

# FEINANALYSE – RICHTIG EIN- UND UMGESETZT

## ERGEBNISSE AM BEISPIEL DER ARA KLOTEN OPFIKON ZH

**Systematische, detaillierte Energieanalysen auf ARA lohnen sich – insbesondere, wenn eine Sanierung oder Erweiterung ansteht. Die Analyse hilft, sinnvolle Energiemassnahmen zu erhalten, diese schrittweise umzusetzen und so die Energiepotenziale auszuschöpfen. Die Ergebnisse am Beispiel der ARA Kloten Opfikon AKO bestätigen, dass damit der ökonomischen wie auch der ökologischen Nachhaltigkeit Rechnung getragen werden kann. Zudem ist es sogar möglich, einen finanziellen Mehrertrag zu generieren.**

*Stefano Quarenghi, Hunziker Betatech AG  
Ernst A. Müller\*, Michèle Vogelsanger, InfraWatt*

### RÉSUMÉ

#### ANALYSE DÉTAILLÉE – DÉPLOIEMENT ET MISE EN ŒUVRE CORRECTS AVEC L'EXEMPLE DE LA STEP DE KLOTEN OPFIKON ZH

Les exigences croissantes en termes de capacité ont poussé la station d'épuration des eaux usées (STEP) de Kloten Opfikon AKO à s'agrandir et à adopter une étape de nettoyage supplémentaire pour l'élimination des micropolluants. Les responsables ont donc décidé de réaliser une analyse détaillée des aspects énergétiques dans le cadre du projet de construction afin d'optimiser l'installation sur les plans énergétiques et économiques. Les résultats sont étonnants et réjouissants. Les mesures énergétiques adéquates permettent à l'AKO d'être à la pointe sur le plan énergétique car elle respecte même les valeurs énergétiques optimales strictes du guide «Énergie dans les stations d'épuration». En outre, l'alimentation en chaleur de la STEP à la fin des travaux en 2040 sera neutre en CO<sub>2</sub>. Conformément aux prévisions, la consommation électrique absolue augmente nettement du fait de l'élimination des micropolluants et du développement de l'équivalent-habitant. Les émissions grandissantes de gaz d'épuration combinées avec des centrales de cogénération efficaces permettent d'augmenter significativement la production électrique propre et de réduire de deux tiers la consommation électrique du réseau par rapport à aujourd'hui, et ce malgré les prestations supplémentaires. Les mesures énergétiques déterminées

### VOM VORCHECK BIS ZUR FEINANALYSE

#### FEINANALYSE BEI JEDER SANIERUNG

Die ARA Kloten Opfikon AKO muss, wie viele andere Kläranlagen in nächster Zeit, erweitert und saniert werden. Der ideale Zeitpunkt also, um mit einer detaillierten Feinanalyse die ARA für die Zukunft energetisch fit zu machen. Betriebsleiter der AKO, *Michael Kasper*, hat im Rahmen des Bauprojektes denn auch eine solche Feinanalyse in Auftrag gegeben. Diese wurde von EnergieSchweiz finanziell unterstützt und kann als Muster bezogen werden [1]. «Die Feinanalyse hat sich für uns gelohnt, denn wir haben einen Überblick über die Energiepotenziale erhalten, sodass wir die diversen wirtschaftlichen Massnahmen in die Ausschreibung integrieren konnten und auch umsetzen werden. Damit werden wir zukünftig trotz Elimination der Mikroverunreinigung und Kapazitätsausbau die Stromkosten gegenüber heute senken können», zieht Kasper Bilanz zum Ergebnis der Feinanalyse.

#### VORCHECK – FÜR ALLE FÄLLE

Mit einem «Energieblick» über eine Kläranlage zu gehen, ist in regelmässigen Abständen sinnvoll. Denn schnell ziehen ein paar Jahre ins Land, neue Gewerke installiert, mehr oder weni-

\* Kontakt: [mueller@infrawatt.ch](mailto:mueller@infrawatt.ch)

ger Einwohner oder ein zusätzliches Kanalnetz angeschlossen und schon hat sich ein – zu Beginn effizientes – System auf einer Kläranlage unmerklich verändert. Wenn keine Sanierung ansteht und keine Feinanalyse geplant ist, lohnt sich ein Vorcheck. Damit kann in zehn Minuten geprüft werden, ob Energiepotenzial vorhanden ist und Handlungsbedarf besteht.

#### VORCHECK

- Die ARA hat 1000 oder mehr angeschlossene Einwohnerwerte.
- In den letzten fünf Jahren hat keine umfassende Sanierung stattgefunden.
- In den letzten acht Jahren wurde keine umfassende Energie-Feinanalyse durchgeführt.
- Der Gesamtstromverbrauch beträgt mehr als 30 kWh pro Einwohner und Jahr.

