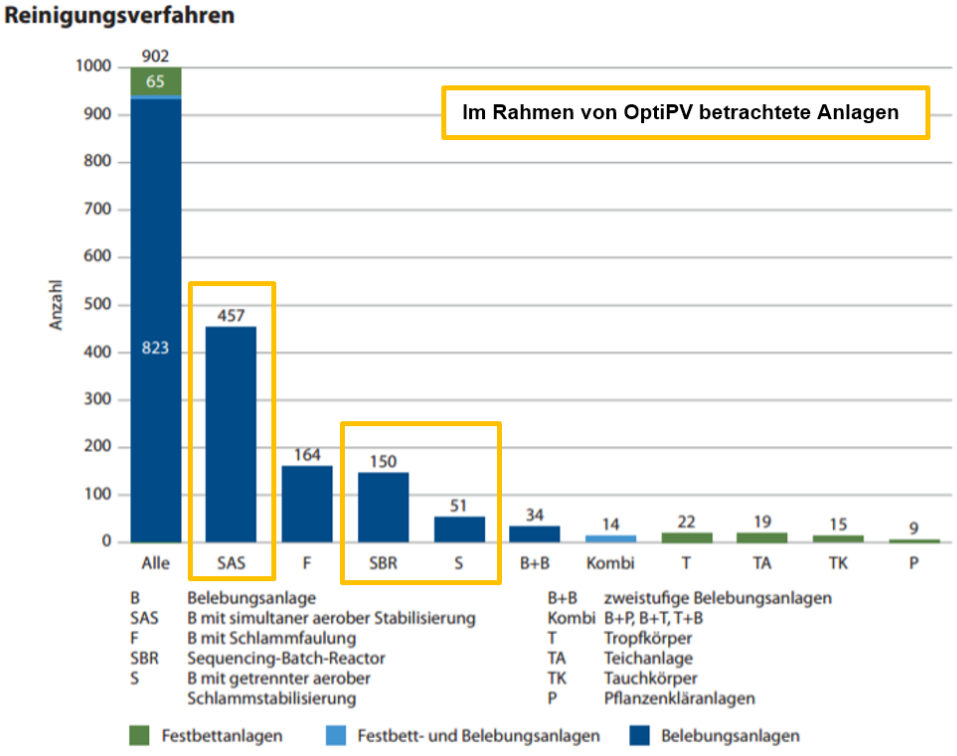


ABBILDUNG 1: EINGESETZTE REINIGUNGSVERFAHREN KOMMUNALER KLÄRANLAGEN

Quelle: (Assmann & et al, 2015)

[1] *KAN…Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften im Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaftsverband*

3 Abschätzung von Potenzialen zur Lastverschiebung

Der nachfolgend beschriebene Prozess soll für Kläranlagenbetreiber als Hilfe dienen, Abschätzungen hinsichtlich der Möglichkeiten zur Steigerung der Photovoltaik-Eigenstromnutzung auf Kläranlagen mittels Lastverschiebung zu ermitteln. Dazu ist es erforderlich eine umfassende Analyse der Gesamtkläranlage vorzunehmen, deren Erarbeitung in vier Schritten erfolgen sollte:

Schritt 1: Allgemeine Kläranlagenbeschreibung und Kategorisierung der Anlage

Anhand einer allgemeinen Kläranlagenbeschreibung soll in einem ersten Schritt abgeschätzt werden, ob die Anlage der im Leitfaden getroffenen Kategorisierung entspricht und die erarbeiteten Methoden dementsprechend zur Anwendung kommen können. Auf Basis der Anlagenbeschreibung kann hinsichtlich der installierten Aggregate eine erste Abschätzung erfolgen.

Schritt 2: Abwassertechnische Eigenbewertung

Berechnung der wesentlichen Anlagenkennzahlen, wie etwa der Anlagenbelastung inkl. Plausibilitätsprüfung. Bei Unsicherheiten hinsichtlich der Belastungssituation sollte ein Experte kontaktiert werden.

Schritt 3: Energetische Analyse

Hier gilt es die Aggregate (Verbraucher) der Anlage sowie deren Energieverbrauch zu erfassen. Neben dem Verbrauch wird auch die Energiebereitstellung (durch Photovoltaik) betrachtet.

Schritt 4: Potenzialabschätzung

Durch die Gegenüberstellung und des Abgleichs der Lastgänge (Verbrauch der Kläranlage und PV-Erzeugung), soll die Basis für Lastverschiebungsbetrachtungen geschaffen werden.

Zusätzlich zum Lastverschiebungspotenzial soll das zusätzliche Ausbaupotenzial an PV-Erzeugung für die Kläranlage erfolgen.

Die einzelnen Teilbereiche werden in den nachfolgenden Abschnitten im Detail behandelt. Eine zusammenfassende grafische Darstellung aller Einzelschritte ist in Abbildung 2 dargestellt.

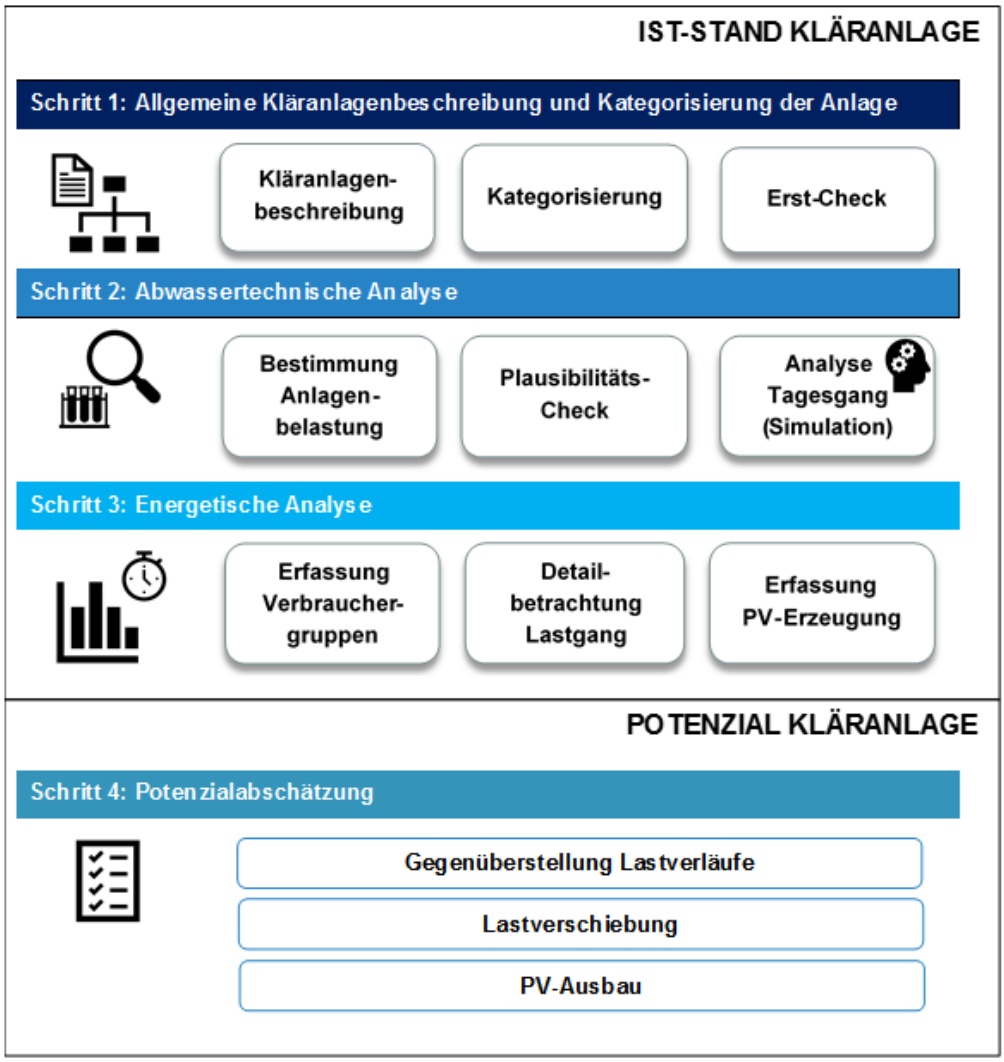


ABBILDUNG 2: ABLAUF ZUR ERMITTLUNG DER POTENZIALE ZUR OPTIMIERUNG DER PHOTOVOLTAIK-EIGENSTROMNUTZUNG
[EIGENE DARSTELLUNG]

3.1 Schritt 1: Allgemeine Kläranlagenbeschreibung und Kategorisierung der Anlage

Die allgemeine Kläranlagenbeschreibung soll einerseits einen Überblick über den Kläranlagenbetrieb und die Anlage geben, und andererseits jene Betriebsdaten beinhalten, die für die weiteren Betrachtungen benötigt werden. Mit Hilfe dieser Informationen soll es möglich sein, einen groben Erst-Check in Hinblick auf theoretische Lastverschiebungspotentiale durchführen zu können. Es gilt also zunächst die wichtigsten Parameter der Anlage zu identifizieren und diese anhand von Tabelle 2 strukturiert zu dokumentiere.

Kläranlagen die Teil des ÖWAV-KAN sind, können diese Informationen aus dem aktuellen Kläranlagenzustandsbericht entnehmen (wird jährlich erstellt). Als weitere Datenquellen können die Betriebsprotokolle (Monats- und Jahresprotokolle) herangezogen werden.

TABELLE 2: GRUNDDATEN DER KLÄRANLAGE
[eigene Darstellung]

KLÄRANLAGENBESCHREIBUNG		
Anlagenname		
Betreiber		
Jahr der Inbetriebnahme der letzten Ausbaustufe		
Ausbaugröße	*Einwohnerwert (EW)*[2]	
angewendetes Reinigungsverfahren		
Zykluszeiten (bei SBR-Anlagen)		
Vorhandene Anlagenteile	*Name*	*Typ / Charakteristika*
Mechanische Vorreinigung	Zulaufpumpwerk	
	Rechen	
	Sandfang	
Biologische Abwasserreinigung	Belebungsbecken	*z.B. Anzahl, Volumen, etc.*
	Umwälzung Belebungsbecken	
	Rücklaufschlammpumpen	
	Belüftung	*z.B. Oberflächenbelüfter, etc.*
	…	
Schlammbehandlung	(Maschinelle) Schlammeindickung	
	Schlammentwässerung	
	…	

Anhand der in Kapitel 2 erläuterten Anwendungskriterien kann nun in weiterer Folge abgeklärt werden, ob die gewählte Anlage für weitere Betrachtungen in Frage kommt. Hierzu kann der in Abbildung 3 dargestellt Entscheidungsbaum verwendet werden.

[2] *Der Einwohnerwert (EW) ist ein Vergleichswert für die in Abwässern enthaltenen Schmutzfrachten. Mit Hilfe des Einwohnerwertes lässt sich die Belastung einer Kläranlage ausdrücken. Dabei handelt es sich um die Summe aus den tatsächlichen EinwohnerInnen (EZ) und den Einwohnergleichwerten (EGW).*

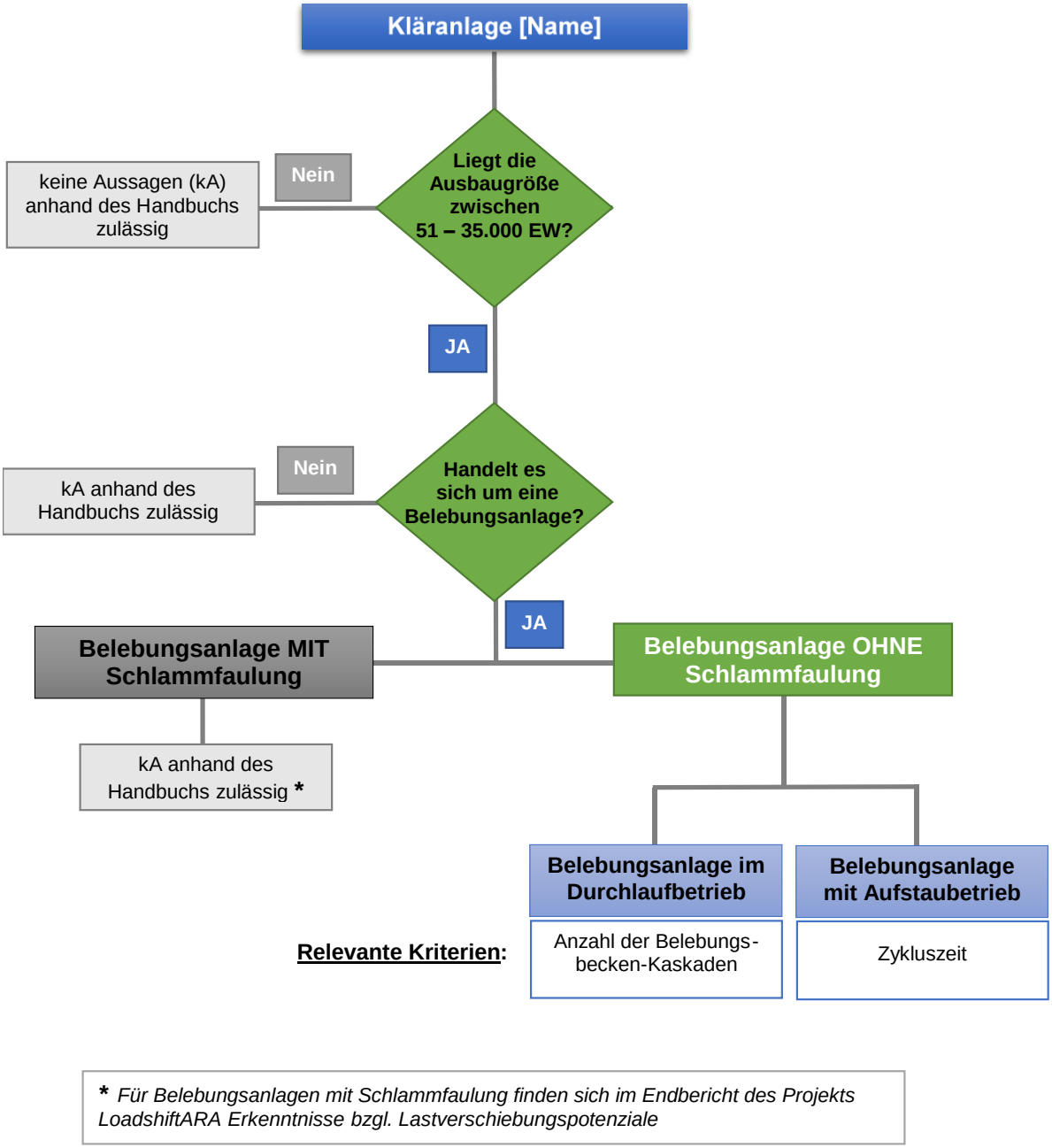


ABBILDUNG 3: ENTSCHEIDUNGSBAUM ZUR ANWENUND DES LEITFADENS *[EIGENE DARSTELLUNG]*

Belebungsanlagen ohne Schlammfaulung sind grundsätzlich gut für elektrische Lastverschiebung geeignet. Dies gilt insbesondere für die Belüftung der biologischen Stufe, zumal bei diesen Anlagen das spezifische Volumen des Belebungsbeckens systembedingt relativ groß ist. Die Belüftung der

biologischen Stufe, d.h. des Belebungsbeckens, trägt bei diesen Kläranlagen zu rund 60 % zum Stromverbrauch der Kläranlage bei.

