



UVEK
Bundesamt für Energie (BFE)

Energie in ARA Muster-Feinanalyse

Feinanalyse ARA Kloten Opfikon

Objekt Nr. 10109.10
Winterthur, 14. September 2018

Mit Unterstützung von

HUNZIKER **BETATECH**



EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

Impressum:

Projektname: Energetische Feinanalyse

Teilprojekt:

Erstelldatum: 14. September 2018

Letzte Änderung:

Autor: Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
8400 Winterthur
Tel. 052 234 50 50
E-Mail: info@hunziker-betatech.ch
Stefano Quarenghi
Koref. Ruedi Moser

Datei: Q:\Projekte\10000-10109.10 Musterfeinanalyse\04 Berichte\10109.10-181019-b-Feinanalyse - Logo.docx



Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Einführung	4
2.1	Projektziele	4
2.2	Ausgangslage	5
3	Anlagezustand	6
3.1	Strombilanz	7
3.2	Wärmebilanz	10
4	Energetische Beurteilungskriterien	12
4.1	Siedlungsentwässerung	13
4.2	Kläranlage (ARA-intern) - IST	14
4.3	Klärschlamm Entsorgung	14
4.4	Abwasserwärmenutzung	15
4.5	Kostensenkungsmassnahmen	16
5	Energetische Feinanalyse	17
5.1	Ozonung	17
5.2	Ausbauziel 2040 - SOLL	18
5.3	Aufteilung auf die einzelnen Verfahrensstufen	19
6	Massnahmen	21
6.1	Siedlungsentwässerung	22
6.2	Kläranlage (ARA-intern)	23
6.3	Klärschlamm Entsorgung	30
6.4	Abwasserwärmenutzung	30
6.5	Kostensenkungsmassnahmen	31
7	Wirtschaftlichkeit	32
8	Empfehlungen	34
8.1	Massnahmenrealisierung	34
8.2	Erfolgskontrolle	34
9	Grundlagen	35
10	Beilagen	36
10.1	EDV-Tool	36
10.2	Kosten-Nutzen-Analyse	37
10.3	Kosten-Nutzen-Verhältnis	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elektrizitätsverbrauch pro EW	4
Abbildung 2: Aufteilung des Gesamtstrombedarfes der AKO 2012-15 auf die einzelnen Verfahrensstufen	7
Abbildung 3: Gasverwertung in den BHKWs bis Ausbauziel 2040, Quelle: Konzept BHKW [3]	8
Abbildung 4: Gesamtstrombedarf der ARA Kloten Opfikon	9
Abbildung 5: Mittlerer saisonaler Wärmebedarf der ARA Kloten Opfikon [6]	10
Abbildung 6: Aufteilung des Gesamtstrombedarfes der AKO 2040 auf die einzelnen Verfahrensstufen	20
Abbildung 7: Einsatzbereich Gebläsetypen	24
Abbildung 8: Maske vom EDV-Tool für die Erarbeitung von Feinanalysen	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anlagedaten	5
Tabelle 2: Anlagezustand ARA Kloten Opfikon gemäss Betriebsdaten 2012-15 und Ausbauziel 2040	6
Tabelle 3: Energieproduktion der zwei BHKW der ARA Kloten Opfikon bis Ausbauziel 2040 [3]	8
Tabelle 4: Wärmebilanz im Winter, Vergleich Jahre 2020 (nach IBS) und Ausbauziel [3]	11
Tabelle 5: Energetische Beurteilungskriterien für Siedlungsentwässerung	13
Tabelle 6: Energetische Beurteilungskriterien ARA-intern (IST), Grobcheck. Einwohnerwert: 79'000 EW _{CSB}	14
Tabelle 7: Energetische Beurteilungskriterien für Klärschlamm Entsorgung	15
Tabelle 8: Energetische Beurteilungskriterien für die Abwasserwärmenutzung	15
Tabelle 9: Energetische Beurteilungskriterien für die Kostensenkungsmassnahmen	16
Tabelle 10: Stromverbrauch für Ozonung auf der ARA [8]	17
Tabelle 11: Energetische Beurteilungskriterien ARA-intern (SOLL), Grobcheck. Einwohnerwert: 113'000 EW _{CSB}	18
Tabelle 12: Energetische Beurteilungskriterien für die Kostensenkungsmassnahmen	19
Tabelle 13: Energetische Verbesserung durch Reduktion vom Fremdwasseranteil	22
Tabelle 14: Einsatz von IE4 Motoren mit FU beim Hebewerk	23
Tabelle 15: Intermittierender Betrieb der Sandfangbelüftung	23
Tabelle 16: Einsatz von Turbogebälzen [3]	24
Tabelle 17: Energieverbrauch Ozondiffusoren [3]	25
Tabelle 18: Energieverbrauch Kühlung vom Ozonreaktor [3]	25
Tabelle 19: Energieverbrauch der Umwälzpumpen Schlammfäulung [3]	26
Tabelle 20: Wärmerückgewinnung aus dem Faulschlamm	26
Tabelle 21: Kühlung E-Räume mit Erdsonden [3]	27
Tabelle 22: Stromertrag Photovoltaik	28
Tabelle 23: Energieproduktion am Beispiel vom Milchserum als Co-Substrat	30
Tabelle 24: Potential Abwasserwärmenutzung AKO 2040 [5]	31
Tabelle 25: Annahmen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung	32
Tabelle 26: Kosten-Nutzen-Analyse der vorgeschlagenen Massnahmen	33
Tabelle 27: Kosten-Nutzen-Analyse der einzelnen Massnahmen.	37