Wer diese Aussagen mehrheitlich mit Ja bestätigen kann, sollte einen kostengünstigen Grobcheck durchführen. Dabei handelt es sich um eine erste grobe Beurteilung über die ganze ARA. Als praktische Hilfestellung gibt es eine Broschüre mit 14 Checklisten [2], nach denen die Kläranlage Schritt für Schritt angeschaut werden kann. Als Ergebnis erhält der Betreiber Vorschläge von Sofortmassnahmen, also Massnahmen, die in weniger als zwei Jahren realisierbar und in weniger als vier Jahren amortisiert werden können. Darüber hinaus enthält ein Grobcheck Hinweise zu weiteren sinnvollen und wirtschaftlichen Massnahmen, die eine vertiefte Untersuchung, sprich Feinanalyse, erfordern. Der Grobcheck ist deshalb ein ausgezeichnetes Instrument, um als Entscheidungsgrundlage für weitere Energieoptimierungen zu dienen.

Einen solchen weitergehenden Schritt hat die AKO im Hinblick auf eine anstehende Sanierung unternommen und eine Energie-Feinanalyse gemäss *Handbuch Energie in ARA* [3] in Auftrag gegeben.

#### AUSGANGSLAGE

##### ERWEITERUNG UND FÜNFTE REINIGUNGSSTUFE

Die ARA Kloten Opfikon reinigt das Abwasser aus den Gemeinden Kloten und Opfikon sowie der *Flughafen Zürich AG*. Die Anlage hat ihren Betrieb im Jahr 1962 aufgenommen und wurde vor mehr als 20 Jahren saniert und für 54 500 Einwohnerwerte (EW) ausgebaut. Die heutige reale Belastung des Klärwerks beträgt jedoch bis zu 95 000 EW. Deshalb wurde entschieden, die Anlage umfassend zu erneuern und zu erweitern [4].

Infolge der neuen gesetzlichen Anforderungen wird die AKO zudem mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen (EMV) erweitert. Als Planungshorizont wurde im Ausbauprojekt das Jahr 2040 festgelegt, bis dahin wird eine Zunahme der Rohabwasserfrachten von 43% prognostiziert. Die zukünftige Belastung der ARA errechnet sich somit zu 135 000  $EW_{CSB}$  (85%-Wert, Basis 120 g CSB/EW/d), wobei die Feinanalyse auf den Jahresmittelwert von 113 000  $EW_{CSB}$  abstützt.

Die biologische Reinigung wird zukünftig mittels *Nereda*®-Verfahren erfolgen. Dabei handelt es sich um eine Methode zur biologischen Abwasserreinigung auf Basis des *Sequencing Batch*

*Reactor*-(SBR)-Verfahrens, dessen Vorteil ein tiefer Stromverbrauch ist. Zudem kann mit effizienten Blockheizkraftwerken und steigendem Klärgasanfall auch die eigene Stromproduktion deutlich gesteigert werden, sodass elektrisch ein höherer Eigenversorgungsgrad als heute angestrebt wird, der mit 85% über dem Idealwert von 75% liegen wird. Das thermische Energiekonzept hat zum primären Ziel, die AKO vollständig ohne fossile Brennstoffe – also  $CO_2$ -neutral – und autonom betreiben zu können.

#### ZIELE EINER FEINANALYSE

Für die Feinanalyse wird eine Liste der Massnahmen mit der energetischen Wirkung und den notwendigen Wirtschaftlichkeitsangaben erstellt, die auf der ARA unter Berücksichtigung der Reinigungsaufgaben und des Betriebes machbar sind. Das Hauptziel einer Feinanalyse ist, den energetischen Nachweis zu erbringen und das Aufzeigen von konkreten Massnahmen zur Erfüllung der Richt- bzw. Idealwerte nach deren Umsetzung, im vorliegenden Fall mit Planungshorizont 2040. Mit der Kosten-Nutzen-Analyse werden die Massnahmen priorisiert und ökonomisch bewertet, unter Berücksichtigung der gesamten Kosten und Einsparungen, immer über die gesamte Lebensdauer betrachtet. Ihre Realisierung wird abhängig vom Kosten-Nutzen-Verhältnis und der zeitlichen Umsetzbarkeit schrittweise vorgeschlagen.

#### GRUNDSÄTZE EINER ENERGIE-FEINANALYSE

1. Energiebedarf reduzieren
  - Reduktion des Fremd- und Abwasseranfalls
  - Richtige Dimensionierung der Anlagen
  - Anwendung von energiesparenden Verfahren unter Berücksichtigung des Reinigungsbedarfes und des Betriebes
2. Energiesparmassnahmen
  - Einsatz hocheffizienter Motoren/Aggregate (v. a. Belüftung, Pumpen)
  - Regelung nach effektivem Bedarf (z. B. intermittierend statt 24-h-Betrieb)
  - Einsatz von energiesparenden Geräten
  - Wärmedämmung
3. Effiziente Deckung des restlichen Energiebedarfes
  - Strom- und Wärmezeugung durch Klärgas, Solarenergie oder andere erneuerbare Quellen ausschöpfen und diese prioritär intern nutzen.
  - Anfallende Abwärme aus BHKW, Prozessen, Abwasser, usw. intern sowie bei Überschüssen extern mit Wärmeverbund nutzen.
  - Restbedarf wenn möglich aus erneuerbaren Quellen beziehen.