Hinsichtlich der Eignung zur Lastverschiebung gibt es bei diesen Kläranlagen lediglich zwei Einschränkungen:

- Belebungsanlagen mit Aufstaubetrieb, sogenannten SBR-Anlagen, bei denen die Zykluszeit nur bei etwa 6 Stunden liegt. Hier ist es systembedingt nicht möglich den Energieverbrauch im Tagesverlauf wesentlich zu verschieben.
- Falls betriebliche Schwierigkeiten, vor allem in Hinblick auf eine ungenügende Reinigungsleistung auftreten, ist davon abzuraten Lastverschiebung anzustreben. Hier hat die gesicherte stabile Reinigungsleistung jedenfalls Vorrang!

Sofern die Anlage der definierten Klassifizierung entspricht und keine der zuvor genannten Einschränkungen vorliegt, kann in einem nächsten Schritt ein **Erst-Check der Möglichkeiten der Lastverschiebung** auf Basis der installierten Anlagenteile erfolgen.

Hinsichtlich der in Tabelle 2 gelisteten Grunddaten der Anlage und der vorhandenen Aggregate sind folgende Aussagen für eine grundsätzliche Abschätzung von Lastverschiebungspotenzialen zulässig (Nowak, Schloffer, Lang, & Enderle, 2015):

Aggregate	Möglichkeiten der Lastverschiebung	Anmerkungen
MECHANISCHE VORREINIGUNG Allgemein ist zu sagen, dass Rechen und Vorklärbecken aus energetischer Sicht von untergeordneter Bedeutung sind.		
Zulaufpumpwerk (Abwasserhebewerk)	kurzfristiges Abstellen erscheint möglich	Die Möglichkeit der Abschaltung ist stark abhängig vom vorgelagerten Zulaufkanal zur Kläranlage. Ob ein längerfristiges Ausschalten der Zulaufpumpen möglich ist, ist von der örtlichen Situation abhängig und muss im Einzelfall überprüft werden. Auf jeden Fall ist bei Regenwetter ein Abstellen der Zulaufpumpen nicht möglich!
Sandfang	Abschaltung ist im Allgemeinen nicht zulässig	Lediglich wenn der Sandfang relativ knapp bemessen ist (Aufenthaltszeit bei Mischwasser-zufluss um bzw. unter 5 min.), kann und sollte

		sogar die Belüftung des Sandfangs im Regenwetterfall abgestellt werden. Beim Betriebe des Sandfanggebläses sollte mittels Frequenzumformer die optimale Strömung so eigenstellt werden, dass es weder zum Absetzen organischer Stoffe noch zu einem Ausschwemmen der mineralischen Stoffe („Sand“) kommt. In der Praxis wurde beobachtet, dass, falls die Belüftung des Sandfangs zu stark reduziert wird, fast kein Fett mehr im Fettfang zurückgehalten wird, ein Effekt den es zu verhindern gilt.
Rechen und Vorklärbecken	-	Allgemein ist zu sagen, dass Rechen und Vorklärbecken aus energetischer Sicht von untergeordneter Bedeutung sind.
BIOLOGISCHE ABWASSERREINIGUNG: Die wesentlichsten Stromverbraucher bei der biologischen Abwasserreinigung sind jene Aggregate, die zur Belüftung der Belebungsbecken dienen, gefolgt von den Umwälzeinrichtungen im Belebungsbecken (insbesondere bei Kläranlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung). Für die Lastverschiebungen in kommunalen Kläranlagen ist hier also besonderes Augenmerk auf die maschinellen Einrichtungen zur Belüftung und Umwälzung der Belebungsbecken zu legen.		
Belebungsbecken - Belüftung	Abschaltung im Trockenwetterfall (!) grundsätzlich möglich.	Die Wesentliche Frage ist hier, wie lange die Belüftung der Belebungsbecken abgestellt werden kann, ohne dass es zu Einbußen in der Reinigungsleistung bzw. zur Verletzung von Grenzwerten kommt. Diesbezüglich gibt es sehr unterschiedliche Meinungen, wobei die meisten Anlagenbetreiber der Meinung sind, dass bei sonst stabilem Betrieb im Trockenwetterfall (!) die Belüftung für 1 bis 2 Stunden ausgeschaltet werden kann. Es gibt dazu allerdings – abgesehen von Situationen mit hohen Belastungen, insbesondere am Beginn eines Mischwasserereignisses – einige Ausnahmen: (1) Belebungsanlagen mit vorgeschalteter Denitrifikation, bei denen systembedingt in den Nitrifikationsbecken die Belüftung nicht abgestellt werden kann.

		(2) Belebungsbecken, die in einer Straße nur aus einer Kaskade bestehen; d.h. wenn nicht mehrere Becken in Folge durchflossen werden. (3) Wenn die NH4-N-Konzentration zu dem Zeitpunkt, bei dem die Belüftung abgestellt werden soll, nicht ausreichend gering ist3. Es muss bei den Betrachtungen der Abschaltbarkeit bzw. der Verschiebung der Einsatzdauern auch auf die Betriebseigenschaften der Aggregate selbst Rücksicht genommen werden. Gängige Drehkolbenverdichter sowie Oberflächenbelüfter (Mammutrotoren) können hinsichtlich Abnutzung unbedenklich zu- und wieder abgeschaltet werden. Dennoch sollte die Schalthäufigkeit beachtet und nicht beliebig erhöht werden. Im Vergleich dazu kritisch stellt sich die Situation für luft- bzw. magnetgelagerte Turboverdichter dar. Hier ist ein Abschalten nur in Ausnahmefällen möglich. Für diese Aggregate ist ein „Durchlaufbetrieb“ anzustreben. Möglich wäre es hier, bei Vorhandensein mehrerer Becken, die Luftzufuhr zwischen den einzelnen Becken zu wechseln. Beim Schalten dieser Aggregate ist darauf zu achten, dass der O2-Gehalt in den belüfteten Beckenzonen bzw. Phasen nicht unter 0,8 mg/L liegt, da sonst die Gefahr einer Nitritanreicherung besteht. Dies ist insbesondere der Fall für knappe Belebungsbeckenvolumen, d.h. wenn das Schlammalter gerade noch ausreicht, um vollständige Nitrifikation sicherzustellen. Bei sehr schwach belasteten Belebungsanlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung besteht vermutlich die Möglichkeit die Belüftung

[3] *Was unter „ausreichend gering“ zu verstehen ist, hängt von der örtlichen Situation der jeweiligen Kläranlage ab; die NH4-N-Konzentration muss jedenfalls unter 1 mg/L liegen, um die Belüftung für einen längeren Zeitraum abstellen zu können.*

		über lange Zeiträume während der Nachtstunden abzustellen.
Belebungsbecken – Umwälzung (Rührwerk)	Abstellen ist bei den meisten Belebungs-becken während der Belüftungsphase möglich	Einzige Ausnahme hierzu sind die Umlaufbecken, die nur auf einer Seite mit einer Druckbelüftung ausgerüstet sind, sowie bei Umlaufbecken bei denen der Ablauf nahe dem Zulauf angeordnet ist. Kommt es durch das Abstellen der Rührwerke über einen längeren Zeitraum (mehrere Stunden) zu einem Absetzen des Belebtschlamms, ist davon auszugehen, dass bei Wiederinbetriebnahme der Belebtschlamm problemlos wieder in Schwebe gebracht werden kann. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass durch das Entmischen von Abwasser und Belebtschlamm (ab ca. 10 – 15 min Stillstandzeit) sich der Belebtschlamm abzusetzen beginnt und die mikrobiologische Aktivität weitestgehend zum Erliegen kommt. Das lässt sich damit begründen, dass die Mikroorganismen, die für die biologische Reinigung verantwortlich sind, nicht mehr an die im Abwasser gelösten Substrate gelangen. Alternativ zur Umwälzung mittels Rührwerken besteht ebenfalls die Möglichkeit, den Belebtschlamm durch Stoßbelüftung in Schwebe zu bringen. Dabei wird eine rasche Luftzufuhr – Auflüften – alle 20 Minuten für eine Dauer von etwa 1 bis 2 Minuten durchgeführt. Wie auch bereits bei den Belüftungen erwähnt, ist auch hier auf Abnützungserscheinungen der Aggregatsteile zu achten. Abhängig von der Beckenkonfiguration kann es durch zu häufiges Zu- und Abstellen zu nennenswerten Verschleißerscheinungen an den Halterungen bzw. Verankerungen kommen. Dieses Problem kann vermieden werden, wenn die Rührwerke mit einem so genannten „Sanftanlauf“ ausgestattet sind.

Belebungsbecken - Rücklaufschlammpumpen	Abschaltung für kurze Zeit nur dann möglich, wenn wenig Zulauf vorliegt bzw. der Zulauf ebenfalls abgeschaltet ist.	Als problemlose Dauer werden hier 1 bis 2 Stunden angesehen. Eine längerfristige Abschaltung der Pumpe ist von der Größe des Belebungsbeckens abhängig und ist für jede einzelne Kläranlage separat zu betrachten. Bei kleineren Vorbecken (Selektor oder kleines Denitrifikationsbecken) ist ein Abstellen der Rücklaufschlamm-Pumpen, falls gleichzeitig Abwasser dem Belebungsbecken zufließt, problematisch, weil der TS-Gehalt in dieser kleinen Belebungsbecken-Kaskade dann zu sehr abfällt. Generell ist bei der Rücklaufschlamm-Förderung darauf zu achten, dass die TS-Konzentration im Belebungsbecken weitgehend konstant bleibt, ebenso wie der Schlammspiegel (die Höhe des Schlammbetts) im Nachklärbecken.
SCHLAMMBEHANDLUNG		
Maschinelle Überschussschlamm-Eindickung (MÜSE)	Ein Abstellen der MÜSE ist grundsätzlich möglich, sollte aber nicht öfter als einmal am Tag erfolgen. Bei ausreichender Kapazität der MÜSE kann diese z.B. für einen halben Tag abgestellt werden.	Bei der maschinellen Überschussschlamm-Eindickung liegen zwar geringe Potentiale für Lastverschiebungen, aufgrund des geringen Energieverbrauchs, vor, aber diese sind auf keinen Fall zu vernachlässigen. Das tatsächliche Potential für die Lastverschiebungen ist im Wesentlichen von der Kapazität der Aggregate in Relation zur Überschussschlammanfall abhängig ist. Weitere Einfluss-faktoren auf die Kapazität der maschinellen Überschussschlamm-Eindickung ist der Schlammindex.
Schlammentwässerung	Bei der maschinellen Schlammentwässerung ist hinsichtlich der Möglichkeiten und Dauer des Abstellens zwischen den 3 derzeit gängigsten Typen zu unterscheiden: Schneckenpresse, Zentrifuge, Kammerfilterpresse.	
<u>Schneckenpresse</u>	Stillstände für mehrere Stunden sind grundsätzlich möglich, allerdings kann das Abstellen nicht kurzfristig erfolgen	Bei der Schneckenpresse dauert der Anfahrbetrieb mit zwei bis drei Stunden relativ lange. Das gleiche gilt für das Abstellen der Anlage.

		Das nochmalige Abstellen und Anfahren der Anlage dauert in etwa 15 bis 30 Minuten. Der Energieverbrauch ist bei diesem Aggregat allerdings vergleichsweise gering.
Zentrifuge (Dekanter)	Ein kurzfristiges Abschalten ist auch hier nicht möglich, da das „Abfahrprogramm“ etwa eine halbe Stunde dauert. Die Zentrifuge ist daher auch nur längerfristig zu- und abschaltbar.	Die Zentrifuge (Dekanter) weist im Allgemeinen einen nennenswerten Energieverbrauch auf. Wie die Schneckenpresse wird die Zentrifuge kontinuierlich betrieben. Ein kurzfristiges Abschalten ist auch hier nicht möglich, da das „Abfahrprogramm“ etwa eine halbe Stunde dauert.
Kammerfilterpresse	Abstellen der Beschickungspumpen beim Befüllen ist möglich	Die Kammerfilterpresse wird diskontinuierlich betrieben. Sie wird befüllt und entleert. Beim Füllvorgang können die Beschickungspumpen für einen Zeitraum von bis zu zwei Stunden abgestellt werden. Es wurde die Erfahrung gemacht, dass sich bei einer längeren Dauer des Abstellens der Beschickungspumpen an den Außenflächen des Schlammkuchens eine feste Schicht bildet, die das Austreten des Schlammwassers aus dem Inneren des Schlammkuchens unterbindet, was zu einem sehr schlechteren Entwässerungsergebnis führt.

Zusammenfassung

Im Kläranlagenbetrieb stehen Aggregate zur Verfügung, die unter Berücksichtigung der jeweiligen betrieblichen Rahmenbedingungen für Maßnahmen der Lastverschiebung in Betracht gezogen werden können.

Die Höhe des Potenzials ist jedoch starken Schwankungen unterlegen und hängt maßgeblich von den betrieblichen Gegebenheiten ab. Dabei sind die wesentlichen Einflussfaktoren

- der Anlagentyp,
- die maschinelle Ausstattung und
- die tatsächlichen Belastungssituationen.

Sowohl ein kurzzeitiges abstellen (< 15 min) als auch die längerfristige Abschaltung einzelner Aggregate (2 – 3 Std.) erscheint möglich. Ein daraus resultierendes Lastverschiebungspotenzial ist von Anlage zu Anlage individuell zu erfassen und hinsichtlich einer effektiven Nutzbarmachung zu evaluieren.

Bevor konkrete Schritte und Maßnahmen hinsichtlich Lastverschiebungen geplant werden, sind folgende Punkte auf jeden Fall zu beachten:

(1) Es ist sicherzustellen, dass die gemessene Anlagenbelastung der Realität entspricht und
(2) dass eine detaillierte Energieanalyse der Kläranlage vorliegt bzw. durchgeführt wird.

Die nächsten Schritte zur Bestimmung tatsächlicher Lastverschiebungspotentiale liegen somit in einer Detailbetrachtung der abwassertechnischen und energetischen Gegebenheiten der Kläranlage.

3.2 Schritt 2: Abwassertechnische Eigenbewertung

Anforderungen an die Reinigungsleistung kommunaler Kläranlagen sind grundsätzlich in der Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete (1. AEV für kommunales Abwasser), BGBl. Nr. 210/1996, festgelegt. Mit dieser Verordnung wurden die EU-Richtlinien 91/271/EWG über die Behandlung von kommunalem Abwasser in österreichisches Recht übernommen. Die maßgeblichen Parameter zur Beurteilung der Reinigungsleistung von kommunalen Kläranlagen sind (Lebensministerium, 2015):

- Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB): Zum Abbau organischer Verschmutzungen im Abwasser wird Sauerstoff benötigt. Bakterien und anderen Kleinstlebewesen im Wasser bauen die organischen, d.h. Kohlenstoff enthaltenden Stoffe wie z.B. Fette, Eiweiß, Kohlehydrate und Alkohole ab. Der BSB ist somit ein indirektes Maß für die Summe aller biologisch abbaubaren organischen Stoffe im Wasser. In der Regel wird der BSB_5, d.h. jene Sauerstoffmenge, die in 5 Tagen verbraucht wird, herangezogen.

- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB): Der CSB-Wert gibt die Menge an Sauerstoff an, die benötigt wird um alle im Wasser enthaltenen organischen Verbindungen, einschließlich der schwer abbaubaren, (z.B. Pflanzenschutzmittel) und einige anorganische Stoffe durch chemische Oxidation abzubauen. Der Abbau erfolgt dabei nicht über Bakterien, sondern mit Hilfe eines Oxidationsmittels, das die Stoffe chemisch zerlegt. Der CSB-Wert wird in der Regel in Milli-gramm pro Liter (mg/l) angegeben.
- Gesamtstickstoff (N_{ges}) und Gesamtphosphor (P_{ges}): Drücken die Belastung des Abwassers mit Pflanzennährstoffen aus

Hinsichtlich dieser Parameter bestehen folgende Anforderungen entsprechend EU-Richtlinie 91/271/EWG (Assmann & et al, 2015):

- Gemäß 1. AEV für kommunales Abwasser müssen Kläranlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 1.000 Einwohnerwerten Mindestwirkungsgrade in der Höhe von 85 % in Bezug auf den CSB und 95 % beim BSB_5 erfüllen.
- Bei den Nährstoffen Stickstoff und Phosphor ergeben sich für alle österreichischen Kläranlagen Entfernungsraten von 80 % bei N_{ges} und 90 % bei P_{ges}.

3.2.1 Bestimmung der Anlagenbelastung

Das Hauptziel der abwassertechnischen Analyse ist die Überprüfung (Verifikation) der messtechnisch bestimmten Anlagenbelastung.

Die Grundlage für die abwassertechnische Eigenbewertung bilden die Betriebsprotokolle der Kläranlagen. Das ÖWAV Regelblatt R13 ist ein Dokument zur österreichweit einheitlichen Erfassung der Betriebsdaten von kommunalen Kläranlagen[4]. Anhand dieser können die relevanten Daten der Kläranlage bestimmt werden (siehe Tabelle 3). Der Betrachtungszeitraum sollte ein Jahr sein und die Angaben beziehen sich auf die Tagesmittelwerte des Untersuchungsjahres.

Die Daten können zum einen aus den Betriebsprotokollen (Eigenüberwachung) als auch aus den Fremdüberwachsungsberichten, die von den jeweiligen Landesstellen jährlich erstellt werden, bezogen werden.

[4] *Gegenüber der Behörde besteht die Verpflichtung, Betriebsprotokolle regelmäßig an diese zu übermitteln oder zumindest auf Verlangen bei Überprüfungen vor Ort Einsicht zu gewähren. Das ordnungsgemäße und vollständige Führen der Betriebsprotokolle ist somit auch eine rechtliche Verpflichtung.*

TABELLE 3: RELEVANTE PARAMETER FÜR DIE ABWASSERTECHNISCHE EIGENBEWERTUNG *[EIGENE DARSTELLUNG]*

Betriebsdaten	Einheit
Abwassermenge Zulauf	m³/d
Angeschlossene Einwohner	$E_{Angeschlossen}$
CSB-Zulauffracht	kg/d
CSB-Fracht Zulauf Biologie	kg/d
BSB_5-Zulauffracht	kg/d
N_{ges}-Zulauffracht	kg/d
NH_4-N-Zulauffracht	kg/d
$P_{ges.}$-Zulauffracht	kg/d
CSB-Ablaufkonzentration	mg/l
BSB_5-Ablaufkonzentration	mg/l
N_{ges}-Ablaufkonzentration	mg/l
NH_4-N-Ablaufkonzentration	mg/l
$P_{ges.}$-Ablaufkonzentration	mg/l
Belebungsbeckenvolumen gesamt	m³
- davon belüftet - davon gerührt	m³ m³

Die aufgezeigten Daten stehen in der Regel auch bei kleineren Kläranlagen aus der Eigenüberwachung zur Verfügung. Aus diesen Daten kann die Zulaufbelastung der Kläranlage im Jahresmittel EW_{60} und EW_{120} abgeleitet werden. Diese berechnen sich wie folgt

$$EW_{120} = \text{CSB-Zulauffracht [kg/d]} / 0{,}12 \text{ [kg/E/d]} \quad (1)$$

$$EW_{60} = BSB_5\text{-Zulauffracht [kg/d]} / 0{,}06 \text{ [kg/E/d]} \quad (2)$$

$$\text{EW-Faulschlamm-oTS}_{22} (EW_{oTS22}) = \text{oTS-Faulschlammfracht [kg/d]} / 0{,}022 \text{ [kg/E/d]} \quad (3)$$

Anmerkung: Der Einwohnerwert wird aus der anfallenden oTS-Schlammfracht errechnet. Bei typischen kommunalen Anlagen Fallen je Einwohner in etwa 22 g/Tag an.

Weiters können die in Tabelle 4 dargestellten Kläranlagenkennzahlen berechnet werden. Die Kennzahlen gliedern sich in Verhältniszahlen und in Kennzahlen, die etwas über den Schlammanfall aussagen.

TABELLE 4: KLÄRANLAGENKENNZAHLEN *[DARSTELLUNG ANHAND VON* **(LINDTNER, 2008)***]*

Kläranlagenkennzahlen		Normalbereich	
N/CSB	-	0,07	0,1
BSB/CSB	-	0,4	0,6
Spez. TS-Fracht stabiler Schlamm	g TS/EW_{120}/d	35	50
Spez.-oTS-Fracht Faulschlamm	g oTS/EW_{120}/d	20	30
Spez.-TS-Fracht aerob stab. Schlamm	g TS/EW_{120}/d	40	60
Spez.-oTS-Fracht aerob stab. Schlamm	g oTS/EW_{120}/d	25	35

Um offensichtliche Abweichungen sowie saisonale Schwankungen zu erkennen, ist es bei der Auswertung der Daten aus der Eigenüberwachung sinnvoll die Monatsmittelwerte der Belastung an CSB, Gesamt-Stickstoff und Gesamt-Phosphor, allenfalls auch an BSB_5 miteinander zu vergleichen.

Anzumerken ist hier, dass eine Auswertung der Monatsmittelwerte nur dann zu belastbaren Ergebnissen kommen kann, wenn zumindest zwei Analysen pro Woche vorgenommen werden. Andernfalls können einzelne Ausreißer bei den Messwerten bereits zu wesentlichen, nicht begründbaren Verschiebungen führen.

Möglichen Fehlerquellen bei der Analyse der Belastung der Kläranlage können wie folgt zusammengefasst werden:

- Falsche / ungenaue Erfassung der Abwassermengen (des Abwasserzuflusses)
- Falscher Ort oder falsche Anordnung der Probenahme (d.h. des automatischen Probenehmers), wodurch zu viele oder zu wenige Feststoffe miterfasst werden
- Fehler bei der chemischen Analytik

Mit einer Vergleichsanalytik bzw. mit so genannten Ringtests werden nur Fehler bei der Analytik festgestellt. Erfahrungsgemäß werden jedoch auch bei der Mengenmessung und insbesondere bei der Probenahme sehr häufig systematische Fehler gemacht.

Weil die „Belastung“ einer kommunalen Kläranlage, ausgedrückt in Einwohnerwerten (EW), stets aus den Zulauf-Frachten (in kg/d) und diese wiederum aus der Konzentration [eines Stoffes] (in mg/L) und der Abwassermenge (in m³/d) ermittelt wird, können sich Fehler bei Mengenmessung und Probenahme allenfalls sogar aufaddieren.

Die Erfahrung zeigt, dass bei kleineren bis mittelgroßen Kläranlagen eine Genauigkeit von ± 20 % bei der Anlagenbelastung bereits als relativ zufriedenstellend betrachtet werden kann.

Aufgrund dieser Fehlerquellen ist es erforderlich eine Plausibilitätsprüfung der Werte vorzunehmen.

3.2.2 Plausibilitätsprüfung / Verifikation der Anlagenbelastung

Grundsätzlich gibt es drei Parameter, anhand derer die messtechnisch erfasste Anlagenbelastung auf ihre Plausibilität überprüft werden kann:

(1) EW-spezifische Fracht an organischer Trockensubstanz im stabilisierten Klärschlamm

(2) die Denitrifikationskapazität der Kläranlage als das Verhältnis Nitratatmung OVD zu gesamter Kohlenstoffatmung OVC

(3) der spezifische Energieverbrauch für die Belüftung des Belebungsbeckens

Bei Kläranlagen ohne Schlammfaulung fällt jedenfalls der zweite, oben angeführte Parameter, die Denitrifikationskapazität (ausgedrückt als OVD/OVC) weg, zumal diese Kläranlagen ohne Vorklärung betrieben werden und folglich ausreichend organischer Kohlenstoff für die Denitrifikation im Belebungsbecken vorhanden ist. Somit ist die Denitrifikation in der biologischen Reinigungsstufe nicht limitiert und daher kann ihre Kapazität auch nicht anhand der Betriebsergebnisse der Kläranlage ausgelotet werden.

Die Anwendung des spezifischen Energieverbrauchs für die Belüftung des Belebungsbeckens erfordert einiges an Erfahrung und ist auch bei größeren Kläranlagen mit Schlammfaulung leichter und konsistenter anwendbar, als bei kleineren bis mittelgroßen Kläranlagen ohne Schlammfaulung.

Somit bleibt als möglicher Parameter für die Plausibilitätsprüfung der spezifische oTS-Anfall, die EW-spezifische Fracht an organischer Trockensubstanz im Klärschlamm. Von weitestgehend Klärschlamm aus einer Schlammfaulungsanlage bzw. nach getrennter aerober Schlammstabilisierung hat sich aus der Erfahrung von zahlreichen Kläranlagen gezeigt, dass im ausstabilisierten Schlamm mit rund 20 g an organischer Trockensubstanz je Einwohnerwert und Tag zu rechnen ist – bezogen auf eine spezifische Zulauffracht von 120 g CSB je EW und Tag. Bei Untersuchungen an zahlreichen Kläranlagen hat sich dieser Wert stets zu 20 g oTS/ (EW120.d) ± 10 % ergeben.

Nun besteht das Problem darin, dass die meisten Kläranlagen ohne Schlammfaulung Belebungsanlagen mit sogenannter gleichzeitiger oder simultaner aerober Schlammstabilisierung sind. Von diesen Anlagen ist bekannt, dass der Klärschlamm in der Regel nicht sehr weitgehend stabilisiert ist.

Umfangreiche Untersuchungen, die seit den 1990er-Jahren durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass es bei Kläranlagen mit simultaner aerober Schlammstabilisierung einen Zusammenhang zwischen dem so genannten „Vergleichsschlammalter“ und der spezifischen Fracht an organischer Trockensubstanz im Überschussschlamm (in g oTS/(EW.d)) gibt. Das heißt, es muss zunächst das Schlammalter, die Aufenthaltszeit der Feststoffe im biologischen Reaktor (Belebungsbecken), bekannt sein.

Dabei berechnet man das Vergleichsschlammalter ($t_{TS,v}$) nach folgender Formel:

$$t_{TS,v} = t_{TS} \cdot 1{,}072^{(T_{BB} - 15)} \quad [d] \quad (3)$$

mit: t_{TS} ..... Schlammalter im Belebungsbecken [d]
T_{BB} ..... Temperatur im Belebungsbecken [°C]

Die folgende Abbildung 4 zeigt, mit welchem Schlammanfall in g oTS/(EW.d) in Abhängigkeit vom „Vergleichsschlammalter“ zu rechnen ist. Bei kleinen Kläranlagen wird die organische Trockensubstanz im Belebtschlamm üblicherweise nicht bestimmt. Dieser Wert ist aber aus den Klärschlamm-Gutachten bekannt, die jedenfalls erstellt werden müssen, wenn der Klärschlamm landwirtschaftlich verwertet wird. Bei kleineren Kläranlagen sollte diese Auswertungen jedenfalls über ein Kalenderjahr erstellt werden.

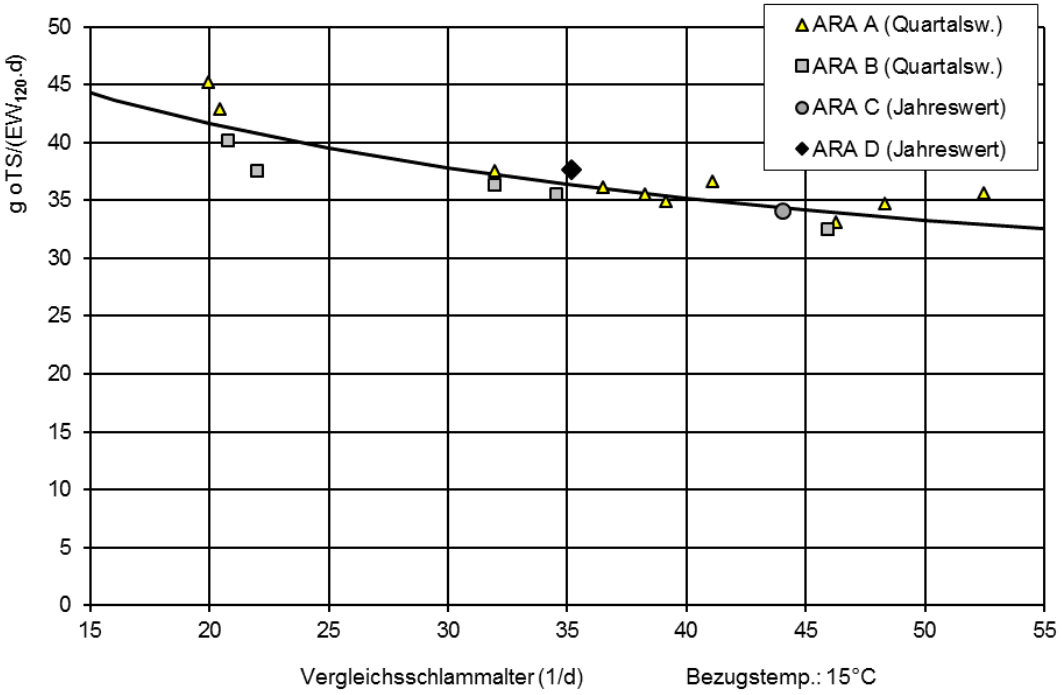


ABBILDUNG 4: SPEZIFISCHE FRACHT AN ORGANISCHER TROCKENSUBSTANZ IM KLÄRSCHLAMM VON BELEBUNGSANLAGEN MIT „SIMULTANER AEROBER SCHLAMMSTABILISIERUNG“ *[EIGENE DARSTELLUNG]*

3.2.3 Verifikation des Tagesgangs der Anlagenbelastung

Neben der abwassertechnischen Eigenbewertung auf Basis der dargestellten Parameter, soll im Handbuch auch die Verifikation des Tagesgangs der Kläranlagenbelastung anhand praktischer Tests angeführt werden. Grund dafür ist, dass die Erfassung dieses Tagesgangs eine Datenbasis für ein Berechnungsmodell liefert, in dem sich einerseits die Betriebsdaten der Kläranlage verifizieren und andererseits eine dynamische Simulation durchführen lässt.