1 Zusammenfassung

Die ARA Kloten Opfikon steht vor einer umfangreichen Erweiterung. Alle Verfahrensstufen werden erneuert bzw. ausgebaut, um die steigende Belastung aus dem Wachstum des Einzugsgebietes behandeln zu können. Zusätzlich wird eine Ozonung zur Elimination von Mikroverunreinigungen eingebaut.

Das Projekt bietet die bestmögliche Gelegenheit einer reinigungstechnischen, maschinellen und energetischen Optimierung.

Im Auftrag vom Bundesamt für Energie (BFE) wird eine energetische Feinanalyse gemäss dem Leitfaden 'Energie in ARA' des VSA/EnergieSchweiz (2010) erstellt. Ziel der Feinanalyse ist die Optimierung vom Energiebedarf der ARA für das Ausbauziel 2040 und die Erfüllung der Idealwerte (SOLL-Zustand).

Der prognostizierte Strombedarf der Anlage nach dem Ausbau im 2040 liegt bei 3'900 MWh/a, 43% höher als der Mittelwert in den Jahren 2012-15, das im Bauprojekt als Vergleichsgrundlage mit dem heutigen Anlagenzustand dient (IST-Zustand).

Die Zunahme ist prinzipiell auf die erwartete Erhöhung der Rohabwasserfrachten und der zusätzlichen MV-Stufe (MV=Mikroverunreinigung) zurückzuführen. Eine MV-Anlage verursacht einen beträchtlichen höheren Stromverbrauch.

Obwohl der Gesamtstrombedarf der ARA Kloten Opfikon bis Ausbauziel 2040 steigen wird, wird der spezifische Elektrizitätsverbrauch pro Einwohnerwert von 36.5 kWh/a/EW auf 31.0 kWh/a/EW senken. Dies ist hauptsächlich der neuen biologischen Behandlung zurückzuführen. Dank dem Nereda®-Verfahren erreicht der Strombedarf der Biologie auf der ARA Kloten Opfikon den Idealwert.

Die im Kapitel 6 vorgeschlagenen Stromeffizienzmassnahmen helfen jedoch den Mehrverbrauch zu reduzieren.

Gleichzeitig wird die Stromeigenproduktion im 2040 gegenüber dem Zustand 2012-15 verdoppelt. Das Bauprojekt sieht vor, die zwei auf der Anlage installierten BHKWs nach jeweils rund 10 Jahren zu ersetzen. Der elektrische Eigenversorgungsgrad wird von 51% auf 85% erhöht.