Eine Ausweitung der Betrachtungen über den Zaun der ARA hinaus soll weitere Energieoptimierungschancen, z. B. die energetische Optimierung der Pumpen im Kanalnetz oder die externe Abwasserwärmenutzung, aufzeigen.

#### BESTANDESAUFNAHME

Zuerst wurden die wichtigen Grundlagen für eine energetische Beurteilung der ARA gemäss Bauprojektangaben aufgenommen

		IST	2040
CSB-Belastung ( $EW_{CSB}$ )	$EW_{CSB}$		
85%-Wert		95 000	135 000
Mittelwert		79 000	113 000
Stickstoff-Belastung ( $EW_{N(tot)}$ )	$EW_{N(tot)}$	81 000	116 000
Phosphor-Belastung ( $EW_{P(tot)}$ )	$EW_{P(tot)}$	62 000	89 000
Abwassermenge (durchschnittlich)	$m^3/d$	18 440	26 400
Klärgasanfall <sup>1)</sup>	$Nm^3/a$	870 000	1 700 000
Klärgasnutzung <sup>1)</sup>			
BHKW 1	$m^3/a$	680 000	780 000
BHKW 2	$m^3/a$	180 000	920 000
Abfackelung	$m^3/a$	-0	0
Heizölbedarf	$l/a$	< 1000	0
Gesamtstromverbrauch <sup>2)</sup>	MWh/a	2900	4200
Stromeigenproduktion BHKW <sup>1)</sup>	MWh/a	1500	3600
Strombezug Netz	MWh/a	1400	600
Elektrischer Eigenversorgungsgrad	%	54%	85%
Energieverbrauch Wärme <sup>1)</sup>	MWh/a	4600	5000
Wärmeerzeugung BHKW <sup>1)</sup>	MWh/a	4200	4500
Abwärmequellen <sup>4)</sup>	MWh/a		1300
Thermischer Eigenversorgungsgrad <sup>3) 4)</sup>	%	93%	> 100%

<sup>1)</sup> aus Konzept BHKW vom Bauprojekt, Heizwert Klärgas 6,2 kWh/m<sup>3</sup>  
<sup>2)</sup> ohne Ozonung; 2040: inkl. Ozonung  
<sup>3)</sup> Ziel 2040: Die AKO wärmetechnisch vollständig ohne fossile Brennstoffe zu betreiben.  
<sup>4)</sup> Daten aus Energiekonzept BP

Tab. 1 Anlagezustand gemäss vorangehender Betriebsdaten und Ausbauziel 2040

(Daten: AKO und Hunziker Betatech AG)

(Tab. 1). Betriebsdaten aus früheren Jahren dienten als Vergleichsgrundlagen für den heutigen Anlagenzustand (IST). Der Energieverbrauch beinhaltet den gesamten Energieverbrauch der ARA, inklusive der Schlammfäulung, aber exklusive Regenklärbecken.

Auffallend ist im Ausbau nicht nur der steigende Abwasseranfall, sondern dass auch der Strombedarf wegen der zusätzlichen Reinigungsverfahren sowie der Klärgasanfall gemäss BP-Daten ansteigen. Die Anteile der einzelnen Verfahrensstufen 2040, insbesondere die Biologie mit 59% am Gesamtstrombedarf, entsprechen den üblichen zu erwartenden Aufteilungen. Zwei BHKW produzieren auf der ARA Kloten Opfikon Strom und Wärme, sie werden periodisch ca. alle zwölf Jahre ersetzt. Dank deren Kapazitätserweiterung kann der steigende Klärgasanfall auch im Jahr 2040 vollumfänglich genutzt und die Strom- und Wärmeproduktion deutlich erhöht werden.

## BEURTEILUNGSKRITERIEN

Bereiche der energetischen Beurteilung sind jeweils:

- Siedlungsentwässerung (ARA-extern)
- Kläranlage (ARA-intern)
- Klärschlamm Entsorgung
- Abwasserwärmenutzung
- Kostensenkungsmassnahmen (Verträge mit EVU, Lastspitzenoptimierung usw.)

Die Bewertung der energetischen Qualität einer ARA erfolgt durch einen Vergleich mit den Richt- und den strengeren Idealwerten:

### RICHTWERT

Der Richtwert ist ein aus Feinanalysen und realisierten Energieoptimierungen abgeleiteter Wert, der realistisch erreicht werden kann.

### IDEALWERT

Der Idealwert ist derjenige Wert, der aufgrund theoretischer Berechnungen anhand einer Modellanlage ermittelt wird und der unter optimalen Voraussetzungen erreicht werden kann. Der Idealwert ist deutlich strikter als der Richtwert.