Zur Bestimmung des Tagesgangs der Kläranlagenbelastung ist es notwendig an drei hintereinander folgenden Tagen Zulaufmischproben im 6-Stunden-Intervall der CSB sowie der Gesamt-Stickstoff-Konzentration zu erfassen und zusätzlich eine Gesamt-Tagesmischprobe des Zulaufs des Nitrat-Stickstoffs (NO_3-N). Diese Werte können dann in einer Grafik dargestellt werden:

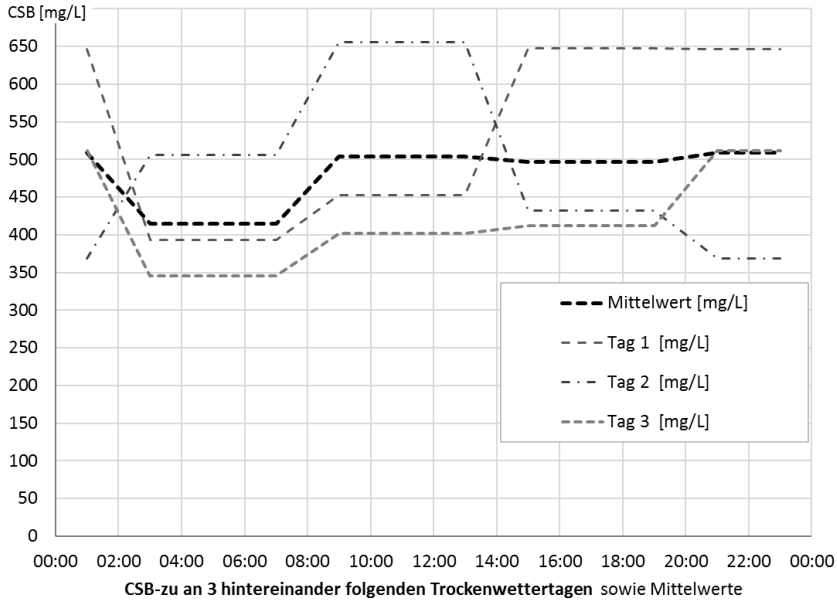


ABBILDUNG 4: CSB-ZULAUF-KONZENTRATION IN 6-STUNDEN-ZULAUFMISCHPROBEN VON 3 HINTEREINANDER FOLGENDEN TROCKENWETTERTAGEN *[EIGENE DARSTELLUNG]*

Um die Tagesbelastung der Kläranlage genauer verifizieren zu können, ist es zusätzlich notwendig auch die Abwassermengen an diesen 3 hintereinander folgenden Tagen zu erfassen und grafisch darzustellen:

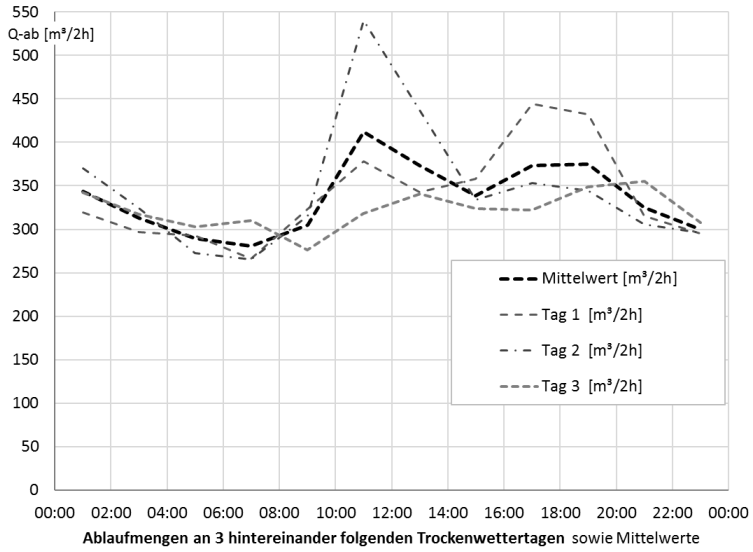


ABBILDUNG 5: ABWASSERMENGEN (2-STUNDEN-WERTE) VON 3 HINTEREINANDER FOLGENDEN TROCKENWETTERTAGEN *[EIGENE DARSTELLUNG]*

Aus den gemessenen und dargestellten Werten können folglich etwaige Abweichungen oder Ausreißer erkannt werden. Aus den beispielhaft dargestellten CSB-Konzentrationen sowie Abwassermengen kann gesehen werden, dass an den gleichen Tagen während der Tagesstunden zeitgleich mit den erhöhten CSB-Konzentrationen auch ein höherer Abwasserzufluss aufgetreten ist. Ursache hierfür könnte beispielsweise eine erhöhte Belastung in einem Indirekteinleiter sein. Derartige Abweichungen lassen sich aus der Erfassung der eingangs erwähnten Mischproben über mehrere Tage und deren Übertragung in ein Excel-File und grafische Visualisierung erkennen. Aus den CSB-Konzentrationen sowie den Abwassermengen, lassen sich schließlich die resultierenden CSB-Zulauffrachten ermitteln.

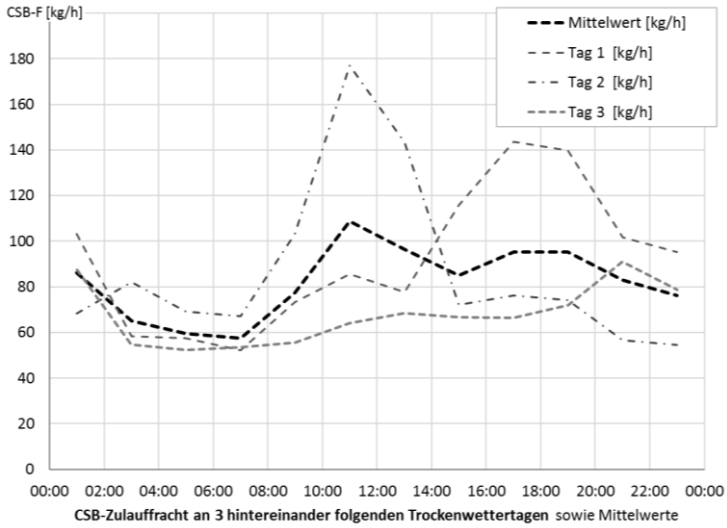


ABBILDUNG 6: CSB-ZULAUF-FRACHTEN AN 3 HINTEREINANDER FOLGENDEN TROCKENWETTERTAGEN *[EIGENE DARSTELLUNG]*

Aus der nun resultierenden Darstellung der CSB-Zulauffrachten kann beispielsweise ersehen werden, dass die Frachten in den Stunden mit Nachtzufluss (zwischen 00:00 und 08:00) vergleichbar sind, während in den Stunden mit erhöhtem Zulauf unregelmäßig erhöhte Frachten auftreten.

Eine derartige Erhebung und Darstellung der Tagesganglinien der Belastung der Kläranlage dient einerseits der Identifizierung von etwaigen Ausreißern und andererseits liefern diese Daten die Basis für ein Berechnungsmodell, welches in der Potentialabschätzung zur Lastverschiebung angewendet werden kann (Schritt 4).

3.3 Schritt 3: Energetische Analyse

Hinsichtlich der energetischen Analyse gilt es in einem ersten Schritt die Daten zum Energieverbrauch der Kläranlage zu erfassen. Konkret ist damit eine Erhebung / Auflistung der folgenden Werte gemeint:

- Energiebezug elektrisch EVU [kWh/a]
- Eigenstromerzeugung aus PV-Anlagen [kWh/a]
- Gesamtenergieverbrauch elektrisch [kWh/a]

Die Daten können zum einen aus den Betriebsprotokollen (Eigenüberwachung) als auch aus den Fremdüberwachsungsberichten, die von den jeweiligen Landesstellen jährlich erstellt werden, bezogen werden. In den Kläranlagen-Zustandsberichten werden die entsprechenden Tagesmittelwerte erfasst.

Auf Basis der abwassertechnischen Analysen, der verifizierten Anlagenbelastung und den erfassten Daten zum Gesamtenergieverbrauch können in einem nächsten Schritt die Energiekennzahlen berechnet werden.

3.3.1 Berechnung Energiekennzahlen

Da das Praxishandbuch ausschließlich für Kläranlagen ohne Schlammfaulung zur Anwendung kommen kann, werden nur Kennzahlen berechnet, die eine Aussage über die Bereitstellung und den Verbrauch der elektrischen Energie der Kläranlage erlauben. Der Wärmebedarf bleibt unberücksichtigt.

Es werden also Kennzahlen zum elektrischen Energieverbrauch, zur Energiebereitstellung aus Photovoltaik, sowie sonstige Energiekennzahlen berechnet.

Die in der nachfolgenden Tabelle 5 zusammengefassten Kennzahlen können aus dem (aus der durchschnittlichen Schmutzfracht errechneten) Einwohnerwert EW_{120} ermittelt werden (siehe Kapitel 3.2.1). Die auf der Kläranlage erzeugte spez. elektrische Energie aus Photovoltaik gibt Auskunft über den Anteil

der Eigenstromversorgung. Die Summe aus erzeugter elektrischer Energie und zugekaufter elektrischer Energie, abzüglich der ans EVU gelieferten elektrischen Energie, ergibt die zum Verbrauch auf der Kläranlage bereitgestellte elektrische Energie.

TABELLE 5: ENERGIEKENNZAHLEN *[EIGENE DARSTELLUNG]*

Energiekennzahlen	
Energiebezug Strom von EVU	kWh/d
Erzeugung aus PV-Anlage(n)	kWh/d
Eigenstromabdeckung	%
Energielieferung an EVU	kWh/d
spezifischer Energieverbrauch pro EW_{120}	kWh/EW_{120}*a
Energieverbrauch Biologie	kWh/d
Anteil Biologie am gesamtenergieverbrauch	%
spezifischer Energieverbrauch Biologie	kWh/EW_{120}*a

3.3.2 Erfassung und Analyse Energieverbrauch der Aggregate

Um einen detaillierteren Einblick über Art und Menge der eingesetzten Energieträger zu bekommen, müssen weiters die verschiedenen Energieverbraucher der Kläranlage erfasst werden.
Energieverbraucher können in thermische und elektrische Verbraucher untergliedert werden. Da Kläranlagen ohne Faulung außer zur Raumheizung keinen Wärmebedarf aufweisen, liegt der Schwerpunkt für die nachfolgenden Betrachtungen bei den elektrischen Verbrauchern. Nur bei detaillierter Kenntnis der Energieverbraucher und deren Parameter, kann eine energetische Optimierung der Kläranlage erfolgen. Ziel muss es sein, den elektrischen Energieverbrauch der in Tabelle 6 zusammengefassten Verbrauchergruppen feststellen zu können.

TABELLE 6: VERBRAUCHERGRUPPEN I KLÄRANLAGEN *[EIGENE DARSTELLUNG]*

1	**Zulaufpumpwerk und mechanische Vorreinigung**
	Zulaufpumpwerk
	Rechen
	Sand- und Fettfang
2	**Biologische Abwasserreinigung**
	Belüftung Belebungsbecken

	Umwälzung Belebungsbecken
	Rücklaufschlamm-Pumpwerk
	ggf.: Belüftung aerobe Schlammstabilisierung
	Sonstiges (Räumer Nachklärbecken, etc.)
3	**Schlammbehandlung**
	(Maschinelle) Schlammeindickung
	Schlammentwässerung
	Sonstiges (Überschussschlammpumpe, etc.)
4	**Infrastruktur**
	Heizung
	Sonstiges (Frischwasserpumpe, Fäkalübernahme, Außenbeleuchtung, etc.)

Wird der elektrische Energieverbrauch dieser Verbrauchergruppen nicht messtechnisch erfasst, wird die Erstellung einer Matrix der elektrischen Energieverbraucher, entsprechend der Vorlage in Tabelle 7 empfohlen.

TABELLE 7: LISTE ZUR ERFASSUNG DER AGGREGATE AUF KLÄRANAGEN *[EIGENE DARSTELLUNG]*

Aggregat (Verbraucher)	**Nennleistung lt. Typenschild**	**Leistung gemessen**	**Betriebs-stunden**	**Aufgenommene Leistung der Nennleistung** (geschätzt / gemessen)	**Elektrischer Energieverbrauch**
	[kW]	***[kW]***	***[h/d]***	***[%]***	***[kWh/d]***

Aus der aufgenommenen elektrischen Leistung und der Laufzeit des jeweiligen Aggregates kann der Energieverbrauch berechnet werden. Ist die aufgenommene elektrische Leistung nicht bekannt, kann diese bei Aggregaten, deren Leistungsaufnahme sich mit der Zeit nicht ändert, durch eine Messung mittels Strommesszange erfasst werden. Als ganz grobe Abschätzung des zu erwartenden Energie-verbrauches können die elektrische Anschlussleistung der Aggregate und ein abgeschätzter Prozentsatz der davon aufgenommenen Leistung herangezogen werden [vgl. (Lindtner, 2008)].

Auf Basis dieser Ergebnisse wird ersichtlich, welche Aggregate 24 Stunden pro Tag kontinuierlich durchlaufen müssen, bzw. welche Verbraucher nur über wenige Stunden betrieben werden bzw. betrieben werden können.

3.3.3 Analyse des Lastgangs

Im nächsten Schritt muss eine Analyse des Lastgangs der Kläranlage erfolgen. Dafür ist es notwendig die genauen Betriebsparameter der Aggregate zu kennen, und diese dem gesamten Lastgang zuweisen zu können. Um die notwendigen Informationen zu erhalten, gibt es mehrere Möglichkeiten, die von der vorhandenen Mess- und Regelinfrastruktur der Kläranlage und dem vorhandenen Know-how abhängen. Folgende Methoden zur Detailbetrachtung wurden identifiziert:

- Methode I: Umfassende Messungen der Kläranlage vorhanden
- Methode II: Lastprofilzähler vorhanden
- Methode III: Abschätzung kritischer Aggregate

Es empfiehlt sich daher, die folgende Liste an Möglichkeiten der Detailbetrachtung des Lastganges Schritt für Schritt abzuarbeiten. Die Liste beginnt bei der Methode die die höchste Datenqualität erfordert und damit auch die höchste Aussagekraft hat (Methode I). Sollte eine Methode bei einer Kläranlage nicht anwendbar sein, ist die darauffolgend beschriebene Methode anzuwenden.

Methode I: Umfassende Messungen der Kläranlage vorhanden:

Bedingung: Zur Anwendung dieser Methode ist es notwendig, dass ein umfassendes Regel- und Messsystem vorhanden ist. Dieses Messsystem muss alle relevanten Aggregate der Kläranlage messtechnisch erfassen und den Einsatzverlauf aufzeichnen.

