

Aufbau eines Energieinformationssystems

Methode zur Verbesserung und Überprüfung der Energieeffizienz

Optimisation énergétique de l'épuration des eaux usées

Les stations d'épuration des eaux usées consomment plus d'énergie que nécessaire. Telle est l'opinion de la plupart des professionnels des eaux usées. Il existe des paramètres de comparaison spécifiques, tels que l'énergie par mètre cube d'eau et des exemples concrets pour améliorer l'efficacité énergétique. Cet article décrit une méthode systématique pour l'optimisation énergétique, qui touche chaque domaine lié à l'énergie d'une station d'épuration des eaux usées, jusqu'au niveau des différents moteurs. Cette méthode a été développée pour et avec le syndicat d'épuration des eaux usées d'Altenrhein (AVA), où il a été possible de mettre en évidence un potentiel d'économie d'énergie de plus de 40 %. Maintenant, l'efficacité énergétique y est améliorée et surveillée de façon continue, sur la base d'une longue liste de mesures.

Development of an Energy Information System

Waste water treatment plants use more energy than necessary, a view shared by most waste water specialists. There are specific benchmarks such as energy per cubic metre of water and practical examples of how to improve energy efficiency. This article describes a systematic method of energy optimisation that covers every energy-related aspect of a waste water treatment plant right down to the individual motors. Developed with the Altenrhein Waste Water Association (Abwasserverband Altenrhein AVA), this method showed an energy saving potential of over 40%. A comprehensive list of measures is now being implemented to continuously improve and monitor energy efficiency.

Rolf Gloor



Abwasserreinigungsanlagen benötigen mehr Energie als nötig. Dieser Meinung sind die meisten Abwasserfachleute. Es gibt spezifische Vergleichsgrößen wie Energie pro Kubikmeter Wasser und konkrete Beispiele zur Verbesserung der Energieeffizienz. In diesem Artikel wird eine Methode zur systematischen Energieoptimierung beschrieben, die jeden energetisch relevanten Bereich einer Abwasserreinigungsanlage bis auf die Ebene der einzelnen Motoren umfasst. Diese Methode wurde mit dem Abwasserverband Altenrhein (AVA) entwickelt. Dort konnte ein Energieeinsparpotenzial von über 40% aufgezeigt werden. Jetzt wird dort mit einer umfangreichen Liste von Massnahmen die Energieeffizienz laufend verbessert und überprüft.

1 Einleitung

Die Abwasserkläranlage Altenrhein reinigt pro Jahr acht Mio. Kubikmeter Abwasser von 80000 Einwohnerwerten (*Abb. 1*). Sie entwässert und trocknet eigenen sowie fremden Schlamm. Dazu konsumiert sie rund 9 GWh Elektrizität für jährlich gegen eine Million Franken. 2009 beauftragte der Abwasserverband Altenrhein (AVA) einen Energieberater zur Verbesserung der Energieeffizienz. Die Bestandsaufnahme zeigte, dass in vielen Bereichen schon geregelte Antriebe einge-



Abb. 1 Abwasserverband Altenrhein (AVA) reinigt im Schnitt acht Millionen Kubikmeter Abwasser pro Jahr.

setzt und dass Anlagenteile laufend modernisiert werden. Obwohl die Abwasseranlage verglichen mit anderen Anlagen einen hohen spezifischen Stromverbrauch aufweist, konnten in einer ersten Beurteilung keine grossen Energiesparmöglichkeiten festgestellt werden. Man entschied sich daher für ein systematisches Vorgehen, bei dem jeder Prozess einzeln analysiert und beurteilt wird.

Durch die laufenden Erweiterungen wurden verschiedene nicht zusammengehörende Anlagenteile an die einzelnen Unterstationen mit internen Elektrizitätszählern angeschlossen. Deswegen konnte man zum Beispiel nicht feststellen, ob nun die Belebtschlammbiologie oder die Festbett-Trägerbiologie, die sich den Abwasserstrom aufteilen, energieeffizienter ist.

2 Energieanalyse

Der Vergleich von gemessenem und erforderlichem Energiekonsum der verschiedenen Anlagenteile ist das Grundprinzip der

Energieanalyse. Um die verschiedenen Messmethoden miteinander zu kombinieren, wurde als Vergleichsgrösse die Durchschnittsleistung genommen. Multipliziert man diese Leistung mit den 8760 Stunden eines Jahres, resultiert der Jahresverbrauch.

2.1 Strommessung

Die Abwasserreinigungsanlage Altenrhein ist über fünf Transformatoren an das Elektrizitätswerk angeschlossen. Zudem sind drei mit Klärgas betriebene Blockheizkraftwerke und zwei Notstromdiesel vorhanden (Abb. 2 und 3). Die 33 internen Stromzähler wurden monatlich abgelesen und die Werte in einer Tabelle erfasst, um die Durchschnittsleistung zu errechnen. Durch die Kontrolle der Summe von Unterzähler mit übergeordneten Zählern und den Werten der letzten Monate konnten die Messung überprüft und Fehler korrigiert werden.

Die Erfassung des Jahreslastganges der Anlage zeigt den Einfluss der Witterung auf den Energieverbrauch. Während der Untersuchungsperiode wurden aber energetisch relevante Anlagenteile (gasbeheizter Trommelrockner, Wärmepumpen, Bandrockner) umgebaut, sodass eine Auswertung keinen Sinn ergab.