Für die ARA Kloten Opfikon werden für den Planungshorizont 2040 die Idealwerte herangezogen, da die Anlage beinahe komplett saniert wird, z. B. die biologische Behandlung und die Klärgasnutzung. In *Tabelle 2* sind die Beurteilungskriterien für die Kläranlage (ARA-intern) im Ausbauziel 2040 aufgezeigt. Die Idealwerte wurden auf den Einwohnerwert von 113 000  $EW_{CSB}$  (Mittelwert 2040) gemäss Leitfaden «Energie in ARA» bezogen. Beim Gesamtstromverbrauch  $e_{ges}$  ist der Zuschlag für das Hebewerk, die Ozonung und die Filtration berücksichtigt.

## ERGEBNISSE

### STROMMASSNAHMEN

Aus den *Tabellen 2* und *3* geht hervor, dass auf der neuen Anlage AKO 2040 ein sehr guter energetischer Stand vorherrschen wird. Dies, obwohl mit der Ozonung ein zusätzliches, stromintensives Reinigungsverfahren hinzukommt. Der höhere Strombedarf wird grösstenteils mit der optimierten Eigenproduktion aufgefangen, sodass der Strombezug vom Elektrizitätswerk um zwei Drittel sinken wird (*Fig. 1*). Alle Idealwerte werden erfüllt, sogar der gesamte prognostizierte Stromverbrauch pro EW liegt unter dem Idealwert (*grün, Tab. 2*). Besonders der Stromverbrauch der biologischen Behandlung liegt dank dem *Nereda*<sup>®</sup>-Verfahren deutlich unter dem Idealwert, nämlich um 30 Prozent. Folgende Einflussfaktoren sind für die energetische Beurteilung entscheidend:

#### Biologie

Das *Nereda*<sup>®</sup>-Verfahren weist einen tiefen spezifischen Stromverbrauch auf. Der Garantiewert im Bauprojekt liegt bei 15,4 kWh/EW/a (Dimensionierung 90%-Wert: 140 000  $EW_{CSB}$ ), erwartet wird ein Vergleichswert von 11,7 kWh/EW/a.

#### Ozonung

Der Stromverbrauch der neuen MV-Anlage liegt im erwarteten Bereich von 6–8 kWh/EW/a.

Der Idealwert wird bei den Hebewerken dank Energieeffizienzoptimierungen erfüllt, obwohl die zukünftige mechanische Vorreinigung höher liegt als die bestehende und das Abwasser von der Seite Kloten/Flughafen zukünftig auch noch angehoben werden muss (heute nicht

Beurteilungskriterien für Kläranlage (ARA-intern)		Einheit	Idealwert	AKO 2040
e <sub>ges</sub>	Spezifischer Elektrizitätsverbrauch gesamte Kläranlage	kWh/(EW/a)	33.6	31.0
e <sub>BB</sub>	Spezifischer Elektrizitätsverbrauch biologische Behandlung	kWh/(EW/a)	16.8	11.7
N <sub>1</sub>	Grad der gesamten Klärgasnutzung	%	99	100
N <sub>2</sub>	Grad der Klärgasumwandlung in Kraft/Elektrizität	%	37	39 <sup>1)</sup>
N <sub>3</sub>	Spezifische Klärgasproduktion pro organische Trockensubstanz (OTS) in Faulung eingetragen	l/kg oTS	475	489 <sup>1)</sup>
V <sub>E</sub>	Eigenversorgungsgrad – Elektrizität	%	75	85 <sup>1)</sup>
V <sub>W</sub>	Eigenversorgungsgrad – Wärme	%	99	100 <sup>1)</sup>
Idealwert erfüllt				
Idealwert nicht erfüllt				

<sup>1)</sup> Daten aus Energiekonzept BP

Tab. 2 Energetische Beurteilungskriterien ARA-intern (SOLL). Einwohnerwert: 113 000 EW<sub>CSB</sub>

Feinanalyse	AKO 2040				Modellanlage Handbuch VSA/BFE	
	Energie [kWh/a]	Energie Total [kWh/a]	Anteil [%]	Verbrauch pro EW [kWh/EW/a]	Energie Total [kWh/a]	Verbrauch pro EW [kWh/EW/a]
Hebewerk		362 271	10,4%	3.2	446 984	4.0
Rohabwasser	147 825		4,2%			
Biologie	214 446		6,1%			
Vorreinigung		52 826	1,5%	0.5	108 844	1.0
Rechen	9 767		0,3%			
Sandfang	40 291		1,2%			
Vorklärung	2 768		0,1%			
Biologie (Nereda)		1 327 404	37,9%	11.7	1 903 646	16.8
Filtration		269 742	7,7%	2.4	113 287	1.0
Ozonung		827 294	23,7%	7.3	677 490	6.0
Schlammbehandlung		363 713	10,4%	3.2	372 079	3.3
Lüftung		147 497	4,2%	1.3	79 966	0.7
Heizung/Kühlung		33 682	1,0%	0.3	39 985	0.4
Diverses		113 442	3,2%	1.0	53 310	0.5
Brauchwasser	31 764		0,9%			
Druckluft	44 242		1,3%			
Gebäudetechnik	37 436		1,1%			
<b>Total Strombedarf</b>		<b>3 498 000</b>		<b>31.0</b>	<b>3 796 000</b>	<b>33.6</b>
Wert der Modellanlage erfüllt						