Umsetzung: Anhand der gemessenen Werte über Einsatzdauern, Einsatzzeitpunkte und Einsatzleistungen der Aggregate lässt sich das Lastprofil der Kläranlage zusammenstellen. Dafür bietet es sich an, den zeitlichen Verlauf des Einsatzes der unterschiedlichen Aggregate aus dem Regel-/Messsystem auszulesen und gegenüberzustellen. Der Fokus sollte hierbei auf jenen Aggregaten liegen, die einerseits über eine hohe Leistung verfügen und bei denen zudem eine Verschiebung der Einsatzzeiten aus anlagentechnischer Sicht möglich ist.

Endprodukt: Das gewünschte Endprodukt dieser Analyse ist der Einsatzverlauf der unterschiedlichen, in der Kläranlage vorhandenen Aggregate. Zu jedem Zeitpunkt des Jahres (desto höher die zeitliche Auflösung der Zeitreihe desto besser) ist bekannt, welches Aggregat welche Leistung benötigt.

Methode II: Lastprofilzähler vorhanden:

Bedingung: Um diese Methode anwenden zu können, muss bei der Kläranlage die Messung des Gesamtverbrauchs mittels Lastprofilzähler[5] erfolgen. Die Messwerte des Zählers können beim jeweiligen Energieversorger angefordert werden. Des Weiteren ist es notwendig, dass die in Tabelle 7 angeführten Informationen zu den einzelnen Aggregaten vorhanden sind.

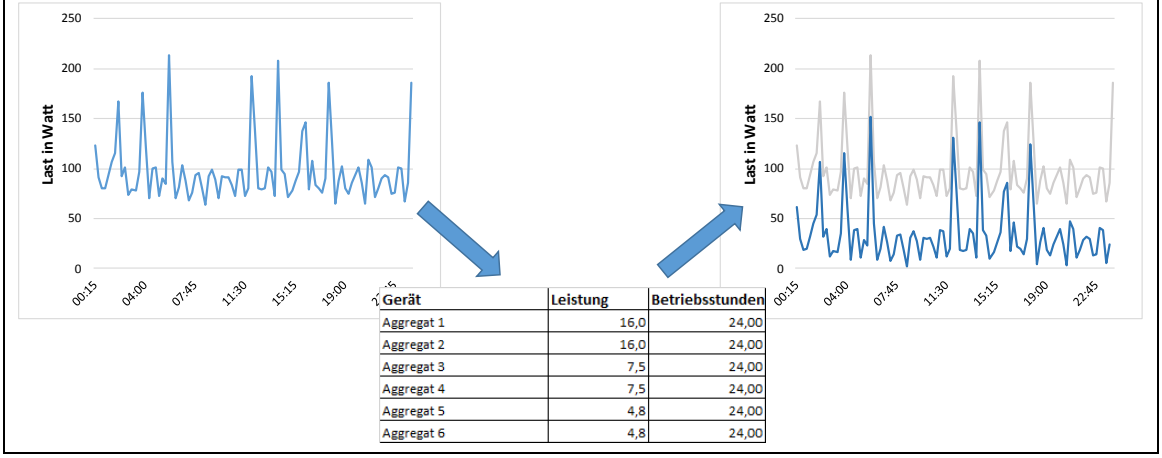
Umsetzung: Für diese Methode werden die Informationen aus Tabelle 7 verwendet, um damit den Lastverlauf nachzubilden. Dabei ist wichtig zu wissen, dass es sich um eine Näherung handelt. Weitere Voraussetzungen sind, dass die Betriebsleistungen der Aggregate bekannt sind, sowie die Information ob die Aggregate, wenn sie betrieben werden, mit maximaler Leistung betrieben werden. Ist es möglich, dass einzelne oder alle Aggregate im Teillastbetrieb betrieben werden, so ist eine Zuweisung der Lasten unmöglich.

Für eine Überprüfung der Umsetzbarkeit dieser Methodik wird die Empfehlung ausgesprochen mit dem Zeitraum von einem Tag zu beginnen. Es wäre sinnvoll, einen Tag heranzuziehen, bei dem man über den grundsätzlichen Betrieb der Aggregate Bescheid weiß. Gerade der Betrieb von Belüftungsaggregaten sollte in den meisten Fällen aufgezeichnet werden. Es sollte also zumindest die Information vorliegen, ob diese Geräte grade in Betrieb sind oder nicht (Ein/Aus). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die einzelnen Aggregate nicht unbedingt mit Nennleistung betrieben werden. Durch die zunehmende Nutzung von Frequenzumformern zur Leistungsregelung, können Aggregate bezüglich der bezogenen Leistung sehr stark von der Nennleistung abweichen. Es ist daher im Vorfeld zu prüfen, ob die betrachteten Aggregate über eine Möglichkeit der Leistungsregelung verfügen, oder nicht. Sollte keine Leistungsregelung möglich sein, kann als erste Näherung die Nennleistung als Bezugsgröße herangezogen werden. Dabei ist jedoch auch zu berücksichtigen, dass die tatsächlich bezogene Leistung nicht zwingend der Nennleistung entsprechen muss. Es empfiehlt sich einzelne relevante Aggregate hinsichtlich ihres Leistungsbezugs zu messen. Ist die Zuweisung der Lasten an diesem einen Versuchstag möglich, kann man sich schrittweise an die Anpassung über das gesamte Jahr durchführen.

Um die Einzelverbräuche der einzelnen Aggregate dem Gesamtlastgang zuzuweisen, empfiehlt es sich den Lastgang in einem ersten Schritt um all jene Verbraucher zu bereinigen, die sich im Dauerbetrieb befinden. Schematisch ist dieser Prozess in

[5] *„Lastprofilzähler", meint Messgerät, welches den tatsächlichen (Strom)-Lastgang im ¼-Stundenraster erfasst*

Abbildung 5 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass durch die Bereinigung um die dauernd laufenden Aggregate, der Lastgang deutlich absinkt.



Gerät	Leistung	Betriebsstunden
Aggregat 1	16,0	24,00
Aggregat 2	16,0	24,00
Aggregat 3	7,5	24,00
Aggregat 4	7,5	24,00
Aggregat 5	4,8	24,00
Aggregat 6	4,8	24,00

ABBILDUNG 5: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER BEREININGUNG DER DAUERND LAUFENDEN AGGREGATE

Der nachfolgende Prozess lässt sich nicht mehr einheitlich beschreiben, sondern ist von Kläranlage zu Kläranlage unterschiedlich. Generell empfiehlt es sich jedoch folgende Fragen zu beantworten um in weiterer Folge die restlichen Aggregatslasten dem Lastgang zuzuweisen:

- Gibt es Aggregate, die zwingend direkt hintereinander in Betrieb sein müssen?
- Gibt es Aggregate, die zwingend gleichzeitig in Betrieb sein müssen?
- Gibt es Aggregate, die zwingend gegengleich in Betrieb sein müssen?

Anhand dieser Fragen lassen sich Zusammenhänge ermitteln, die sich auch im Lastprofil wiederfinden sollten.

Eine weitere Möglichkeit Lasten dem Profil zuzuweisen, ist die Ermittlung auftretender (überdurchschnittlich hoher) Spitzen im Verlauf, wie in Abbildung 6 dargestellt.

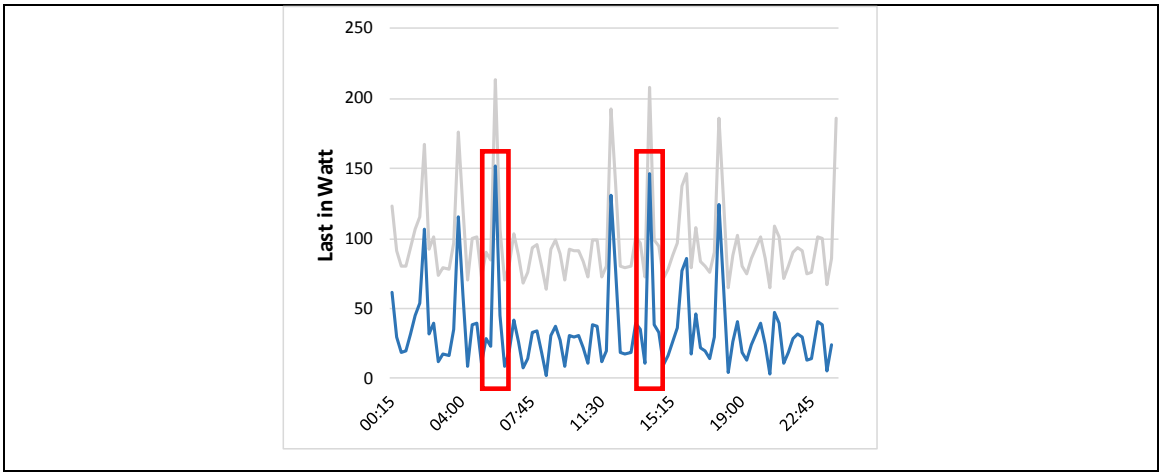


ABBILDUNG 6: SICHTUNG DOMINANTER LASTSPITZEN IM VERBRAUCH

Lassen sich solche Spitzen ermitteln ist es oftmals möglich, sie einzelnen größeren Verbraucher zuzuweisen. Bei diesem Schritt ist eine solide Kenntnis der Anlage notwendig, um fundierte Aussagen über die Verwendung solch großer Verbraucher treffen zu können. Die Bereinigung des Lastverlaufs ist in Abbildung 7 dargestellt.

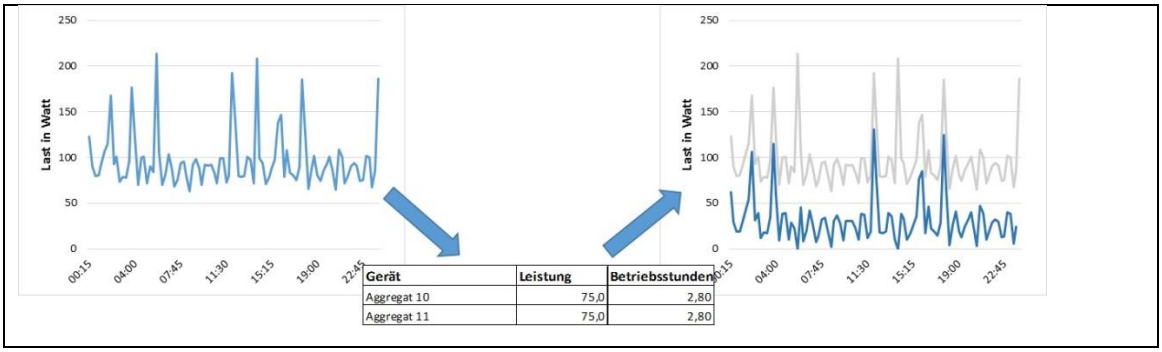


ABBILDUNG 7: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER BEREININGUNG DER AGGREGATE MIT HOHEN LEISTUNGEN UND GERINGEN LAUFZEITEN

Im Idealfall sind nach der Bereinigung des Lastganges sämtliche Aggregate eindeutig zugewiesen. Es bietet sich an dieser Stelle an, eine Kontrolle der Laufzeiten der Aggregate durchzuführen und diese mit den Werten aus Tabelle 7 zu vergleichen.

Endprodukt: Das gewünschte Endprodukt dieser Analyse ist der Einsatzverlauf der unterschiedlichen, in der Kläranlage vorhandenen Aggregate. Zu jedem Zeitpunkt des Jahres (desto höher die zeitliche Auflösung der Zeitreihe desto besser) ist bekannt, welches Aggregat welche Leistung benötigt.

Methode III: Abschätzung kritischer Aggregate:

Bedingung: Diese Methode ist anzuwenden, wenn keine der Bedingungen für Methode I oder Methode II erfüllt sind. Diese Methode setzt ein solides und vollständiges Verständnis der Betriebsführung der wesentlichen Aggregate voraus. Als Kontrollwerte können hier die Aufzeichnungen in den „Eigenüberwachungsprotokollen“, die zumindest Tageswerte des Stromverbrauchs der gesamten Kläranlage sowie eine getrennte Aufzeichnung des Stromverbrauchs der biologischen Stufe enthalten, herangezogen werden. Da diese Werte verpflichtend einzutragen sind, wird davon ausgegangen, dass entsprechende Messeinrichtungen auf den Anlagen zur Verfügung stehen müssen.

Umsetzung: Da keine Lastgang-Messungen vorhanden sind, wird die Empfehlung ausgesprochen, zu überprüfen, ob mit dem vorhandenen Messequipment die aufgenommene Leistung der Aggregate und so auch der Lastgang nachvollzogen werden kann. Bei dieser Näherungsmethode kann es hilfreich sein, Beobachtungen der Anlage über einen längeren Zeitraum anzustellen und die Betriebszeiten und Leistungsaufnahmen der Aggregate (manuell) zu erfassen. Dabei sollten jene Aggregate bevorzugt werden, die über ein höheres theoretisches Verschiebungspotential verfügen. Eine weitere Methode relevante Informationen über den Verbrauch zu erhalten, ist es selber einen Lastgang für die Kläranlage zu erstellen. Dieser kann durch eine Beobachtung des gesamten Energiebezuges der Kläranlage zu fixen Zeitpunkten erfolgen (mindestens jede ¼ Stunde). Da jeder Stromkunde über zumindest einen Energiezähler verfügen muss, lässt sich durch Ablesen der Energiewerte in fixen Intervallen, die bezogene Leistung ermitteln.

Es empfiehlt sich, die identifizierten Aggregate bzw. die gesamte Anlage über einen längeren Zeitraum zu beobachten, um daraus Rückschlüsse auf das Lastverhalten der Kläranlage als gesamtes zu schließen. Durch die Beobachtung der einzelnen Aggregate bzw. der gesamten Anlage wird es möglich, einen synthetischen Lastgang zu erzeugen, der in weiterer Folge mit einer etwaigen PV-Einspeisung verglichen werden kann.

Wichtig ist bei dieser Methodik zu berücksichtigen, dass es sich um eine absolute Näherung handelt. Es wird dringend empfohlen, Messungen der Aggregate und des Lastganges der Kläranlage vorzunehmen, um fundierte Aussagen treffen zu können.

Endprodukt: Das gewünschte Endprodukt dieser Analyse ist der Einsatzverlauf der wichtigsten, in der Kläranlage vorhandenen Aggregate. Zu jedem Zeitpunkt des Jahres (desto höher die

zeitliche Auflösung der Zeitreihe desto besser) ist bekannt, welches Aggregat welche Leistung benötigt.

3.3.4 Analyse PV-Produktionsdaten

Viele PV-Anlagen werden heute bereits mit einem Messsystem zur Erfassung der Erzeugungsdaten ausgeliefert. Es ist grundsätzlich auch empfehlenswert, bei Photovoltaikanlagen eine Anlagenüberwachung durchzuführen. Zum einen aufgrund der Ertragssicherung, denn der Ertrag entscheidet über die Wirtschaftlichkeit und zum anderen, können über eine Anlagenüberwachung etwaige Fehlfunktionen bereits früh erkannt werden.