2.2 Wärmemessung

Die Messung des Wärmekonsums ist im Aufbau und die Temperatursensoren sind noch nicht durchgehend kalibriert. Wie bei der Strommessung ist die Vergleichsgrösse die durchschnittliche Leistung. Auch hier zeigte die Vergleichsrechnung der Summe von Unterzähler mit den übergeordneten noch Messfehler, die durch zusätzliche Wärmehähler reduziert werden können (Abb. 4).

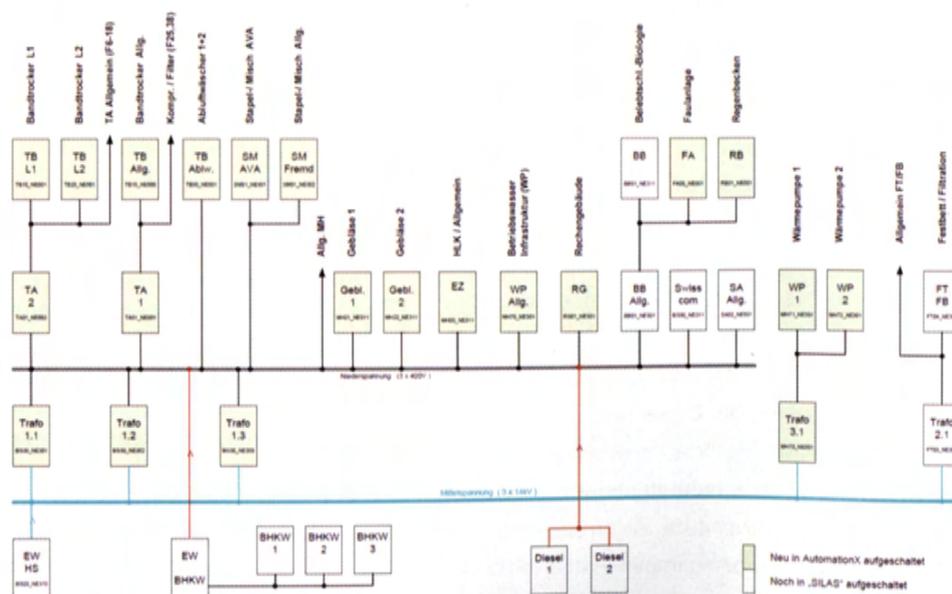


Abb. 2 Schema Stromnetz mit den drei parallel geschalteten Transformatoren 1.1., 1.2 und 1.3.



Abb. 3 Die drei mit Klärgas betriebenen Blockheizkraftwerke steuern einen Viertel des durchschnittlichen Leistungsbezugs der Abwasserreinigung Altenrhein von 1000 kW bei.

2.3 Motorenliste

Der Abwasserverband Altenrhein hat in einer Datenbank alle Anlagedaten gespeichert, so dass mit geringem Aufwand eine Motorenliste erstellt werden konnte. Anhand des Leitsystems und der Erfahrung der Mitarbeiter konnte den rund 650 Antrieben eine jährliche Laufzeit zugeordnet werden. Bei den Antrieben mit einer möglichen Durchschnittsleistung von über 100 W wurde die Stromaufnahme im durchschnittlichen Betriebspunkt gemessen. Die Aufnahmeleistung der etwa 120 Antriebe, die mit einem Frequenzumrichter ausgerüstet sind, ergibt sich aus Strom mal 690 V. Bei den übrigen Antrieben wurde anhand des Nennphasenwinkels der Leerlaufstrom bestimmt und

AK-Nummer	Anlage	Stunden pro Jahr	Leistung	Mittlere Leistung	Nennleistung	Wirkungsgrad	IE3-Referenz
TB34_KL301	Abluftwäscher Linie 2	7500	16.3	14.0	75	90%	95%
FT40_KL101	Kompressoranlage	3898	29.6	13.2	30	89%	94%
FT40_KL102	Kompressoranlage	3885	29.6	13.1	30	89%	94%
TB11_KL301	Bandrockner 1	7000	13.6	10.9	37	92%	94%
TB12_KL301	Bandrockner 1	7000	13.6	10.9	37	92%	94%
TB13_KL301	Bandrockner 1	7000	13.6	10.9	37	92%	94%
TB14_KL301	Bandrockner 1	7000	13.6	10.9	37	92%	94%
TB21_KL301	Bandrockner 2	7000	13.6	10.9	37	92%	94%
TB22_KL301	Bandrockner 2	7000	13.6	10.9	37	92%	94%
TB23_KL301	Bandrockner 2	7000	13.6	10.9	37	92%	94%
TB24_KL301	Bandrockner 2	7000	13.6	10.9	37	92%	94%
FA61_KF101	Gaseinpressung VF 1	6000	14.7	10.1	22	90%	93%
FA62_KF101	Gaseinpressung VF 2	6000	14.7	10.1	22	90%	93%
PW10_PA104	Hauptpumpwerk	802	97.3	8.9	92	95%	95%
FA50_PS401	Schlamm-Eintrag	8000	9.2	8.4	11	83%	91%
TB34_PC101	Abluftwäscher Linie 2	7500	9.7	8.3	11	86%	91%
TB31_PC101	Abluftwäscher Linie 1	7500	9.2	7.9	11	86%	91%
TB32_PC101	Abluftwäscher Linie 1	7500	9.2	7.9	11	86%	91%
TB33_PC101	Abluftwäscher Linie 2	7500	9.2	7.9	11	86%	91%
ME18_PZ102	Zentrifugat	3500	19.0	7.6	19	90%	93%
ME18_PZ101	Zentrifugat	3000	19.0	6.5	19	90%	93%
FA10_PS101	Vorfaulraum 1	8400	6.7	6.4	6	84%	90%
SM00_KL101	Druckluftversorgung	4500	12.0	6.2	15	86%	92%