Tab. 3 Bewertung der Energieverbräuche pro Verfahrensstufe

(Quelle: Hunziker Betatech AG)

der Fall). Bei der Biologie kann dank dem *Nereda*<sup>®</sup>-Verfahren sogar der Idealwert erfüllt werden, obwohl die Wände der bestehenden Biologiebecken um 2,45 m erhöht und dadurch der Stromverbrauch um 1,2 kWh/EW/a steigen wird. Der gesamte Stromverbrauch liegt damit zukünftig um 8% unter dem Idealwert. Bei der Filtration, der Gebäudetechnik und der Lüftung sind weitere Energiepotenziale zu finden, da die Werte der Modellanlage noch nicht erreicht werden.

Die biologische Reinigungsstufe wird mit 38% immer noch den grössten Anteil am Gesamtstrombedarf einnehmen. Mit einem Anteil von 24% liegt die Ozonung beim geschätzten Energieverbrauch ge-

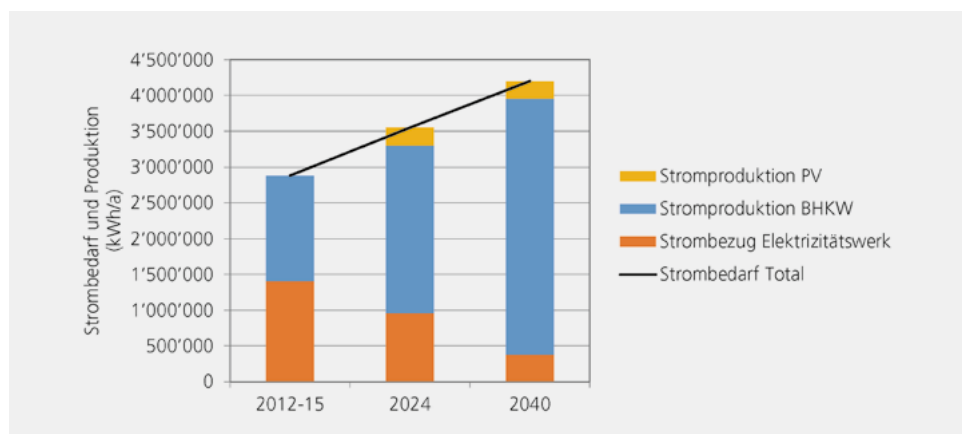


Fig. 1 Trotz eines zusätzlichen Verfahrens wird die AKO ihren Strombezug vom Netz dank Energiemassnahmen um rund zwei Drittel senken und so Energiekosten sparen können.

(Grafik: Hunziker Betatech AG)

mäss einer Studie aus dem Jahr 2017 [5]. Zusammen liegen sie bei 62% und damit beim entsprechenden Wert der Modellanlage von 63% für eine traditionelle Biologie mit Belebtschlammverfahren.

### WÄRMEMASSNAHMEN

Der Wärmebedarf der ARA im Ausbauziel 2040 liegt bei 5000 MWh/a. Die Wärmebilanz ist positiv – sowohl zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme 2020 als auch im Ausbauziel 2040 (Tab. 4). Die Wärmeautarkie wird mit folgenden Massnahmen erreicht:

- Anpassung Temperaturniveau in Gebäuden, Hallen und Räumen (Räume mit geringer körperlicher Belastung mind. 20 °C, Räume mit hoher körperlicher Belastung mind. 10 °C)
- Angebrachte Wärmedämmung der Gebäude und Faultürme
- Luft-Luft-Wärmerückgewinnung bei mittleren und grösseren Monoblöcken
- Abwärmenutzung der Elektroräume und Motoren zur Vorwärmung von grösseren Frischluftströmen (mechanische Vorreinigung)
- Wärmerückgewinnung aus der mechanischen Vorreinigungshalle mit Luft-Glykol- und Glykol-Luft-Wärmetauscher.

Mit diesen Massnahmen kann nicht nur bei den Dimensionierungswerten der gesamte Wärmebedarf mit der eigenen Abwärme aus den verschiedenen Angeboten

gedeckt werden, sondern auch jederzeit über das ganze Jahr autonom gefahren werden.

### BLICK ÜBER DEN ZAUN

Im Rahmen der Feinanalysen wurde auch die Reduktion des Fremdwasseranteiles betrachtet. Es zeigte sich, dass der Fremdwasseranteil bei 22,5% liegt und somit nahe dem Idealwert aus «Energie in ARA». Massnahmen zur Reduktion des Fremdwasseranteiles haben ein Kosten-Nutzen-Verhältnis von 3,7 und sind damit unwirtschaftlich.

Bereits früher liess Betriebsleiter Michael Kasper die Nutzung der Abwasserwärme für das Grossprojekt «Circle» direkt gegenüber dem Flughafen untersuchen, als der vorbeifliessende Kanal zur ARA Kloten Opfikon neu gebaut werden musste. Die Studie [6] zeigte, dass eine Abwasserwärmenutzung aus dem Kanal machbar und auch weitgehend wirtschaftlich vertretbar war. Da man aber zu spät für den Einbau der Wärmetauscher in den neuen Kanal war, wären für den nachträglichen Einbau die Kosten deutlich angestiegen, weshalb das Projekt nicht umgesetzt werden konnte.