Methode I: Manuelle Erfassung der PV-Daten

Umsetzung: Die einfachste und preiswerteste Methode zur Anlagenüberwachung besteht darin, die Werte in regelmäßigen Abständen selbst zu notieren. Dazu müssen die Photovoltaik Ertragswerte täglich, wöchentlich oder monatlich abgelesen und notiert werden. Um sie miteinander vergleichen zu können empfiehlt es sich, die Werte in eine Tabelle einzutragen. Die regelmäßige Ablesung der Ertragswerte kann zusätzlich von Vorteil sein, um die Wechselrichter gleichzeitig auf etwaige Fehlermeldungen hin zu überprüfen.

Vorteile:

- Kosten für einen Datenlogger werden eingespart
- manuelle Anlagenüberwachung kann für all jene eingesetzt werden, die nicht sicher im Umgang mit PC, Internet oder Smartphones sind

Nachteile:

- es wird Lücken in der Aufzeichnung geben, da die Regelmäßigkeit nicht lange anhalten wird
- Fehlfunktionen können zwar vermutet werden, aber genaue Informationen liefern die Ertragswerte nicht

Methode II: Erfassung der PV-Daten mittels Datenlogger

Umsetzung: Eine weitere Möglichkeit ist die Anlagenüberwachung per Datenlogger. Diese erfolgt automatisch, ununterbrochen und ist ausgesprochen anwenderfreundlich. Dabei werden die Daten des Wechselrichters aufgezeichnet und am Computer ausgewertet. Datenlogger werden in unterschiedlichen Ausbaustufen angeboten. Empfehlenswert sind Datenlogger, die eine tatsächliche Anlagenüberwachung bieten und über eine Alarmfunktion verfügen. Dann wird bei Fehlfunktionen, etwa dem Ausfall einzelner

Strings, Verschattungen der Photovoltaikanlage oder Kabelproblemen, über SMS, E-Mail oder Fax eine Meldung gesendet.

Vorteile:

- benutzerfreundliche und bequeme Auslesung/Auswertung der Ertragsdaten
- einfacher Vergleich mit den Ertragsdaten anderer Photovoltaikanlagen
- Fernüberwachung via Smartphone oder Laptop möglich
- individuelle Konfiguration
- großes Angebot auf dem Markt

Nachteil:

- vergleichsweise hohe Kosten

Datenlogger sind Speicher, die entweder dauernd oder zu bestimmten Zeitpunkten Daten aufzeichnen, welche über eine Schnittstelle zur Verfügung gestellt werden. Datenlogger sind bei Photovoltaikanlagen die zentrale Komponente in der Anlagenüberwachung.

Datenlogger sind notwendig, um den Betreibern einer Photovoltaikanlage die permanente Überwachung der Anlage zu ermöglichen. Es wird dabei sowohl die Funktion der Photovoltaikanlage gemessen, als auch deren Leistungsfähigkeit. So ist es möglich, Fehlfunktionen, fehlerhafte Zellen, aber auch Verschattungen oder Fehlfunktionen im Wechselrichter frühzeitig zu erkennen und gegebenenfalls zu beheben. Je nach Ausführung sichert der Datenlogger auch dauerhafte Erträge (vorwiegend bei großen Anlagen).

Es gibt unterschiedlich konzipierte Datenlogger. Die einfachsten zeichnen die Meldungen der Wechselrichter auf und helfen, diese zu visualisieren. Sie können aber auch an andere Datenquellen angeschlossen werden und bieten sich z.B. auch als Energiezähler an. Zusätzlich ist die Aufzeichnung von Messdaten, die von Strahlungssensoren oder Temperatursensoren gesammelt werden. In den Datenloggern werden diese Daten gespeichert und können bei Bedarf in leicht verständlichen Grafiken visualisiert werden.

Die Daten lassen sich lokal auf einen PC übertragen oder per Internet auf einen Server von spezialisierten Anbietern, wo die Daten gespeichert und bei Bedarf ausgewertet werden. Hierzu gibt es unterschiedliche Portale von den Herstellern der Datenlogger, von den Herstellern die Solarmodule und auch von spezialisierten Dienstleistern. Die Protokolldaten aus den Datenloggern, können z.B. für eine Monats- oder Jahresauswertung eingesetzt werden.

Die meisten Wechselrichterhersteller bieten interne Datenlogger bereits standardmäßig an. Diese haben den Vorteil, dass keine zusätzlichen Kosten für die Speicherung der Anlagendaten entstehen.

Neuerdings wird zur Visualisierung der Ertragsdaten ein LC-Display-System eingesetzt, wodurch die im Datenlogger erfassten Daten angezeigt werden. Der Betrachter kann auf diese Weise die Werte in Form von Leistungsdiagrammen bzw. Balkendiagrammen ablesen.

Abbildung 8 zeigt beispielhaft einen solchen PV Datenlogger. Bei der Erfassung der Daten aus dem Datenlogger ist darauf zu achten, dass die Auflösung des Loggers zu den zeitlichen Auflösungen der anderen Geräte passt. Gegebenenfalls sind die Einstellungen dahingehend zu ändern, dass die Werte zusammenpassen.



ABBILDUNG 8: BEISPIELHAFTE ILLUSTRATION EINES PV-DATENLOGGERS *[QUELLE: WWW.FP4ALL.COM]*

Sofern kein PV Datenlogger vorhanden ist, besteht zusätzlich die Möglichkeit, einen „Cloud-basierte“ Datenspeicher in Anspruch zu nehmen und die Daten über externe Unternehmen bereitstellen zu lassen.

Methode III: Messung der Daten

Umsetzung: Bei der Auswahl des Messgerätes ist darauf zu achten, dass das Messgerät eine genügend hohe zeitliche Auflösung besitzt. Das absolute Minimum der Auflösung beträgt **1 Messwert pro 15 Minuten**, höhere Auflösungen sind bevorzugt! Ebenfalls ist bei der Messung auf den Speicher des Datenloggers zu achten. Je nach Typ des Messgerätes können unterschiedliche Datenmengen (Anzahl an Messwerten) erfasst werden.

Bei der Erfassung der Messwerte ist unbedingt auf eine ordnungsgemäße und durchgängige Messung zu achten. Ein Überlaufen des Datenspeichers ist durch rechtzeitiges Auslesen der Daten unbedingt zu verhindern.

Aufgrund der großen Anzahl unterschiedlicher Messgeräte wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Beschreibung des Messaufbaus verzichtet. Es wird auf die Anleitung des jeweiligen Messgerätes verwiesen.

3.4 Schritt 4: Potentialabschätzung

3.4.1 Potentialabschätzung mittels Berechnungsmodell

Im *Schritt 2* des vorliegenden Handbuchs ist die Verifikation des Tagesgangs der Analgenbelastung dargestellt, in dem aufgezeigt wurde, anhand welcher Messungen und daraus resultierender Mischproben die Tagesganglinie der Anlagenbelastung ermittelt werden kann. Im vorliegenden Diese Werte bilden die Basis für die Abbildung der Kläranlage in einem Berechnungsmodell, dem so genannten dem „Activated Sludge Model No. 1“ (ASM1) [Henze *et al.*, 1987]. Dieses Berechnungsmodell dient einerseits der Verifikation der Anlagenbelastung und andererseits der Simulation von Lastverschiebungsmöglichkeiten. Um dieses Modell auch sinnvoll anwenden zu können, sind eben typische Tagesganglinien des Abwasserzuflusses, sowie der Zulaufwerte für die relevanten Abwasserparameter zu erheben, welche zum Teil in der Regel nicht im Rahmen der routinemäßigen Eigenüberwachung durchgeführt werden und daher separat zu erfassen sind.

Wenn die Werte erfasst und die Tagesganglinie der Kläranlagenbelastung bekannt ist, kann die dynamische Simulation durchgeführt werden, um Lastverschiebungspotentiale zu eruieren. In welchen Bereichen bzw. welchem Bereich die Möglichkeiten zur Lastverschiebung untersucht werden, ergibt sich aus dem Verfahren nachdem die Kläranlage arbeitet. Denn bei fast allen kommunalen Kläranlagen wird die biologische Abwasserreinigung mittels Belebungsverfahren durchgeführt, was ein aerober biologischer Prozess ist, in dem zum Abbau der Schadstoffe Sauerstoff zugeführt werden muss. Für die Zufuhr des Sauerstoffs mit Belüftungsaggregaten wird viel Energie benötigt, die sogar bis zu 70% des gesamten Stromverbrauchs der Kläranlage ausmachen kann. Hier setz dieses dynamische Simulationsmodell an und untersucht, in welchem Ausmaß sich der Energieverbrauch für die Belüftung der Belebungsstufe zeitlich verschieben lässt, damit aber dennoch die Grenzwerte im Kläranlagenablauf eingehalten werden können.

Für die Durchführung dieser dynamischen Simulation, sollte jedoch der Rat eines Experten herangezogen werden, der mit der Eingabe und Auswertung der Parameter in dieses Berechnungsprogramm vertraut sind bzw. den Zugang zu diesem Programm haben.

Zur Veranschaulichung, welche Ergebnisse dieses Berechnungsmodell liefert, soll hier die dynamische Simulation einer Kläranlage dargestellt werden, wo eingegeben wurde, dass die Belüftung des vorhandenen Belebungsbeckens während der Nacht gänzlich außer Betrieb genommen werden soll.

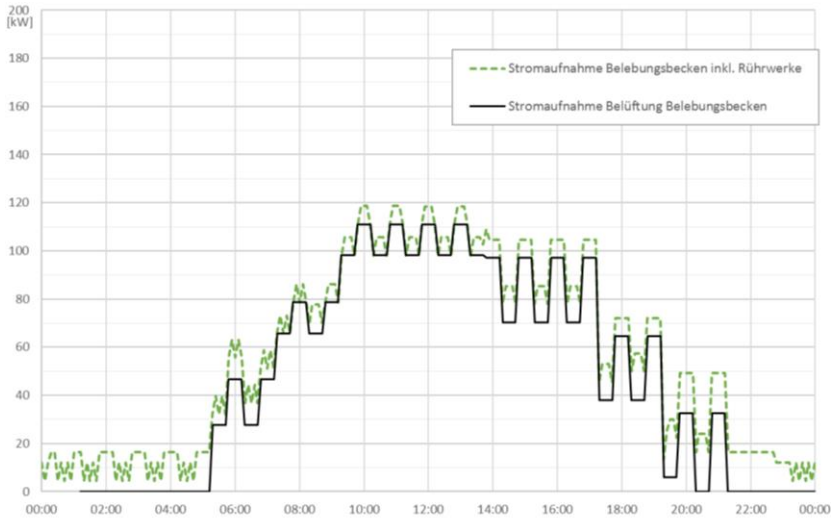


ABBILDUNG 4.1: BEISPIEL – MAXIMAL VERSCHOBENE STROMAUFNAHME BELEBUNGSBECKEN, BEI DER DIE ABLAUFGRENZWERTE NOCH EINGEHALTEN WERDEN

Es kann erkannt werden, dass die Belüftung in der Nacht außer Betrieb genommen wurde und für etwa 3 bis 4 Stunden vor und nach dem Abstellen der Belüftung, wurde die Stromaufnahme deutlich reduziert, um eine Anpassung an eine Kurve der Stromproduktion aus einer Photovoltaikanlage zu erzielen. Die Grafik zeigt auch, dass es in Phasen ohne Belüftung erforderlich ist, das Belebtschlamm-Abwasser-Gemisch im unbelüfteten Belebungsbecken durch Umwälzung mittels Rührwerken in Schwebe zu halten, womit zusätzlich die Denitrifikation verbessert wird. Hierbei ist es auch möglich die Rührwerke erst einige Zeit nach dem Abstellen der Belüftung bzw. einige Zeit vor der Wiederinbetriebnahme der Belüftung nicht zu betreiben, da der Belebtschlamm während diesen Phasen ohnedies noch in Schwebe ist.

Ergebnis dieser dynamischen Simulation war, dass bei den vorliegenden Betrachtungen die vorgegebenen Ablaufgrenzwerte noch eingehalten werden konnten. Es hat sich aber auch gezeigt, dass bei einem derartigen Betrieb der Stromverbrauch für die Belüftung um einige Prozent ansteigt, da in den Tagesstunden etwas mehr belüftet werden muss.

Aus derartigen Simulationsberechnungen mit existierenden Programmen kann von Seiten der Kläranlagenbetreiber (mit Unterstützung externer Experten, die mit dem Berechnungsprogramm betraut sind) abgeschätzt werden, inwieweit sich Lasten von der Nacht auf den Tag verschieben lassen, damit auch noch sämtliche Grenzwerte eingehalten werden können.

Ob aber überhaupt die Notwendigkeit einer Lastverschiebung besteht, lässt sich nur aus der Gegenüberstellung der Erzeugung und des Verbrauchs ermitteln, wo herausgefunden werden muss, ob zu gewissen Zeiten Überschusssituationen auftreten.

3.4.2 Potentialabschätzung aus dem Lastverlauf der Erzeugung und des Verbrauchs

In diesem Abschnitt wird aufgezeigt, wie man eine Abschätzung der Produktion der Photovoltaikanlage vornehmen und dem Lastprofil der Kläranlage gegenüberstellen kann.

Dies soll einerseits dazu dienen, um die aktuelle Eigenbedarfsdeckung visualisieren und veranschaulichen zu können und andererseits um Lastverschiebungspotentiale der Kläranlage in den Bereich der PV-Produktion eruieren zu können. Zusätzlich kann die Gegenüberstellung des Lastprofils der Kläranlage mit der Tageserzeugung einer Photovoltaik dazu dienen, um abschätzen zu können wie groß eine neu geplante Anlage sinnvoller Weise dimensioniert werden soll oder auch welche Ausbaugröße der bestehenden PV-Anlage angestrebt werden könnte.

Zur Abschätzung der Tagesproduktion der geplanten oder installierten PV-Anlage (falls keine Messwerte vorliegen), kann man sich Näherungsweise wie folgt herantasten:

Schritt 1: Ermittlung der Einstrahlungswerte

In einem ersten Schritt ist es notwendig, die durchschnittlichen täglichen Einstrahlungswerte für den jeweiligen Standort zu ermitteln. Diese Werte können beispielsweise aus der PV-Gis Plattform und der zugehörigen Strahlungsdatenbank unter folgendem Link abgerufen werden: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=de&map=europe. Es ist empfehlenswert, zumindest die Strahlungswerte für einen repräsentativen Tag im Monat Juni (21. Juni = längster Tag im Jahr) und einen repräsentativen Tag im Dezember (21.Dezember = kürzester Tag im Jahr) zu ermitteln.