Im Rahmen der energetischen Feinanalyse wird der Strom- und Wärmebedarf im Detail eruiert und entsprechende Optimierungsmassnahmen vorgeschlagen. Die Massnahmen werden anhand des Kosten-Nutzen-Verhältnisses wirtschaftlich kategorisiert.

Als Hilfsmittel für die Erarbeitung der Feinanalyse wird der EDV-Tool von InfraWatt angewendet [15].

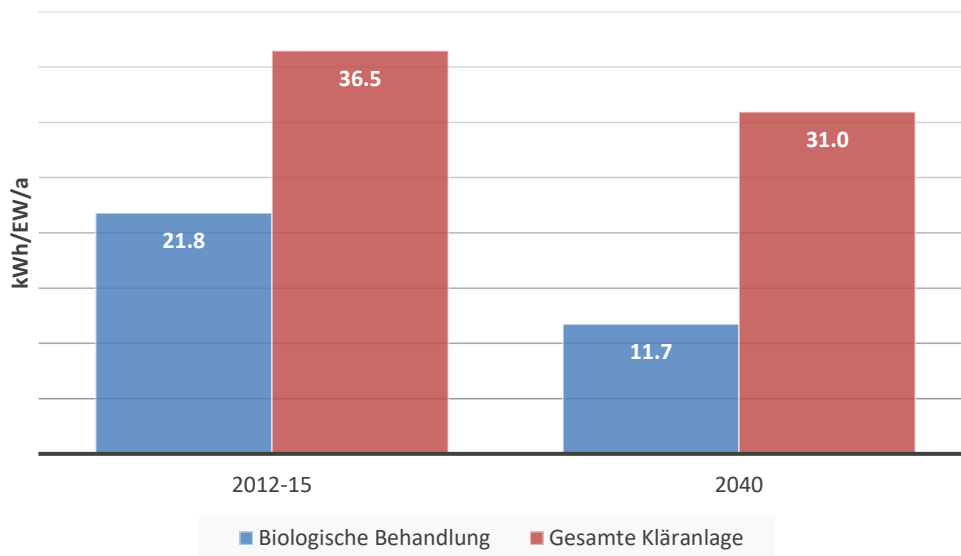


Abbildung 1: Elektrizitätsverbrauch pro EW

2 Einführung

2.1 Projektziele

Zur Feinanalyse wird eine Massnahmenliste mit der energetischen Wirkung und den notwendigen Wirtschaftlichkeitsangaben erstellt. Ziel ist den energetischen Nachweis zu erbringen und die Idealwerte nach der Umsetzung zu erreichen.

Mit der Kosten-Nutzen-Analyse werden die Massnahmen priorisiert. Ihre Realisierung wird abhängig vom Kosten-Nutzen-Verhältnis sowie der zeitlichen Realisierbarkeit vorgeschlagen. Der Ausbau der ARA Kloten Opfikon bietet die Gelegenheit die empfohlenen Massnahmen im Bauprojekt zu berücksichtigen.

Eine Ausweitung der Betrachtungen über den Zaun der ARA hinaus zeigt weitere Energieoptimierungschancen, z.B. die energetische Optimierung der Pumpen im Kanalnetz oder die externe Abwasserwärmenutzung. Eine Erweiterung der Feinanalyse über den Zaun hinaus könnte die Auslösung eines konkreten Projektes des Potentials für einen Wärmeverbund in der Region als Ziel haben.

2.2 Ausgangslage

Die ARA Kloten Opfikon (AKO) 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 in den 90er-Jahren saniert und ausgebaut.

Die Ausbaugrösse der in den 90er-Jahren sanierten Anlage beträgt 54'500 Einwohnerwerte (EW). Die heutige reale Belastung des Klärwerks beträgt bis zu 95'000 EW. Auf Grund der aktuellen Überbelastung wurde entschieden, die Anlage umfassend zu erneuern und zu erweitern.