Im Rahmen der Feinanalyse wurde die Abwasserwärmenutzung abermals abgeschätzt, diesmal eine Nutzung im Auslauf der Kläranlage für die umliegenden Gebäude, da auf der ARA selbst ein ausreichendes Abwärmeangebot bereits vorhanden war. Die Ausgangslage war

angesichts der nahe liegenden grösseren Liegenschaften für den Aufbau eines Wärmeverbundes vielversprechend.

Das sehen auch die Genossenschaften *Elektra Baselland EBL* und *Energie Opfikon AG* so, die ein neues Fernwärme- bzw. Fernkältenetz in der Stadt Opfikon und Teilgebieten von Rümlang entwickeln möchten. EBL wird dabei die Planung, den Bau, die Finanzierung und den Betrieb der Anlage mit einer Wärmeleistung von ca. 14,8 MW und einer Kälteleistung von etwa 8,9 MW als Contractor übernehmen. Die Umsetzung des Energieverbundes entspricht der kommunalen Energieplanung der Energiestadt Opfikon und der Gemeinde Rümlang. Die Gelegenheit ist zurzeit günstig, da die Erdölpreise wieder ansteigen und beim Ersatz von bestehenden fossilen Heizungen die Stiftung Klimaschutz und CO<sub>2</sub>-Kompensation KliK bis und mit 2030 100 Franken pro Tonne CO<sub>2</sub> vergütet, siehe auch Fachbericht S. 71. Diese Beiträge sind beträchtlich und machen häufig 10 bis 20% der gesamten Gesteungskosten aus.

### ERNEUERBARE ENERGIEN

Im Ausbauziel 2040 wird eine erhöhte Klärgasproduktion erwartet. Entscheidende Einflussfaktoren sind:

- Der Klärgasanfall im Ausbauziel ist proportional zur erwarteten Bevölkerungszunahme.
- Mit einer Faulzeit von 38,4 Tagen und einer Faultemperatur von 35–37 °C gewährleistet die AKO 2040 optimale Bedingungen für eine hohe Ausbeute.
- Die erwartete spezifische Gasproduktion im Jahr 2040 ist deutlich höher als der Erfahrungswert.

Die Klärgasproduktion kann mit der Zufuhr von Fremdsupstrat massgebend weiter gesteigert werden, denn die Gasausbeute variiert je nach Co-Substrat.

Im Rahmen des Ausbaus entstehen neue Dach- und Fassadenflächen, die das Potenzial zur Installation einer Photovoltaikanlage von insgesamt 325 kWp aufweisen. Eine grobe Ertragsprognose weist einen Jahresstromertrag von 250 000 kWh/a aus.

Dies entspricht einem Anteil von ca. 6% am prognostizierten Gesamtstromverbrauch der ARA nach Fertigstellung des Ausbaus [8]. Die Rahmenbedingungen der ARA für einen wirtschaftlichen Betrieb einer Photovoltaikanlage sind optimal, weshalb in der Feinanalyse

Ausbauzeitpunkt	2020	2040	Nutz. Temp.
<b>Wärme- und Abwärmequellen</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>°C</b>
BHKW <sup>1)</sup>	480	515	> 80
Abwärme Gebläse (Prozessluft Wärmerückgewinnung)	80	95	> 50
Abwärme Motoren Pumpwerk	10	10	20–25
Abwärme Elektroräume	44	45	20–25
<b>Total Quellen</b>	<b>614</b>	<b>665</b>	
<b>Wärmeverbraucher</b>	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>°C</b>
Schlammheizung	180	220	80
Mechanische Vorreinigung	95	95	45
Biologiegebäude	40	40	45
Personalgebäude	60	60	45
Schlammgebäude	150	150	45
<b>Total Verbraucher</b>	<b>525</b>	<b>565</b>	
Wärmebilanz (Winter)	<b>+89</b>	<b>+100</b>	

<sup>1)</sup> Werte sind mit neuem BHKW 2 im Betrieb berechnet

Tab. 4 Wärmebilanz im Winter, Vergleich Jahre 2020 (nach IBS) und Ausbauziel

(Hunziker Betatech AG)

empfohlen wurde, die Installation von Photovoltaikanlagen vorzunehmen.

## WIRTSCHAFTLICHKEIT

Der Ausbau der ARA Kloten Opfikon bietet die einmalige Gelegenheit, die empfohlenen Massnahmen in das Bauprojekt zu integrieren. Denn alle ARA-internen Massnahmen weisen ein Kosten-Nutzen-Verhältnis <1 auf und sind damit wirtschaftlich lohnend. Das heisst, der gesamte Aufwand ist kleiner als die Einsparungen, was fachgerecht über die Lebensdauer und eine moderate Energiepreisteuerung gerechnet wird.