Beispielhaft wurden die Einstrahlungswerte aus der PV-Gis Plattform für die Region Güssing, wo die Anlagen im Leitprojekt situiert sind, für einen durchschnittlichen Tag für alle Monate im Jahr ermittelt und sind aus nachfolgender Abbildung ersichtlich:

Zeit	Jänner W/m²	Februar W/m²	März W/m²	April W/m²	Mai W/m²	Juni W/m²	Juli W/m²	August W/m²	September W/m²	Oktober W/m²	November W/m²	Dezember W/m²
04:37						33	21					
04:52					29	47	35					
05:07					43	60	48					
05:22					57	73	61	29				
05:37				34	67	86	72	42				
05:52				51	93	112	98	59				
06:07				77	122	141	127	86	32			
06:22				108	154	172	159	117	57			
06:37			66	142	187	205	193	151	85			
06:52			103	178	222	238	229	187	117			
07:07			137	215	257	272	265	225	151	67		
07:22		62	173	253	293	307	303	264	187	102		
07:37		96	209	291	329	341	340	303	223	135		
07:52	25	127	244	329	364	375	377	342	259	169	31	
08:07	34	159	279	366	398	408	413	381	295	203	40	23
08:22	42	190	313	401	431	440	448	418	330	235	106	31
08:37	115	220	345	436	463	470	482	455	364	267	130	39
08:52	136	249	376	468	493	499	514	489	396	297	152	106
09:07	156	276	404	499	522	527	544	522	427	326	173	125
09:22	174	301	431	527	548	552	573	553	455	352	193	142
09:37	191	324	455	554	572	576	599	581	482	377	211	61
09:52	77	346	478	578	595	597	624	607	506	399	227	66
10:07	81	365	498	599	615	617	645	631	528	420	242	69
10:22	84	382	515	618	632	634	664	651	547	437	255	72
10:37	242	396	530	634	648	648	681	669	563	453	267	75
10:52	251	408	543	648	660	661	695	685	577	466	276	77
11:07	258	418	553	659	671	671	706	697	589	476	284	79
11:22	263	426	561	667	678	678	715	706	597	484	290	226
11:37	267	430	566	673	683	683	720	712	603	489	293	230
11:52	268	433	568	676	686	686	723	715	605	492	295	231
12:07	268	433	568	676	686	686	723	715	605	492	295	231
12:22	267	430	566	673	683	683	720	712	603	489	293	230
12:37	263	426	561	667	678	678	715	706	597	484	290	226
12:52	258	418	553	659	671	671	706	697	589	476	284	79
13:07	251	408	543	648	660	661	695	685	577	466	276	77
13:22	242	396	530	634	648	648	681	669	563	453	267	75
13:37	84	382	515	618	632	634	664	651	547	437	255	72
13:52	81	365	498	599	615	617	645	631	528	420	242	69
14:07	77	346	478	578	595	597	624	607	506	399	83	66
14:22	73	324	455	554	572	576	599	581	482	377	79	61
14:37	68	301	431	527	548	552	573	553	455	352	74	57
14:52	62	276	404	499	522	527	544	522	427	326	68	51
15:07	56	93	376	468	493	499	514	489	396	297	62	45
15:22	49	86	345	436	463	470	482	455	364	267	55	39
15:37	42	78	313	401	431	440	448	418	330	94	48	31
15:52	34	68	279	366	398	408	413	381	295	85	40	23
16:07	25	58	244	329	364	375	377	342	259	75	31	15
16:22	15	48	209	291	329	341	340	303	223	135	21	
16:37		36	173	253	293	307	303	264	187	102		
16:52		23	137	215	257	272	265	225	151	67		
17:07			103	178	222	238	229	187	117	27		
17:22			66	142	187	205	193	151	85			
17:37			33	108	154	172	159	117	57			
17:52				77	122	141	127	86	32			
18:07				51	93	112	98	59	14			
18:22				34	67	86	72	42				
18:37				18	57	73	61	29				
18:52					43	60	48	16				
19:07					29	47	35					
19:22					14	33	21					
19:37						19	8					

ABBILDUNG 9: GLOBALE EINSTRAHLUNG AUF EINE FESTE EBENE (W/M2)
(HTTP://RE.JRC.EC.EUROPA.EU/PVGIS/APPS4/PVEST.PHP?LANG=DE&MAP=EUROPE)

Die Abbildung 9 zeigt die durchschnittliche tägliche Einstrahlung bzw. die PVGIS Schätzung des durchschnittlichen Tagesprofils. Es wurde eine Orientierung (Azimut) der PV-Anlage von 0 Grad und eine Neigung der Ebene von 30 Grad angenommen. Die benutzte Sonnenstrahlungsdatenbank ist PVGIS-CMSAF. Die Abbildung 10 soll die Werte grafisch veranschaulichen.

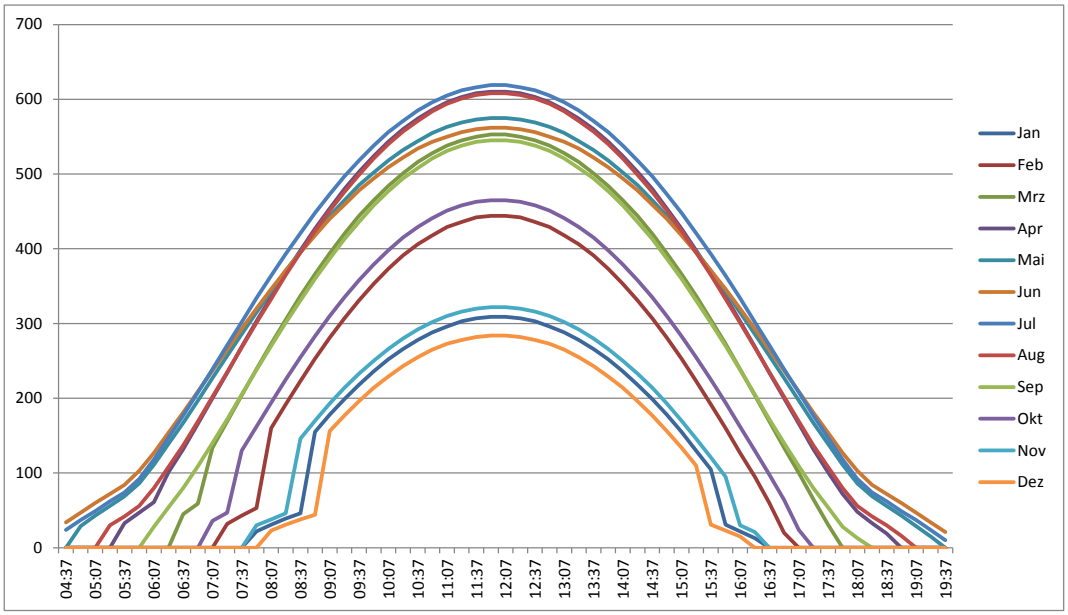


ABBILDUNG 10: GRAFISCHE DARSTELLUNG DER EINSTRAHLUNGSWERTE

Schritt 2: Ermittlung der PV-Tageslastgang aus den Einstrahlungswerten

Um in einer weiteren Folge die Tagesgänge der PV-Anlage ermitteln zu können, sind die folgenden Parameter zu berücksichtigen, welche hier für das Handbuch vereinfacht und übergeordnet dargestellt werden, damit jeder Anwender des Handbuchs einfach eine Abschätzung durchführen kann:

- im Durchschnitt ist pro kW_{peak} mit einer Fläche von 7,5 m² zu rechnen
- der Wirkungsgrad kann mit rund 12% angenommen werden
- zusätzlich muss die Umrechnung von W auf kW erfolgen und es ergibt sich:

$$Einstrahlung\left[\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}\right] * 7{,}5\left[\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{kW}}\right] * 0{,}12 \ / 1000 = Leistung\ \frac{W}{kWpeak}$$

Wenn der Tageslastgang der Photovoltaikanlage mit bestimmter Größe ermittelt worden ist, kann dieser dem Tageslastgang aus der Kläranlage gegenübergestellt werden.

Schritt 3: Gegenüberstellung PV-Erzeugungsprofil und Lastprofil Kläranlage

Die Herangehensweise für die Gegenüberstellung der Lastgänge sollte sein, ein Excel-File zu erstellen, wo die Viertelstunden-Werte des PV-Tageslastgangs und jene der Kläranlage übertragen und in einer Grafik gegenübergestellt werden.

Zur Ermittlung des entsprechenden Tageslastgangs einer PV-Anlage bestimmter Größe und Gegenüberstellung mit dem Kläranlagen Lastprofil, wurde ein vereinfachtes Excel-File erstellt, um die Abschätzung vornehmen zu können.

Eine einfache Visualisierung zeigt dann beispielsweise folgendes Bild:

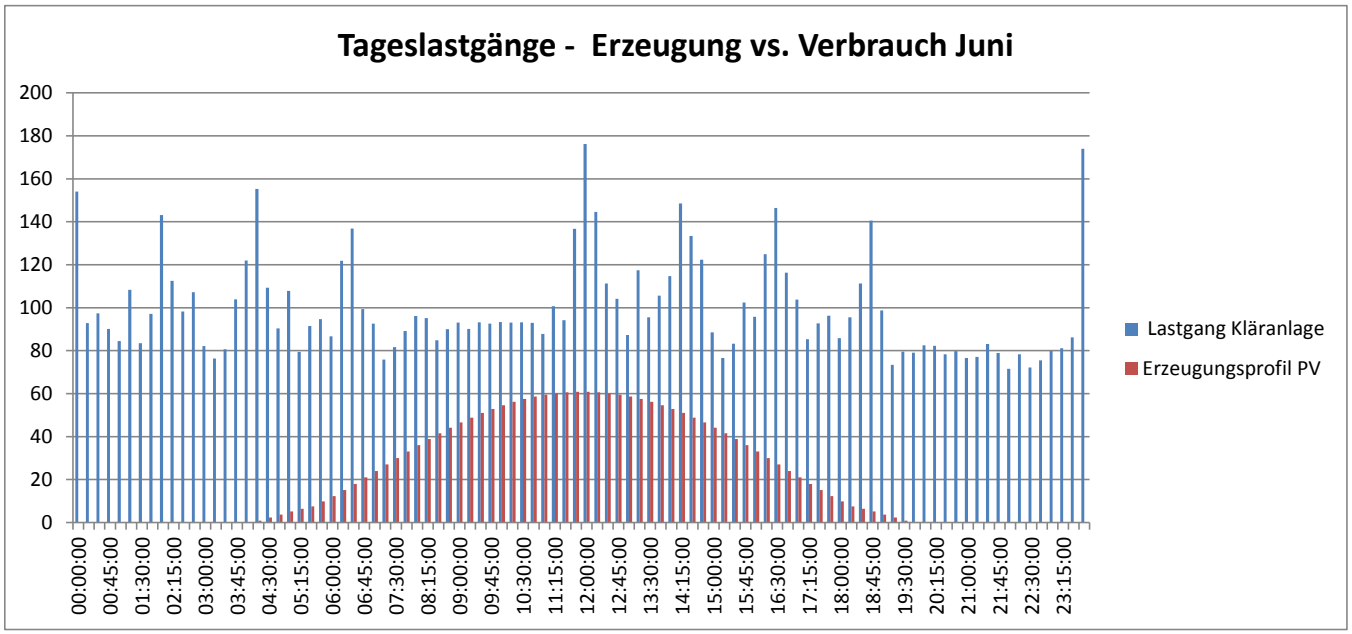


ABBILDUNG 11: VISUALISIERUNG DER GEGENÜBERSTELLUNG DES PV-ERZEUGUNGSPROFILS MIT DEM LASTPROFIL DER KLÄRANALGE - JUNI

Die Abbildung 11 veranschaulicht beispielsweise die Gegenüberstellung eines mittleren Lastprofils einer Kläranlage mit 35.000 EW und einer PV-Anlage mit einer Leistung von 100 kW_{peak}. Aus dieser Darstellung ist die Produktionskurve der PV-Anlage gut ersichtlich.

Was dies für die Abdeckung der in der Kläranlage auftretenden Spitzenlasten um diese Tageszeiten bedeutet, wird in einer weiteren Grafik besser veranschaulicht (siehe Abbildung 12).

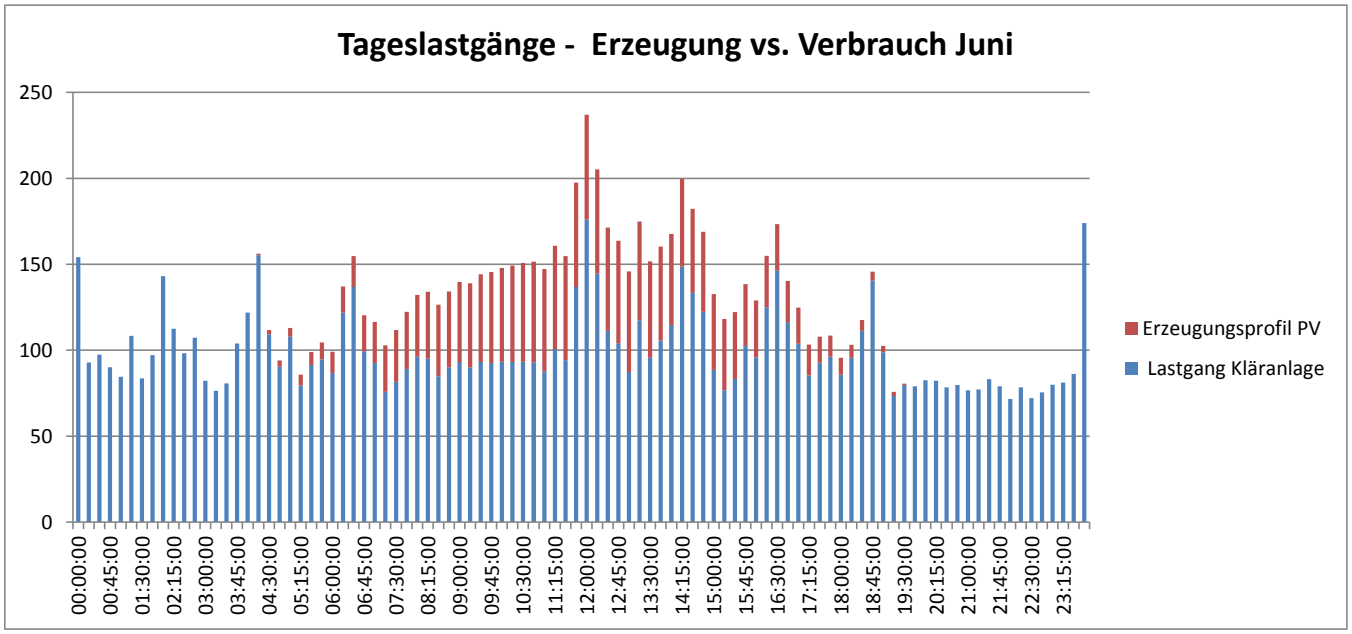


ABBILDUNG 12: VISUALISIERUNG DER GEGENÜBERSTELLUNG DES PV-ERZEUGUNGSPROFILS MIT DEM LASTPROFIL DER KLÄRANALGE - JUNI

Im vereinfachten Berechnungsmodell sind diese Lastgangsvergleiche für die Monate Juni und Dezember beispielhaft dargestellt. Dort kann das vom EVU angeforderte und über den Lastprofilzähler ausgelesene Lastprofil der Kläranlage übertragen werden und die aktuelle oder geplante PV-Anlagenleistung eingegeben werden. Die Einstrahlungswerte sind für die im Leitprojekt betrachtete Region um Güssing vorgegeben, können aber ebenso durch Werte für andere Regionen ersetzt werden. Diese Werte sind wie zuvor erwähnt aus der Online-Strahlungsdatenbank von PV-Gis (http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=de&map=europe) abgerufen und ins Excel-File übertragen werden.