Tab. 1 Auszug aus der Motorenliste, sortiert nach der Durchschnittsleistung (orange Felder). Die hier rot markierten Motoren haben einen schlechten Wirkungsgrad. Zum Beispiel hat der unterste Motor ein Einsparpotenzial von 6% mit einem Energiesparmotor. Da er nur 6,2 kW Leistung benötigt, liegt die Einsparung nur um 370 W anstelle von 900 W im Nennpunkt.

mit der gemessenen Stromaufnahme die Leistungsaufnahme vektoriell errechnet. Bei Motoren mit zwei Drehzahlen wurde die Rechnung für beide Stufen durchgeführt und dann an-

hand der Stromaufnahme die eingestellte Stufe ausgewählt. Aus den Nenndaten konnte als Nebenprodukt auch der Nennwirkungsgrad errechnet werden. Um das Energieeinsparpotenzial abzuschätzen, wurde die Motorenliste kopiert, nach der Durchschnittsleistung sortiert sowie als Referenz mit dem Wirkungsgrad der besten Energiesparmotoren nach dem IE3-Standard verglichen (Tab. 1).

2.4 Energiezuordnung

Bei der Energiezuordnung werden die einzelnen Motoren den Elektrizitätszählerkreisen zugeordnet und die Leistung wird zusammengezählt. Die Daten der Elektrizitätszähler und der Motorenliste werden bei der Energiezuordnung in einer grossen Excel-Tabelle miteinander verknüpft. Bei jedem Prozess können die einzelnen Antriebe ausgewählt werden, die Daten werden dann automatisch in die Prozessordnungstabelle übernommen (Tab. 2).

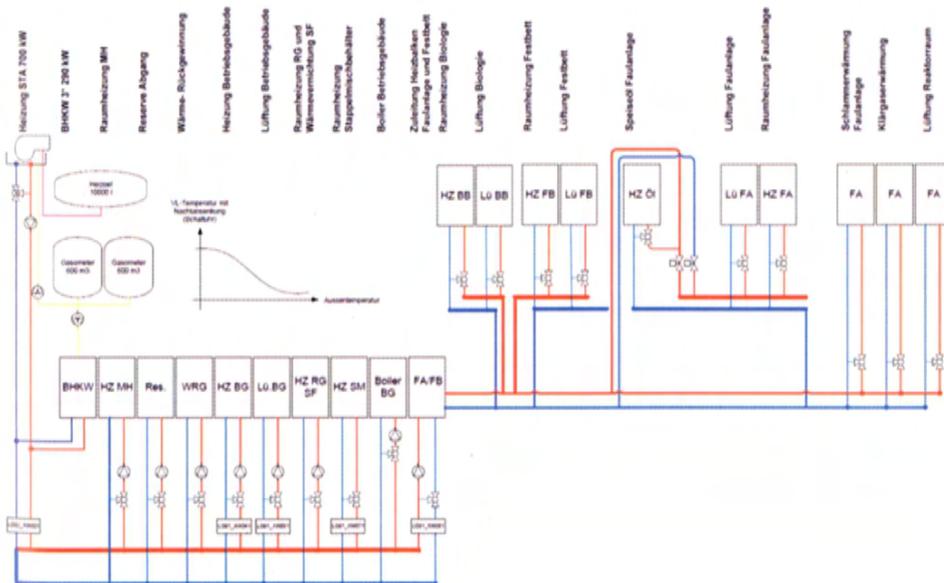


Abb. 4 Schema Wärmenetz. Rot ist Vorlauf, blau ist Rücklauf.