Alleine auf der ARA-internen Seite stehen für die acht verschiedenen Massnahmen totale Jahreskosten von 110 000 Franken einem Jahresnutzen von 220 000 Franken gegenüber. Mit einem gesamten Kosten-Nutzen-Verhältnis von 0,5 sind diese Massnahmen wirtschaftlich interessant und somit empfehlenswert. Besonders rentabel sind die Massnahmen mit intermittierendem Betrieb. Diese können mit einem Kosten-Nutzen-Verhältnis von 0,03 und darunter auch ohne Sanierung der ARA als Sofortmassnahmen umgehend umgesetzt werden, da sie in weniger als einem halben Jahr einen finanziellen Gewinn einbringen (Tab. 5).

Auch die Steigerung der erneuerbaren Energienutzung ist bei allen drei untersuchten Massnahmen im rentablen Bereich, die Co-Vergärung sogar äusserst wirtschaftlich. Die Energieproduktionsmassnahmen für die Photovoltaikanlagen und die Abwasserwärmenutzung benötigen zwar entsprechende Investitionskosten, sind aber über die gesamte Lebensdauer gesehen wirtschaftlich sinnvoll.

Bei den BHKW kann der Strom entweder selber genutzt und damit der Bezug bzw. die Kosten für den Einkauf eingespart oder – bei entsprechendem Angebot – als Ökostrom verkauft werden. Seit dem 1.1.2018 gibt es zudem die Möglichkeit des Zusammenschlusses zum Eigenverbrauch (ZEV), dann kann der Strom zusätzlich an Nachbarn sogar über die andere Strassenseite abgegeben werden. In all diesen Fällen lohnt es sich, bei der Planung eines neuen BHKW ein Gesuch für einen Investitionsbeitrag beim Bundesamt für Energie BFE zu prüfen, aber unbedingt vor Baubeginn. Die Beiträge können bis zu 20% der anrechenbaren Investitionen ausmachen [9].

	Nutzungsdauer [a]	Annuität [-]	Mittelwertfaktor [-]	Mehraufwand/Wartung/Unterhalt [Fr./a]	Invest [Fr.]	Energieeinsparungen / Produktion [kWh/a]	Jahreskosten [Fr./a]	Jahresnutzen [Fr./a]	ROI [%]	K/N [-]	Fr./kWh eingespart [-]
<b>ARA-extern</b>											
Reduktion Fremdwasseranteil	25	0,06	1,8	0	200000	11000	11000	3000	1,5	3,67	1,00
<b>ARA-intern</b>											
Hebwerk mit IE4-Motoren	12,5	0,10	1,4	500	150000	160000	15000	34000	21,8	0,44	0,09
Intermittierender Betrieb der Sandfangbelüftung	12,5	0,10	1,4	300	2000	40000	1000	8000	598	0,13	0,03
Einsatz von Turbogebäusen	12,5	0,10	1,4	0	450000	260000	44000	55000	11,9	0,80	0,17
Ozonung – Domdiffusoren	12,5	0,10	1,4	1000	100000	66000	11000	14000	13,9	0,79	0,17
Ozonung – Kühlung des Ozonreaktors	25	0,06	1,8	500	300000	180000	18000	49000	16,2	0,37	0,10
Intermittierender Betrieb Umwälzpumpen FR	12,5	0,10	1,4	300	2000	50000	1000	11000	525	0,09	0,02
Wärmerückgewinnung aus dem Faulschlamm	12,5	0,10	1,4	2000	125000	230000	15000	48000	38,6	0,31	0,07
Kühlung E-Räume mit Erdsonden	25	0,06	1,8	300	30000	15000	2000	4000	13,5	0,50	0,13
<b>Steigerung erneuerbare Energienutzung</b>											
Photovoltaikanlage	25	0,06	1,8	3000	320000	250000	24000	48000	21,4	0,35	0,10
Co-Substrat (Milchserum)	25	0,06	1,8	50000	600000	1000000	124000	2700000	450	0,05	0,01
Abwasserwärmenutzung	25	0,06	1,8	650000	4800000	5700000	1446000	1539000	40,2	0,94	0,25
<b>Total ARA-extern</b>					<b>200000</b>	<b>11000</b>	<b>11000</b>	<b>3000</b>		<b>3,67</b>	
<b>Total ARA-intern</b>					<b>1160000</b>	<b>1000000</b>	<b>110000</b>	<b>220000</b>		<b>0,50</b>	
<b>Total erneuerbare Energien</b>					<b>5700000</b>	<b>1600000</b>	<b>1600000</b>	<b>4300000</b>		<b>0,37</b>	
<b>TOTAL</b>					<b>7100000</b>	<b>1700000</b>	<b>1700000</b>	<b>4500000</b>		<b>0,38</b>	

(Quelle: Hunziker Betatech AG)

Tab. 5 Kosten-Nutzen-Analyse der einzelnen Massnahmen



Fig. 2 Das Ausbauprojekt der AKO wird derzeit realisiert.