3.4.3 Ermittlung PV-Ausbau

Wenn die Daten hinsichtlich Erzeugung und Verbrauch bekannt und gegenübergestellt sind, lassen sich aus den Darstellungen auch Ableitungen treffen, ob die aktuell installierte Anlagenleistung zur Abdeckung des Eigenstromverbrauchs in den Tagesstunden ausreicht, oder ob zu gewissen Zeiten Überschüsse zu beobachten sind, oder es Zeiten mit Unterdeckung gibt.

Auf Basis der Analysen einer Beispielkläranlage soll dargestellt werden, wie diese Faktoren erkannt werden können. Hierfür wurden Betrachtungen der Kläranlage für Sommer- und Wintermonate, sowie für die Übergangszeit durchgeführt. Aus den Betrachtungen soll ersichtlich werden, mit welcher

Häufigkeit zu jeder ¼ Stunde eines Tages ein Überschuss an PV-Erzeugung auftritt und wie hoch diese im Durchschnitt ist. Selbige Untersuchungen wurden für die Unterdeckungen, d.h. Bezüge aus dem Netz, durchgeführt. Anhand dieser Untersuchung lassen sich jene Stunden ableiten, die für eine Lastverschiebung (Erhöhung) in Frage kämen.

Es soll nun beispielhaft dargestellt werden wie die Ergebnisse der Analysen für die Beispielkläranlage ausgesehen haben, damit die Situationen bei der Gegenüberstellung der Lasten der eigenen Kläranlage auch gleicherweise erkannt werden können.

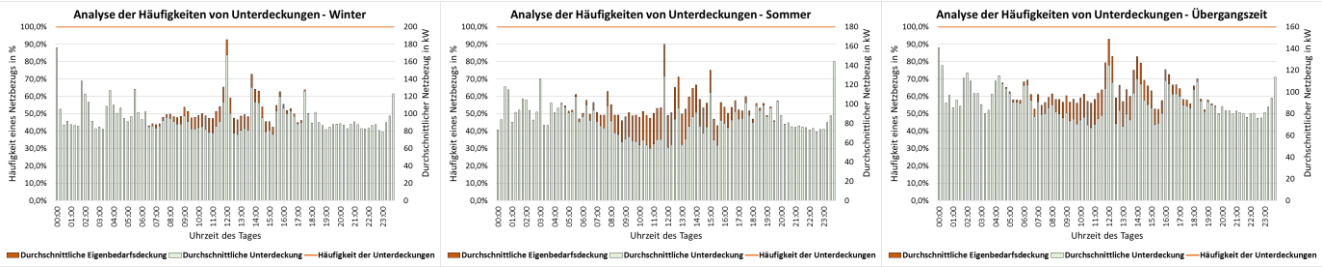


ABBILDUNG 13: BEISPIELHAFTE DARSTELLUNG DER ANALYSE VON HÄUFIGKEITEN VON ÜBERSCHÜSSEN ODER UNTERDECKUNG

Abbildung 13 zeigt die Beispiele der Gegenüberstellung der ¼ Stundenwerte für die Perioden „Winter“, „Sommer“ und „Übergangszeit“. Aus der Analyse kann gesehen werden, dass es bei der dargestellten Größe an PV-Anlage keine Überschüsse erzeugt werden und somit aus aktueller Sicht auch keine Notwendigkeit besteht Lastverschiebungen einzuleiten. Wenn die Häufigkeiten der Unterdeckungen betrachtet werden, kann ebenso erkannt werden, dass die PV-Erzeugung nicht ausreicht um den aktuellen Bedarf zu decken. Es ist klar ersichtlich, dass jede ¼ Stunde des Jahres bzw. zu jeder ¼ Stunde jeder Periode ein Strombezug aus dem Netz gegeben ist. Je nach Jahreszeit trägt die vorhandene PV-Anlage jedoch zur Deckung der aktuellen Last bei. Die in hellgrün dargestellten Balken zeigen den durchschnittlichen Bezug aus dem Netz, während die orangen Balken die Eigenbedarfsdeckung durch die PV-Anlage darstellen. Aufgrund der Charakteristik der PV-Erzeugung, liegt der höchste Beitrag während der Sommermonate vor. Der geringste Beitrag zur Deckung der Last wird in den PV-schwachen Monaten des Winters geleistet. Addiert man beide Balken, erhält man die durchschnittlichen Lastwerte je ¼-Stunde für die Beispielkläranlage.

Bei dieser Beispielanlage wurde auch das Szenario betrachtet, welche Situationen auftreten, wenn die Photovoltaik-Anlagenleistung um das Dreifache erhöht wird. In diesem Szenario ergaben sich vereinzelte Überschusssituationen in der Sommer- bzw. der Übergangszeit. Bedingt durch das Lastprofil der jeweiligen Kläranlage muss aber nicht zwangsweise der Fall auftreten, dass an jedem Tag ein Überschuss zur selben Stunde auftritt. Durch das tagesweise unterschiedliche Lastverhalten kam es bei

der dargestellten Beispielkläranlage an unterschiedlichen Tagen zu Überschüssen, während andere Tage wiederum faktisch keine Überschüsse aufwiesen

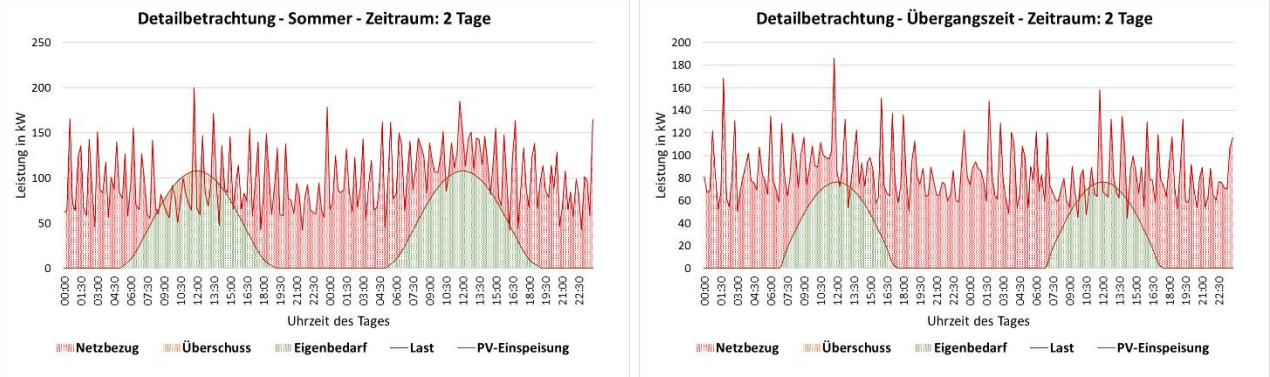


ABBILDUNG 14: DARSTELLUNG DER ÜBERSCHUSSSITUATION DER BEISPIELKLÄRANLAGE

Abbildung 14 veranschaulicht beispielhaft das Szenario mit der 3-fachen Photovoltaikleistung der Beispielkläranlage und der auftretenden Überschusssituation an manchen Tagen, je nach Lastverlauf der Kläranlage und PV-Anlage.

Im vorliegenden Abschnitt wurde nun veranschaulicht, wie Kläranlagenbetreiber bei der Gegenüberstellung von PV-Erzeugung und Lastverlauf der Kläranlage erkennen können, wann ein Überschuss produziert wird und wann Zeiten der Unterdeckung bestehen. Zusätzlich können Sie im, zur Verfügung gestellten, Excel-Tool simulieren, wie die Situation sich mit der Vergrößerung bzw. des Ausbaus der Photovoltaikanlagenleistung verändert.

Ziel sollte eben sein, die Anlage groß genug zu dimensionieren um im Tagesverlauf die Grundlast abdecken zu können. Sollten Überschusssituationen auftreten, sollten die Lasten auch entsprechend von der Nacht auf den Tag verlegt werden, um den Photovoltaikstrom bestmöglich ausnutzen und zur Eigenverbrauchsdeckung heranziehen zu können.

4 Zusammenfassung / Schlussfolgerung

Das vorliegende Handbuch kann nun von Kläranlagenbetreibern dazu verwendet werden, um die Kläranlage energie- und abwassertechnisch zu bewerten und sich einen Überblick zu verschaffen, wie die aktuelle Eigenstromabdeckung erfolgt, wie Überschüsse identifiziert und wie Lastverschiebungspotentiale eruiert werden können. Das Handbuch beinhaltet kurz und übersichtlich zusammengefasst das erforderliche Wissen, um das Potential für Lastverschiebungen auf Kläranlagen ohne Schlammfaulung identifizieren, abschätzen und in weiterer Folge auch im Betrieb realisieren zu können. Bei den betrachteten Kläranlagen wurde eine Kategorisierung auf Basis der Ausbaugröße und dem angewandten Reinigungsverfahren vorgenommen.

Ein wichtiges Ziel des Handbuchs war es auch, dass die Ergebnisse aus dem Leitprojekt entsprechend in einen Leitfaden übertragen werden, damit Kläranlagenbetreiber auch ohne Unterstützung eines externen Experten ihre Möglichkeiten und Potentiale ausloten und Testläufe durchführen können.

Das Handbuch ist (wie aus Abbildung 15 ersichtlich) schrittweise aufgebaut, wo sich Anwender über die Situationen und Möglichkeiten der eigenen Anlage, angefangen von der Eigenbewertung mittels „Erst-Check“ bis hin zur Gegenüberstellung von Lastverläufen, einen Überblick verschaffen und Potentiale für reale Testläufe ermitteln können.

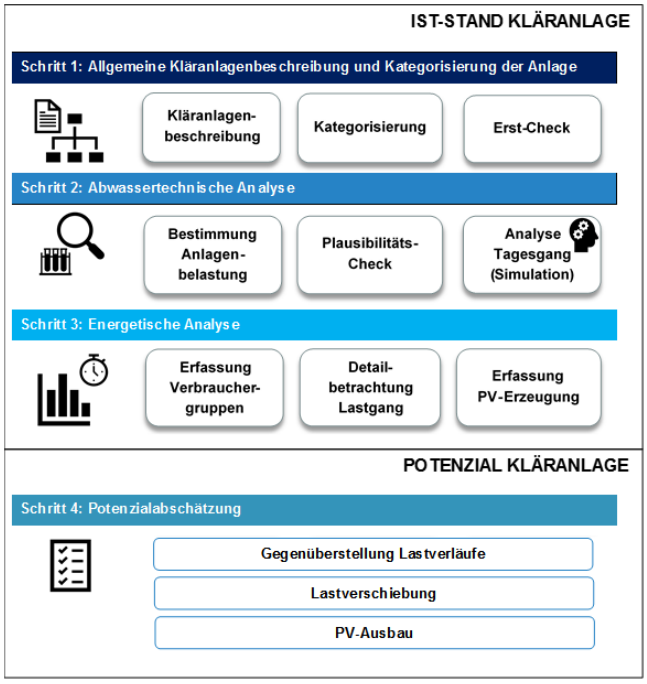


ABBILDUNG 15: DARSTELLUNG DES HANDBUCH-AUFBAUS

Hintergrund der Betrachtungen zur Lastverschiebung auf der Kläranlage, sollte immer die Identifizierung von Überschüssen aus der PV-Produktion sein. Dass bedeutet, wenn die PV-Anlage entsprechend groß dimensioniert ist, um den Großteil des Energieverbrauchs der Kläranlage zu erzeugen, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass zu bestimmten Zeiten des Tages (bedingt durch die Erzeugungscharakteristik der PV-Anlage vor allem um die Mittagszeit) Überschusssituationen auftreten. Das Auftreten von Überschusssituationen sollte zu unterschiedlichen Perioden des Jahres (Sommer, Winter, Übergangszeit) analysiert werden und wenn diese klar erkannt werden, ist es sinnvoll die Möglichkeiten zur Lastverschiebung unterschiedlicher Aggregate zu untersuchen, um das auftretende Überangebot an Sonnenstrom zu gewissen Tageszeiten zur Eigenstromabdeckung zu nutzen.

Wichtig ist auch zu erwähnen, dass sich herausgestellt hat, dass eine Lastverschiebung nicht unbedingt mit Stromeinsparungen, sondern zu einem geringfügig höheren Strombedarf führt. Denn wenn bestimmte Aggregate über die Nacht weitestgehend abgestellt werden, ist es oft notwendig diese am Tag umso länger und intensiver zu aktivieren, damit die Biologie der Kläranlage nicht beeinträchtigt wird und die Grenzwerte im Kläranlagenablauf eingehalten werden können. Diese verstärkte Aktivierung gewisser Aggregate am Tag, führte bei den untersuchten Kläranlagen zu einem erhöhten Strombedarf von rund 5%. Diese zusätzlich am Tag benötigte Energie, sollte durch das auftretende Überangebot an PV-Strom zu diesen Zeiten kompensiert werden.

Zusammengefasst kann aus den Ergebnissen und Erkenntnissen des Leitprojekts der Klima- und Energiemodellregion „Das ökoEnergieland“ angemerkt werden, dass es grundsätzlich kein allgemeines Rezept zur Lastverschiebung von Kläranlagen ableiten lässt, da die Anlagen sowohl von der Größenordnung, als auch von der Betriebsweise zum Teil sehr unterschiedlich im Verbrauchsverhalten sind und sich daraus kein globaler Trend ableiten lässt. Im Projekt wurden ausschließlich Belebungsanlagen ohne Schlammfaulung untersucht und hier sowohl Belebungsanlagen im Durchlauf, als auch im Aufstaubetrieb (SBR-Anlagen) und es haben sich deutliche Unterschiede im Lastverlauf gezeigt. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, dieses Handbuch zu erstellen, um die Lastverschiebungspotentiale nicht ausschließlich auf gewisse Anlagentypen mit bestimmten Größenordnungen und Betriebsweisen einzuschränken, sondern übergeordnet einen Leitfaden für sämtliche Analgenbetreiber zu verfassen, der aufzeigt wie die Potentiale zur Lastverschiebung erkannt, wie die Eigenverbrauchsabdeckung durch die aktuell installierte PV-Anlage ermittelt und wie PV-Ausbaupotentiale eruiert werden können.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt der sich im Zuge des Projekts herausgestellt hat und welcher im vorliegenden Handbuch ebenso Erwähnung finden sollte ist, dass viele Prozesse in Kläranlagen nicht oder nur bedingt zeitsteuerbar sind. So war es beispielsweise bei den Praxis-Testläufen der Kläranlagen in der KEM ökoEnergieland nur möglich, die Parameter am Abend händisch zu verstellen (beispielsweise die Pausenzeiten der Belüftung der Belebungsbecken) und am Morgen wieder manuell zu korrigieren.

Die Anlage und die Gesamtprozesse verlaufen zwar teilwiese nach einem bestimmten zeitlichen Zyklus, aber dieser ergibt sich zumeist aus den eingestellten Parametern und Grenzwerten. Anlagenplaner sollten daher berücksichtigen, wenn eine Anlagensteuerung und -software eingerichtet und programmiert wird, dass die Möglichkeit der Zeitsteuerung über gewisse Tageszeiten und bestimmte Zeitfenster ermöglicht wird. Nur so ist es möglich Lastverschiebungen im laufenden Betrieb langfristig zu ermöglichen.