Anlage						Zuordnung								
AK	AK Nummer	Komponente	Pn	P	ED	Leistung	Diverse	RT 1	RG	BB	Anl.			
Summe AVA						1'033	172	173	154	135	33	27	51	69
Abwasserreinigung						563.8	111	118	15	69				
Hauptpumpwerk						118.1	0	118	0	0				
Kiesfang						0.7	0	1	0	0				
	KF00_KL301	Abluft-Ventilator	0.08	0.0	100%	0.0	0	1	0	0	0	0	0	
	KF10_PO001	Hydraulikpumpe	2.2	0.0	0%	0.0	0	1	0	0	0	0	0	
	KF20_PO001	Hydraulikpumpe	2.2	0.0	0%	0.0	0	1	0	0	0	0	0	
	KF30_PA101	Pumpe	11	11.4	3%	0.3	0	1	0	0	0	0	0	
	KF30_PA102	Pumpe	11	11.8	3%	0.3	0	1	0	0	0	0	0	
Pumpen						110.0	0	110	0	0				
	PW10_PA101	Trockenwetterpumpe	90	80.9	58%	46.9	0	1	47	0	0	0	0	
	PW10_PA102	Trockenwetterpumpe	90	80.9	28%	22.6	0	1	23	0	0	0	0	
	PW10_PA103	Trockenwetterpumpe	92	97.3	29%	28.5	0	1	28	0	0	0	0	
	PW10_PA104	Trockenwetterpumpe	92	97.3	9%	8.9	0	1	9	0	0	0	0	
	PW10_PA105	Regenwetterpumpe	250	153.0	1%	1.5	0	1	2	0	0	0	0	
	PW10_PA106	Regenwetterpumpe	250	153.0	1%	1.5	0	1	2	0	0	0	0	
	PW10_PA110	Pumpe	2.3	0.0	0%	0.0	0	1	0	0	0	0	0	
	PW10_PA111	Notleckwasser-Pumpe	15	0.0	0%	0.0	0	1	0	0	0	0	0	
	PW10_PA112	Pumpe	3.8	0.0	0%	0.0	0	1	0	0	0	0	0	
Kanallüftung						7.4	0	7	0	0				
	BG95_KL321	Ventilator	2.2	1.6	100%	1.6	0	1	2	0	0	0	0	
	BG95_KL322	Ventilator	18.5	4.1	100%	4.1	0	1	4	0	0	0	0	
	BG95_KL331	Ventilator	3.8	0.9	100%	0.9	0	1	1	0	0	0	0	
	BG95_KL332	Ventilator	2.2	0.8	100%	0.8	0	1	1	0	0	0	0	
	BG95_KL351	Ventilator	0.1	0.1	100%	0.1	0	1	0	0	0	0	0	
	BG95_KL352	Ventilator	0	0.0	100%	0.0	0	1	0	0	0	0	0	
Regenbecken / Katastrophenbecken						0.9	0.9	0	0	0				
Diverse						0.9	1	0	0	0				
	RB20_PA101	Entleerungspumpe RB20	3	4.1	17%	0.7	1	1	0	0	0	0	0	
	RB30_PA101	Entleerungspumpe RB30	3	4.1	2%	0.1	1	0	0	0	0	0	0	
	RB00_RA301	Rührwerk KB10, RB20/30	11	3.7	3%	0.1	1	0	0	0	0	0	0	
	KB10_PA101	Tauchpumpe	2.2	4.4	0%	0.0	1	0	0	0	0	0	0	
Rechenanlage						2.2	0	0	2	0				
Pumpen						0.0	0	0	0	0				
	RG00_PA101	Entwässerungspumpe	2	0.0	0%	0.0	0	0	1	0	0	0	0	
	RG30_PC201	FHM - Beschickungs-Pumpe	0	0.0	4%	0.0	0	0	1	0	0	0	0	

Tab. 2 Auszug aus der Energiezuordnung, die Leistung ist in kW. In den blauen Spalten werden die zugeordneten Leistungswerte übertragen. Die eingerückten orangen bis violetten Felder sind die Hierarchie für die Prozesse.

2.5 Prozessbilanz

Auf Basis der Energiezuordnung und den bekannten Einflussgrößen wie Zulaufmenge, Hubhöhe, Luftmenge und Druck kann der theoretische und aktuelle Stromkonsum verglichen werden (Tab. 3). Die theoretische Leistung ist praktisch nicht erreichbar, aber aus ihr

lässt sich der Prozesswirkungsgrad errechnen. Je nach Prozess und Anlagengröße gibt es einen sogenannten Stand der Technik. Zum Beispiel hat eine grosse Pumpe mit mehr als 15 kW Leistung einen Wirkungsgrad von 75%. Verglichen mit diesem Wert lässt sich das Energieeinsparpotenzial berechnen.

Pumpenleistung [kW]	= Wassermenge [kg/s] * Hubhöhe [m] * Erdbeschleunigung [9.81 m/s ²] * 1000 W/kW
Ventilatorleistung [kW]	= Luftmenge [m ³ /s] * Differenzdruck [kPa]
Gebläseleistung [kW]	= Luftmenge [m ³ /s] * Ansaugdruck [100 kPa] * ln (Enddruck/Ansaugdruck)
Wärmeleistung [kW]	= Wassermenge [kg/s] * Wärmehalt [4.18 kWs/kgK] * Temperaturdifferenz [K]
Verdampfungsleistung [kW]	= Wassermenge [kg/s] * Verdampfungswärme [2400 kWs/kg]

Tab. 3 Grundlagen zur Berechnung der theoretischen Leistung.