Hauptziele des Ausbaus sind die Sicherstellung der Reinigungskapazität gemäss behördliche Vorgaben des AWEL und die Einhaltung der geforderten Einleitbedingungen, sowie die Erfüllung der energetischen Beurteilungskriterien zu erfüllen. Infolge der neuen gesetzlichen Anforderungen wird die ARA Kloten Opfikon mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen erweitert.

Als Planungshorizont wurde im Ausbauprojekt das Jahr 2040 festgelegt. Bis dahin wird eine Zunahme der Rohabwasserfrachten von 43% vorausgesagt. Die zukünftige Belastung der ARA Kloten Opfikon errechnet sich somit zu 135'000 EW_{CSB} (85%-Wert, Basis 120 g CSB/EW/d). Die energetische Feinanalyse basiert auf dem Jahresmittelwert, der 113'000 EW_{CSB} entspricht.

Die biologische Reinigung wird neu mittels Nereda®-Verfahren erfolgen [10]. Es handelt sich um eine Methode zur biologischen Abwasserreinigung auf Basis des Sequencing Batch Reactor (SBR)-Verfahrens, die als grossen Vorteil einen tiefen Energieverbrauch hat.

Aus energetischer Sicht soll die Realisierung und der Gesamtbetrieb möglichst ressourcenschonend sein. Das thermische Energiekonzept hat zum primären Ziel, die AKO wärmetechnisch vollständig ohne fossile Brennstoffe und autonom betreiben zu können. Strommässig wird ebenfalls ein deutlich höherer Eigenversorgungsgrad als heute angestrebt, der beim Idealwert von 75% liegen soll.

Tabelle 1: Anlagedaten

Anlagedaten	
Anlage	Abwasserreinigung Kloten Opfikon Rohrstrasse 49 8152 Glattbrugg
Geschichte Erste Kläranlage Rechenhaus /Vorbehandlungsanlage ARA-Erweiterung mit Faulanlage, Nitrifikation, Filtration und Schlammrockner Stickstoffrückgewinnungs-Anlage Ausbau 2020 (Abschluss)	1962 1982 1993 2011 2022
Betriebsleiter	Michael Kasper +41 44 874 17 17 info@klaeranlage.ch
Abwasserreinigung – Stand heute	
C-Abbau Nitrifikation Phosphorelimination Filtration MV-Behandlung	Belebtschlammverfahren Belebtschlammverfahren Bio-P Flockungsfiltration -
Abwasserreinigung – AKO 2040	
C-Abbau Nitrifikation Phosphorelimination Filtration MV-Behandlung	NEREDA® NEREDA® NEREDA® 2-Schicht Sandfilter Ozonung

3 Anlagezustand

Hauptziel dieser Feinanalyse ist das Aufzeigen von konkreten Massnahmen zur Erfüllung der energetischen Beurteilungskriterien (Idealwerte) für den Planungshorizont 2040.

Tabelle 2 zeigt die wichtigen Grundlagen für eine energetische Beurteilung der ARA gemäss Bauprojektangaben auf. Betriebsdaten aus den Jahren 2012-15 dienen als Vergleichsgrundlagen für den heutigen Anlagezustand (IST). Der Energieverbrauch beinhaltet den gesamten Energieverbrauch der ARA inklusive der Schlammfäulung, exklusive Regenklärbecken.

Der Vollständigkeit halber wurden die Werte 2012-15 mit den Anlagedaten vom 2017 verglichen. Die Abweichung ist minim.

Tabelle 2: Anlagezustand ARA Kloten Opfikon gemäss Betriebsdaten 2012-15 und Ausbauziel 2040

ARA Kloten Opfikon		2012-15	2040
CSB-Belastung (EW_{CSB}) 85%-Wert Mittelwert	EW_{CSB}	95'000 79'000	135'000 113'000
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 ¹⁾	Nm^3/a	870'000	1'700'000
Klärgasnutzung ¹⁾ BHKW 1 BHKW 2 Abfackelung	m^3/a m^3/a m^3/a	680'000 180'000 ~0	780'000 920'000 0
Heizölbedarf	l/a	<1000	0
Gesamtstromverbrauch ²⁾	MWh/a	2'900	4'200
Stromeigenproduktion BHKW ¹⁾	MWh/a	1'500	3'600
Strombezug Netz	MWh/a	1'400	600
Elektrischer Eigenversorgungsgrad	%	54%	85%
Energieverbrauch Wärme ¹⁾	MWh/a	4'600	5'000
Wärmeerzeugung BHKW ¹⁾	MWh/a	4'200	4'500
Abwärmequellen ⁴⁾	MWh/a		1'300
Thermischer Eigenversorgungsgrad ^{3) 4)}	%	93%	>100%