#### AUSBLICK

Aktuell befindet sich das Ausbauprojekt der AKO in der Realisierungsphase (Fig. 2). Nach einer gewissen Einlaufzeit der Betriebsphase empfiehlt es sich, jeweils eine Erfolgskontrolle durchzuführen, wobei die Kosten und die Einsparungen überprüft werden. Dabei zeigt sich, ob die energetische Wirkung und die Wirtschaftlichkeit erreicht wurden, und wo Nachbesserungen im System und Ergänzungen sinnvoll sind.

Mit allen Energiemassnahmen ARA-intern können mit Investitionen von 1,16 Mio. Franken. 1 000 000 kWh Energie pro Jahr oder 110 000 Franken an Energiekosten eingespart werden. Oder anders gesagt: Über die Lebensdauer betrachtet ergibt sich für die ARA-internen Massnahmen ein Einnahmenüberschuss von rund 1,9 Mio. Franken. Wird noch die Photovoltaikanlage realisiert, steigt der Einnahmeüberschuss sogar auf 3,5 Mio. Franken. Eine Win-win-Situation für alle – sowohl für die ARA Kloten Opfikon als auch für das Klima und die Energiewende.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] Quarenghi, S.; Moser, R. (2018): *Energie in ARA – Muster-Feinanalyse ARA Kloten Opfikon, mit Unterstützung von EnergieSchweiz/Bundesamt für Energie BFE, Winterthur*
- [2] EnergieSchweiz; Bundesamt für Energie BFE (2018): *Broschüre Betriebliche Sofortmassnahmen – Grobcheck für Kläranlagen, Herausgeber EnergieSchweiz/Bundesamt für Energie BFE in Zusammenarbeit mit InfraWatt und VSA.*
- [3] Müller, E.A. et al. (2010): *Energie in ARA – Leitfaden zur Energieoptimierung auf Abwasserreinigungsanlagen, mit Unterstützung EnergieSchweiz/Bundesamt für Energie BFE und Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA, Bern*
- [4] Kasper, M. (2016): *Abwasserreinigung Kloten/Opfikon, Geschäftsbericht 2014/2015, ARA Kloten Opfikon AKO, Opfikon*
- [5] Büeler, A.; Wunderlin, P.; Müller, E.A. (2018): *Energieeffizienz in Anlagen zur MV-Elimination, Artikel in Aqua & Gas Nr. 11/18*
- [6] Mathys, O.; Moser, R.; Müller, E.A. (2015): *Abwasserenergienutzung aus Kanal. Machbarkeitsstudie The Circle Flughafen Zürich, mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie BFE, EnergieSchweiz und des Flughafens Zürich, Schaffhausen*
- [7] Stiftung Kllk, EPFL (2019): *100% erneuerbare Energie für den EPFL Campus bis 2021, Zürich. Französische Version in Aqua & Gas Nr. 9*
- [8] Mörsch, M.; Eigenmann, N. (2017): *ARA Kloten Opfikon – Machbarkeitsstudie Photovoltaikanlage, Technischer Kurzbericht, Hunziker Betatech AG, Winterthur*
- [9] Bundesamt für Energie BFE (2018): *Investitionsbeiträge für Biomasseanlagen – Faktenblatt, Bern*

#### > SUITE DU RÉSUMÉ

pour la STEP sont rentables, si bien qu'elles permettront de dégager une plus-value financière de 1,9 million de francs sur leur durée de vie, ou 3,5 millions de francs conjointement avec une nouvelle installation photovoltaïque. Cela valait donc largement la peine de s'acquitter du montant de l'analyse détaillée de 21 000 francs.

# Trinkwasser-Flasche beliebtes Kundengeschenk



[www.svgw.ch/Trinkflasche](http://www.svgw.ch/Trinkflasche)



Ihr Ziel ist es, sowohl die Effizienz Ihrer Anlage zu steigern als auch gesetzliche Normen einzuhalten.

## EINHALTEN + HAUSHALTEN

Wir unterstützen Sie dabei, Vorgaben einzuhalten und die Kosten zu verringern, um so die Ressource Wasser zu schützen.

Optimieren Sie Ihre Prozesse mit unserem umfangreichen Portfolio an Messinstrumenten:



**Promag W 400:** Das vielseitige, gewichtsoptimierte magnetisch-induktive Durchflussmessgerät passt perfekt für alle Standardanwendungen.



**Turbimax CUS52D:** Der digitale Sensor für die Inlinemessung ermöglicht das exakte Monitoring der Wasserqualität bei geringsten Trübungen.



**Field Xpert SMT70:** Der Smart Tablet PC ist Ihr Begleiter für einfache Gerätekonfiguration und mobiles Plant-Asset-Management.

**ILMAC** Besuchen Sie uns auf der ILMAC  
24. - 27.09.2019, Basel  
[www.ilmac.ch](http://www.ilmac.ch) Halle 1.1, Stand A150

Erfahren Sie mehr unter  
[www.ch.endress.com/wasser-abwasser](http://www.ch.endress.com/wasser-abwasser)

**Endress+Hauser**   
People for Process Automation