Erklärungen zu Beispielen aus Tabelle 4

- **Hauptpumpwerk: Pumpen**
Für das Hochpumpen von rund 260 Liter Wasser pro Sekunde über eine Höhe von 14 m wäre physikalisch eine Leistung von 36 kW erforderlich. Eine gute Pumpe mit 80% Wirkungsgrad würde 45 kW elektrische Leistung beziehen. Verglichen mit der errechneten Leistungsaufnahme von 110 kW ergibt das ein Einsparpotenzial von 65 kW.
- **Hauptpumpwerk: Kanallüftung**
Für die erforderliche Luftwechselrate ist eine Luftmenge von 5 m³/s nötig. Bei einer Druckdifferenz von 300 Pa und einem Ventilatorwirkungsgrad von 75% sind dafür 2 kW Leistung aufzuwenden. Gegenüber der gemessenen Leistung von 7 kW ergibt sich eine Einsparung von 5 kW.
- **Belebtschlamm-Biologie: Belüftung**
Für 1 m³/s Luft über eine Druckdifferenz von 40 kPa ist bei einer isothermen Verdichtung eine Leistung von 35 kW erforderlich. Ein gutes Gebläse in dieser Leistungskategorie hat einen Wirkungsgrad von 65%, was eine Leistungsaufnahme von 55 kW ergibt. Die Gebläse benötigen aber 105 kW, das heisst 50 kW zu viel. Bei der Komprimierung erwärmt sich die Luft auf 60 bis 80 °C. Mit einem Wärmetauscher steht etwa 80% der elektrischen Aufnahmeleistung von Gebläsen und Kompressoren als Wärme zur Verfügung. Bei 105 kW Elektrizität bei installierten Gebläsen sind das 84 kW Wärme.
- **Festbett-Trägerbiologie: Infrastruktur**
Die Ventilatoren für die Festbettbiologie, welche die Schaltschränke und die Gebläse mit kühler Aussenluft versorgen und die Abwärme aus dem Gebäude blasen, benötigen 29 kW elektrische Leistung. Für den effizienten Transport der erforderlichen Luftmenge im Bereich von einigen Kubikmetern pro Sekunde reichen wenige Kilowatt Leistung. Die massive Differenz zur Messung liegt in unregelmässigen und ineffizienten Anlagen.
- **Mechanische Entwässerung: Pumpen**
Um 3,5 Liter Zentrifugat pro Sekunde über einen Widerstand von 10 m Höhe zu transportieren, benötigt auch eine durchschnittliche Pumpe weniger als 1 kW elektrische

Leistung. Die für diese Aufgabe eingesetzte Pumpe hat eine Leistungsaufnahme von 18 kW, wovon 17 kW durch einen Pumpenersatz eingespart werden könnte.

- Nebenbetriebe AVA: Betriebsgebäude

Die rund 1500 m² beheizte Gebäudefläche benötigt bei einem jährlichen Wärmebedarf von 200 kWh/m² 300 000 kWh Wärme im Jahr, was bei 8760 Stunden eine Durchschnittsleistung von 34 kW ergibt. Energetisch sanierte Gebäude würden nur einen Viertel dieser Energie brauchen. Da die Wärmemessung für die Heizenergie noch keine zuverlässigen Werte erlaubt, wurde in der Prozessbilanz eine geschätzte Heizleistung von 50 kW eingesetzt. Die Heizwärme könnte aber auch viel grösser sein.

- Infrastruktur: Summe

Über alle Prozesse wurde der Energieaufwand für die Haustechnik (Ventilatoren, Umwälzpumpen, Druckluft) noch speziell ermittelt, die Summe beträgt 111 kW. Eine energieeffiziente Haustechnik darf nicht mehr als 35 kW Leistung benötigen, man könnte also über 76 kW einsparen.

Über die ganze Anlage beträgt das Einsparpotenzial rund 45%, praktisch und wirtschaftlich umsetzbar sind es etwa die Hälfte, was mehr als 200 kW Einsparung ergibt.

3 Massnahmen

Es sind schon viele Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz umgesetzt worden. Die wesentlichen Antriebe werden mit Frequenzumrichter bedarfsgerecht geregelt, in den meisten Räumen wird die Beleuchtung über Präsenzmelder ein- und ausgeschaltet und es werden Entladungslampen eingesetzt. Zur Bewältigung der Wassermenge in Regenperioden sind Abwasserreinigungsanlagen für die Zulaufmenge in Trockenperioden massiv überdimensioniert. Zudem sind viele Anlagenteile redundant vorhanden, um einen Ausfall der ARA zu vermeiden. Damit alle Teile gleich altern und Wartungsarbeiten zusammengefasst werden können, werden die Anlagenteile abwechselnd betrieben. Dadurch sind Energiesparmassnahmen oft nicht rentabel, wenn alle Teile ersetzt werden. Wenn aber nur eine gute Komponente für den Dauerbetrieb eingesetzt würde und die andern nur für die Regenperioden oder bei einem Ausfall,