¹⁾ aus Konzept BHKW vom Bauprojekt, Heizwert Klärgas 6.2 kWh/m³

²⁾ 2012-15: ohne Ozonung; 2040: inkl. Ozonung

³⁾ Ziel 2040: die AKO wärmetechnisch vollständig ohne fossile Brennstoffe zu betreiben

⁴⁾ Daten aus Energiekonzept BP

Auffällig ist die deutliche Verbesserung des elektrischen Eigenversorgungsgrades. Das ist dem Ersetzen der BHKW zurückzuführen, welches periodisch alle 12 Jahre geplant ist.

Der Heizkessel wird heute schon nur im Notfall betrieben. In Zukunft wird der Heizkessel erst beim Ausfall eines BHKWs eingesetzt.

Es ist zu bemerken, dass die ARA Kloten Opfikon sehr selten Klärgas abfackelt. Die Menge abgefackelten Gases wird in Zukunft als vernachlässigbar angenommen.

Der Anteil der einzelnen Verfahrensstufen am Gesamtstrombedarf ist in Abbildung 2 dargestellt. Die biologische Reinigungsstufe besitzt mit 59% den grössten Anteil am Gesamtstrombedarf, wie dies bei kommunalen Anlagen üblich ist.

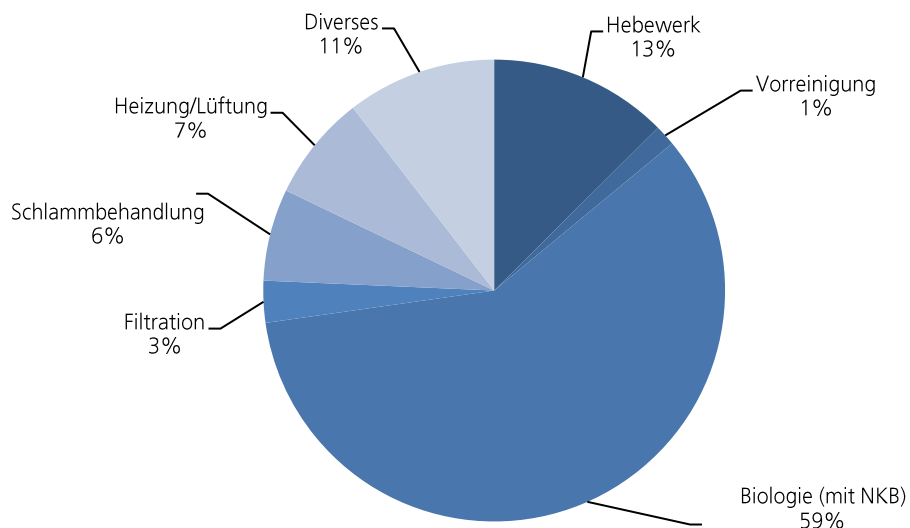


Abbildung 2: Aufteilung des Gesamtstrombedarfes der AKO 2012-15 auf die einzelnen Verfahrensstufen

3.1 Strombilanz

Zwei BHKW produzieren auf der ARA Kloten Opfikon Strom und Wärme. Die Eigenschaften der Energieproduzenten sind in Tabelle 3 dargestellt.

Die eingesetzten BHKW werden wie folgt periodisch ersetzt:

- 2017: neu BHKW 2, 220 kW
- 2025: neu BHKW 1, 220 kW
- 2030: neu BHKW 2, 245 kW
- 2035: neu BHKW 1, 245 kW
- 2040: neu BHKW 2, 270 kW

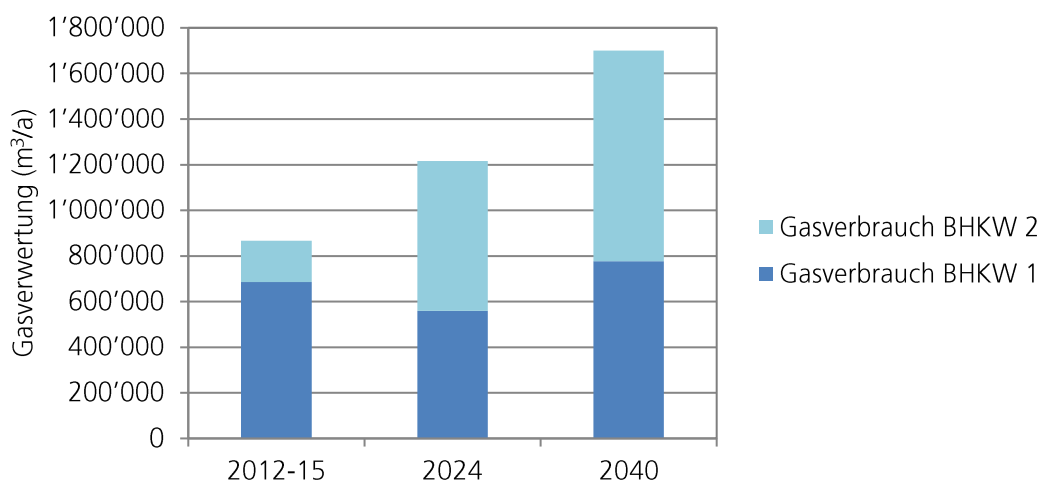
Das im Jahr 2017 ersetzte BHKW ist bereits im Betrieb.

Tabelle 3: Energieproduktion der zwei BHKW der ARA Kloten Opfikon bis Ausbauziel 2040 [3]

Energieproduktion		Aktueller Stand	2040
BHKW 1			
Elektrische Leistung	kW	190	245
Elektrischer Wirkungsgrad	% _{el}	35%	39%
Gasverbrauch	Nm ³ /h	85	100
Thermische Leistung	kW	244	258
Thermischer Wirkungsgrad	% _{th}	45%	41%
BHKW 2¹⁾			
Elektrische Leistung	kW	220	270
Elektrischer Wirkungsgrad	% _{el}	39%	39%
Gasverbrauch	Nm ³ /h	80	110
Thermische Leistung	kW	206	284
Thermischer Wirkungsgrad	% _{th}	41%	41%

¹⁾ BHKW2 wurde im Jahr 2017 ersetzt

Die Gasverwertung ist in Abbildung 3 dargestellt. Dank der Kapazitätserweiterung der neuen BHKW kann der steigende Gasverbrauch auch im 2040 vollumfänglich genutzt und die Strom- und Wärmeproduktion deutlich erhöht werden.

**Abbildung 3:** Gasverwertung in den BHKWs bis Ausbauziel 2040, Quelle: Konzept BHKW [3]

Aus Abbildung 4 wird ersichtlich, wie der Strombedarf der ARA Kloten Opfikon bis Ausbauziel 2040 steigt. Der Gesamtstrombedarf setzt sich aus der Stromproduktion des BHKWs und des Strombezuges vom Elektrizitätswerk zusammen. Der erhöhte Strombedarf wird grösstenteils mit Eigenproduktion gedeckt. Der Strombezug vom Elektrizitätswerk wird um 2/3 sinken.