Anlage	Physikalisch		Messung		Kennzahl	Stand der Technik	Einsparpotenzial
	Strom	Wärme	Strom	Wärme			
Summe AVA	230	-735	1'033	-131	Einsparung 45%		460
Abwasserreinigung	165	-217	558	0	Einsparung 50%		275
Hauptpumpwerk	37	0	118	0	Einsparung 63%		75
Kiesfang	0		1				
Pumpen	36		110		Wirkungsgrad 28%	75%	65
Kanallüftung	2		7		Wirkungsgrad 20%	70%	5
Regenbecken			1				
Rechenanlage			2				
Sandfang	3	-6	8		Wirkungsgrad 34%	65%	4
Vorklärung			4				
Belebtschlamm-Biologie	48	-84	183	0	Einsparung 49%		90
Belüftung	35	-84	105		Wirkungsgrad 34%	65%	50
Schneckenpumpen	5		20		Wirkungsgrad 25%	75%	14
Schlammumpen	0		1		Wirkungsgrad 13%	60%	1
Rührwerk			44		Systemoptimierung		25
Hebepumpen	8		9		Wirkungsgrad 87%	Messfehler	-2
Infrastruktur			4			50%	2
Festbett-Trägerbiologie	68	-105	196	0			86
Hebepumpen	8		14		Wirkungsgrad 53%	75%	4
Belüftung	52	-105	132		Wirkungsgrad 39%	65%	52
Rezirkulationspumpen	9		21		Wirkungsgrad 41%	75%	10
Infrastruktur			29			70%	20
Filtration	9	-21	46	0			25
Druckluft	9	-21	26		Wirkungsgrad 35%	60%	11
Infrastruktur			20			70%	14
Schlammbehandlung	39	75	136	99	Einsparung 62%		85
Zwischenstapel	0		5		Wirkungsgrad 4%		
Faulraum	5	79	61	99	Einsparung 81%		50
Pumpen	2		30		Wirkungsgrad 5%	50%	27
Schlammwärmung		95		99		Messung?	
Kompressoren	4	-16	20		wird umgebaut	Rührwerk	15
Infrastruktur			11			70%	8
Schlammstapler	1	-4	12	0	Einsparung 81%		10
Pumpen	0		7		Wirkungsgrad 3%	50%	6
Kompressoren	1	-4	5		Wirkungsgrad 21%	60%	3
Mechanische Entwässerung	32	0	58	0	Einsparung 44%	44%	25
Centripresse	32		40			Optimierung	8
Pumpen	0		18		Wirkungsgrad 2%	50%	17
Schlamm Trocknung	343	30	577	201	Einsparung 11%		66
Schlamm Trocknung	12	1'065	173	1'236	Einsparung 18%		32
Bandtrockner 1+2		1'065	109	1'236		Optimierung	20
Wäscher 1+2	12		64			Optimierung	12
Trockenschlamm	0	0	17	0	Einsparung 65%		11
Trockenschlammtransport	0		11		Wirkungsgrad 0%	Schätzung	8
Schlammgebläse	0		6		Wirkungsgrad 0%	Schätzung	3
Wärmepumpen	331	-1'035	387	-1'035	Einsparung 6%		23
Wärmepumpe	324	-1'035	353	-1'035	COP 2.9	Wärmemessung?	
Infrastruktur	8		34		Wirkungsgrad 22%	70%	23
Infrastruktur	-317	-623	-238	-431	Einsparung 14%		33
Blockheizkraftwerke	-319	-639	-293	-598			0
Blockheizkraftwerke	-319	-639	-299	-598			
Infrastruktur BHKW			6				
Nebenbetriebe AVA	3	15	48	167	Einsparung 68%		33
Maschinenhaus			8	117		75%	6
Betriebsgebäude		34	7	50	Dämmung	75%	5
Betriebswasser	3		8		Wirkungsgrad 34%	70%	4
Kompressoren		-19	24			70%	17
Externe Dienste			7				
Werte aus Energiebilanz und Wärmezähler, Schätzung			111		Infrastruktur 69%		76

Tab. 4 Zusammenfassung der Prozessbilanz, alle Werte in Kilowatt. Grün hinterlegt Infrastruktur.

würde sich die Rentabilität deutlich erhöhen. Mit Stromkosten um 11 Rp./kWh kostet eine durchschnittliche Leistung von 1 kW etwa 960 Franken pro Jahr, Tendenz steigend, sodass mit 1000 Franken gerechnet werden kann. Bei einer grosszügigen

Amortisationsdauer von zehn Jahren können zur Einsparung von 1 kW Durchschnittsleistung 10 000 Franken investiert werden. Bei der Wärme aus der Wärmepumpe sind es 3000 Fr./kW (Abb. 5). Die Massnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz lassen sich auf

verschiedene Arten gliedern. Es gibt den klassischen Ansatz über die Systemhierarchie, welche die grössten, aber oft auch teuersten Massnahmen zuerst aufführt:

- I. *Systemwahl*
 Für die meisten Prozesse gibt es verschiedene Alternativen. Zum Beispiel die Belebtschlamm- und Trägerbiologie, für das Hauptpumpwerk gäbe es die archimedische Schnecke oder für die Schlamm-trocknung eine solare Trocknungsanlage.
- II. *Komponentenwahl*
 Für ein gewähltes System gibt es verschiedene Varianten bei den Komponenten, z.B. Pumpen, Ventilatoren, Gebläse und Motoren mit besserem Wirkungsgrad. Am rentabelsten sind bessere Komponenten,

wenn sie alte oder defekte ersetzen. Bei dieser Gelegenheit sollte auch die Dimensionierung überprüft werden, denn die Komponenten sind meistens zu gross dimensioniert.

- III. *Betriebsoptimierung*
 Das Ausschalten von nicht benötigten Komponenten, die automatische Leistungsanpassung an den Bedarf und die gute Wartung der Anlagen (Keilriemen, Sensoren ...).

3.1 Massnahmenliste

Die nachfolgend stichwortartig aufgeführten Massnahmen sind noch nicht auf ihre Wirtschaftlichkeit überprüft worden. Die angegebene Abschätzung der durchschnittlichen Leistungseinsparung gilt nur für die Einzelmassnahme und kann durch andere Massnahmen reduziert werden.



Abb. 6a und b Durch den Zyklenbetrieb können in Zeiten mit schwacher Auslastung einzelne Becken abgeschaltet werden.



Abb. 5 Wärmepumpen gehören mit zu den grossen Stromverbrauchern einer ARA.

Hauptpumpwerk und Sandfang

- *Bessere Pumpen*
 Eine spezialisierte Firma überprüft Alternativen zu den vorhandenen Pumpen. Einsparung von etwa 15 kW.
- *Lüftung Zulaufkanal*
 Überprüfen der Luftmenge, des Druckabfalls und des Ventilators. Einsparung von etwa 3 kW.
- *Belüftung Sandfang*
 Die erforderliche Gebläseluft könnte auch von den nahen grossen Gebläsen der Belebtschlammbiologie geliefert werden. Einsparung von etwa 3 kW.

Belebtschlammbiologie

- *Bessere Gebläse und Verfahren*
 Anhand der Prozessbilanz wurde festgestellt, dass die Gebläse einen Wirkungsgrad von unter 40% haben. Es gibt aber Gebläse mit einem Wirkungsgrad um die 70%. Bei dieser Gelegenheit wird auch die intervallweise Belüftung der Becken geprüft. Einsparung von etwa 30 kW.

– *Bessere Rührwerke*

Die aktuellen Rührwerke sind ineffizient. Anstelle von 12 mal 3,7 kW sind zum Beispiel 18 mal 0,4 kW denkbar. Eventuell ist noch eine Reduktion der Belüftung möglich. Einsparung von etwa 20 kW.

– *Neue Schneckenpumpenantriebe*

Die aktuellen Antriebsmotoren sind alt und lassen sich nicht auf tiefen Drehzahlen betreiben. Es werden Versuche mit besseren Antrieben durchgeführt. Einsparung von etwa 8 kW.

Trägerbiologie und Filtration

– *Bessere Gebläse*

Anhand der Prozessbilanz wurde festgestellt, dass die Gebläse einen Wirkungsgrad von unter 40% haben. Es gibt aber Gebläse mit einem Wirkungsgrad um die 70%. Einsparung von etwa 40 kW.

– *Zyklusbetrieb*

Bei den acht Becken der Trägerbiologie könnten in Schwachlastzeiten tageweise einzelne Becken abgeschaltet werden. Einsparung von etwa 20 kW (Abb. 6a und b).

– *Pumpen*

Optimierung von jeweils einem Pumpenstrang bei den vier Anlagen mit drei bis vier redundanten Pumpen. Umstellung von Zyklusbetrieb auf Prioritätenschaltung im Leitsystem. Einsparung von etwa 4 kW.

Diverse

– *Rührwerke statt Gebläse*

Die Schlammurchmischung mit den beiden alten explosionsgeschützten Gebläsen ist ineffizient. Als energieeffiziente Alternative wurden darum Rührwerke eingebaut. Einsparung von etwa 15 kW (Abb. 7).

– *Kleinere Transportpumpe*

Einsatz einer richtig dimensionierten Pumpe fürs Zentrifugat ergibt eine Einsparung von etwa 15 kW.

– *Motorenersatz*

Durchgehen der Motorenliste und Identifikation der schlechten Motoren. Kontrolle der Messwerte und Ersatz von Motoren. 20% der Motoren mit 5% weniger Verlusten ergeben eine Einsparung von etwa 10 kW.



Abb. 7 Statt Gebläse werden bei der Schlammurchmischung Rührwerke eingebaut.

– *Probeentnahmepumpen*

Die nicht näher untersuchten Probeentnahmepumpen konsumieren mehr Elektrizität als nötig. Es ist eine diskontinuierliche Förderung und der Einsatz von besseren Pumpen zu prüfen. Einsparung von etwa 4 kW.

– *Air-Jet im Schlammwasserbecken*

Suche nach einer energetisch vernünftigen Alternative für die Durchmischung des Wassers im Schlammwasserbecken. Einsparung von etwa 4 kW.

– *Pumpe für Betriebswasser*

Für die Druckbereitstellung des Betriebswassers wird der Einsatz einer geregelten Pumpe geprüft. Einsparung von etwa 2 kW.

Infrastruktur

– *Heiz- und Klimatechnik*

Temperaturregelung auf zweckmäßige Werte, Reduktion Luftmengen, neue Steuerung. Die Aufnahmeleistung von Umwälzpumpen sollte pro 1 kW Heizleistung nur 1 W betragen. Einsparung von etwa 30 kW.

– *Druckluft*

Trennung Prozess- und Steuerluft. Prozessluft aus dem weitverbreiteten Netz braucht nur noch der Kiesfang für die Mammutpumpen. Die Steuerluft für die vielen Ventile sollte nur noch wenig Druckluft brauchen, was die Suche nach Lecks erleichtert. Einsparung von etwa 10 kW.

– *Trafo*

Kontrolle der Transformatoren auf Verlustleistung. Abschalten von Trafos, Ersatz mit Besseren. Einsparung von etwa 4 kW.