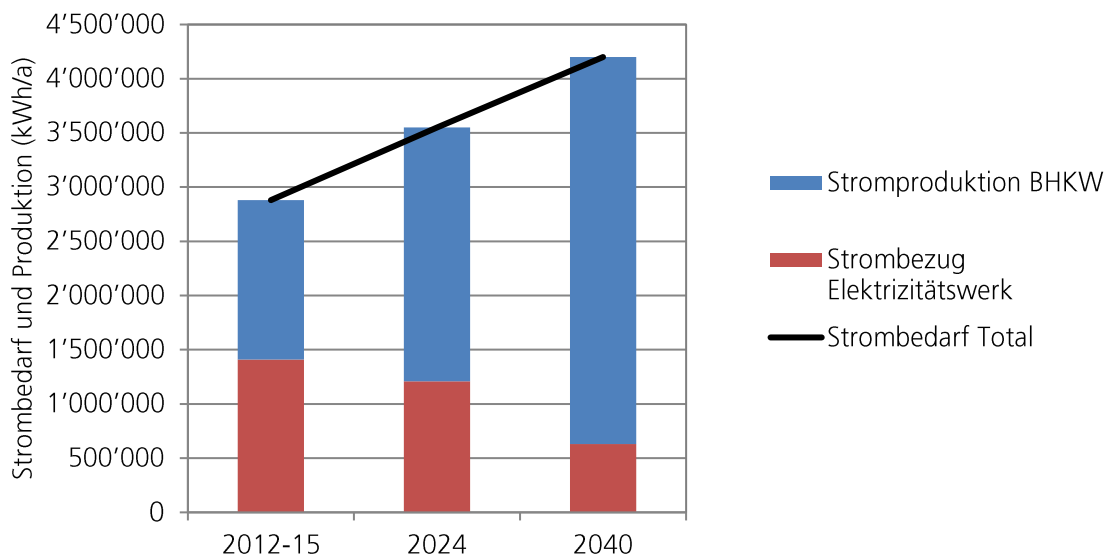


Abbildung 4: Gesamtstrombedarf der ARA Kloten Opfikon

3.2 Wärmebilanz

Der heutige mittlere saisonale Verlauf des Wärmebedarfs der ARA Kloten Opfikon ist in Abbildung 5 dargestellt [6].

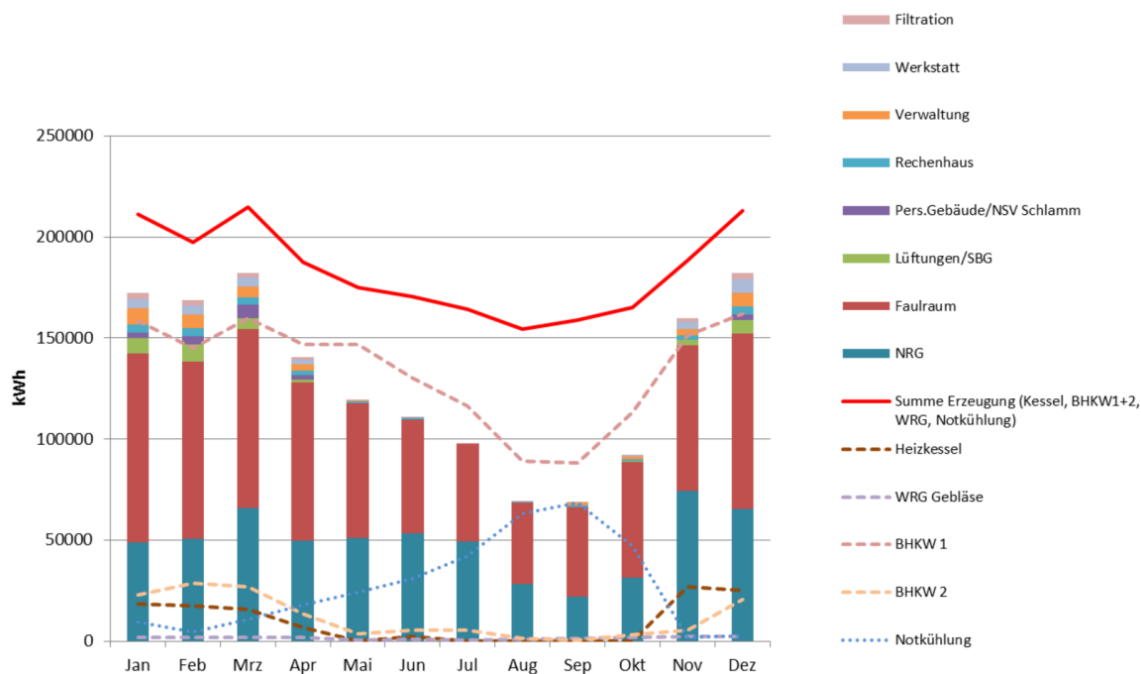


Abbildung 5: Mittlerer saisonaler Wärmebedarf der ARA Kloten Opfikon [6]