Wärmebereich

– *Wärmeverteilnetz und -messung*
Beide sollten überprüft werden. Einsparung von etwa 15 kW Wärme oder 5 kW Wärmepumpenstrom.

– *Abwärmenutzung*

Die Gebläse und Druckluftanlagen sind auch Wärmequellen auf 50 bis 80 °C Temperaturniveau. Bei der derzeitigen Prozessbilanz ergibt sich ein Potenzial von über 200 kW Abwärme. Bei neu-

en Kompressoren und Gebläsen Systeme mit einem Wärmetauscher Luft/Wasser bestellen. Einsparung von etwa 30 kW Wärmepumpenstrom.

– **Gebäudesanierung**

Durch eine energetische Gebäudesanierung (Fassade, Fenster, Dach) kann der geschätzte Heizenergiebedarf einer Fläche von 1500 m² von derzeit 200 kWh/m²a mehr als halbiert werden. Einsparung von etwa 10 kW Wärmepumpenstrom.

3.2 Spitzenleistungsmanagement

Mit der Reduktion der vom Elektrizitätswerk monatlich verrechneten Leistungsspitze spart man keine Energie ein, aber etwas an Stromkosten (Schätzung 2 bis 5%). Grundlage zur Abschätzung ist das Verhältnis der Durchschnittsleistung zur Leistungsspitze. Die Durchschnittsleistung ist der Energiebezug in einem Monat durch die Stunden. Bei einem konstanten Leistungsbezug wäre die Leistungsspitze gleich gross wie die Durchschnittsleistung, was praktisch nicht erreichbar ist. Der AVA hatte im Jahr 2010 einen durchschnittlichen Leistungsbezug von 1000 kW, wobei die Blockheizkraftwerke 250 kW beisteuerten.

Wird Anfang Monat eine hohe Spitze registriert, muss man bis Monatsende einfach darunter bleiben, was nicht besonders aufwendig sein wird. Der umgekehrte Fall, eine hohe Spitze am Monatsende, ist undankbar. Die Glättung des Leistungsbezugs kann über folgende Massnahmen erfolgen:

- *Wärmespeicherung* zur kurzzeitigen Reduktion der Wärmepumpenleistung (ca. 300 kW).
- *Vielfältige Materialspeicherung*: Regenbecken, Voreindicker, Vor- und Nachfaulraum, Stapel- und Mischbehälter (Anhalten Centripresse, Bandtrockner, Reduktion Wärmepumpe und Wäscher), weitere Prozesse, die verzögert erfolgen können (ca. 500 kW).
- Hochfahren der *Blockheizkraftwerke* aus dem Reservoir der Gasmeter, Nutzung der zusätzlichen Wärme zur Reduktion der Wärmepumpenleistung (ca. 500 kW).
- Hochfahren der *Notstromdiesel* (ca. 900 kW, Heizölkosten und CO₂). Bei einem Dieselpreis von 90 Rappen pro Liter (Energieinhalt 10 kWh/l) und einem Wirkungsgrad von 30% kommt die kWh Dieselstrom auf 30 Rappen zu stehen. Der AVA zahlt beim EW für 1 kWh rund 10 Rappen und für 1 kW Leistung 5 Franken pro Monat. Die Mehrkosten von 20 Rappen pro kWh erlauben eine Diesellaufzeit zur Reduktion der Leistungsspitze von maximal 25 Stunden pro Monat.

Zur Reduktion der Leistungsspitze sollten die vergangenen Tageslastgänge analysiert werden und mit den möglichen Massnahmen korrigiert und beurteilt werden. Die Herausforderung ist die Festlegung einer vernünftigen geplanten Leistungsspitze. Ist sie zu hoch, dann verschenkt man Geld, ist sie wieder-

rum zu tief, dann ist der Aufwand grösser als die Einsparung.

4 Weiteres Vorgehen

Die Energiebilanz sollte weitergeführt und verfeinert werden. In einer ersten Phase wurde ein Mitarbeiter mit vertieften Excel-Kenntnissen in das Rechenwerk eingeführt. In einer späteren Phase sollte die Energiebilanz eine eigenständige Komponente werden, die mit dem Leitsystem, der Anlagendatenbank und dem Reporting verknüpft ist. Die Energiebilanz könnte auch mit einer Stoffflussbilanz erweitert werden. Damit die Energieoptimierung neben all den anderen Aufgaben nicht in Vergessenheit gerät, wird in einem jährlichen Energieaudit über das Erreichte und Geplante berichtet.

Unterstützung des Projekts

Dieses Projekt wurde durch das Kantonale Amt für Umwelt und Energie (AFU) des Kantons St.Gallen im Rahmen des kantonalen Energieförderungsprogramms mit einem finanziellen Beitrag unterstützt, wofür sich der AVA und der Autor an dieser Stelle recht herzlich bedanken möchten.

Das Bundesprogramm ProKilowatt 2011 unterstützt die Umsetzung von drei Massnahmen mit einem Beitrag von 200 000 Franken.

Links

- [1] www.ava-altenrhein.ch
- [2] www.energie.ch

Keywords

Kläranlage – Energieanalyse – Energiesparmassnahmen

Autor

Rolf Gloor
Gloor Engineering
Oberdorfstrasse 4
CH-7434 Sufers
Tel. +41 (0)81 630 90 10
gloor@energie.ch