Das Diagramm zeigt, dass der gesamte Wärmebedarf über das ganze Jahr selbst gedeckt werden kann, hauptsächlich durch das BHKW 1. Insbesondere in den Wintermonaten wird der erhöhte Heizbedarf durch das BHKW 2 sowie den Spitzenlast-Heizkessel gedeckt.

Der theoretische Wärmebedarf der ARA im Ausbauziel 2040 liegt bei 5'000 MWh/a. Die Wärmebilanz im Winter für die Jahre 2020 (nach Inbetriebnahme) und 2040 (Ausbauziel) ist in Tabelle 4 ersichtlich. Die Wärmebilanz weist ein positives Bild, sowohl zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme 2020 als auch im Ausbauziel 2040.

Ferner besteht auch die Möglichkeit, bei externen Abnehmern eine Abwasserwärmenutzung aus gereinigtem Abwasser zu realisieren.



Tabelle 4: Wärmebilanz im Winter, Vergleich Jahre 2020 (nach IBS) und Ausbauziel [3]

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

¹⁾ Werte sind mit neuem BHKW 2 im Betrieb berechnet

Die Wärmeautarkie wird mit folgenden Massnahmen vorgesehen [3]:

- Angepasste Temperaturniveaus in Gebäuden, Hallen und Räumen (Räume mit geringer körperlicher Belastung mind. 20 °C, Räume mit hoher körperliche 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.

4 Energetische Beurteilungskriterien

Energieoptimierungen sind sowohl ARA intern wie auch ARA extern zu suchen. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass bei der ARA Kloten Opfikon vor allem bei der Siedlungsentwässerung und der Klärschlamm Entsorgung Potentiale zu finden sind.

Bereiche der energetischen Beurteilung sind:

- Siedlungsentwässerung
- Kläranlage (ARA-intern)
- Klärschlamm Entsorgung
- Abwasserwärmenutzung
- Kostensenkungsmassnahmen

Die Bewertung der energetischen Qualität einer ARA erfolgt durch einen Vergleich mit Richt- und 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 2040 werden die Idealwerte herangezogen, da die Anlage weitgehend neu erstellt wird, z.B. die biologische Behandlung und die Klärgasnutzung [1].

Konkrete Massnahmen zur Energieoptimierung werden im Kapitel 6 aufgeführt.

Die Kennwerte beziehen sich auf die Einwohnerwerte aus dem jährlichen Mittelwert der CSB Belastung.



4.1 Siedlungsentwässerung

Je weniger Abwasser in die Anlage fliesst, desto besser ist die Energiebilanz.

Der Fremdwasseranteil kann den Strombedarf stark beeinflussen. Im Rahmen vom Generalentwässerungsplan (GEP) werden Messkampagnen durchgeführt und Massnahmen zur Reduktion vom Fremdwasser vorgeschlagen. Sanierungsbedürftige Pumpen werden auch identifiziert und wenn möglich ersetzt, wobei sie gleichzeitig energetisch optimiert werden.

Der heutige mittlere Fremdwasseranteil der ARA Kloten Opfikon liegt bei ~48l/s. Das entspricht 22.5% vom Trockenwetterzulauf, sehr nahe am Idealwert aus «Energie in ARA» [14].

Die Höhendifferenz zwischen dem Auslauf der ARA und dem Vorfluter (Fluss Glatt) ist zu klein für eine Turbinierung des Abwassers.

Tabelle 5: Energetische Beurteilungskriterien für Siedlungsentwässerung

Beurteilungskriterien für Siedlungsentwässerung		Richtwert	Idealwert	AKO 2012-15
Abwasseranfall				
Fremdwasseranteil	%	30%	20%	22.5%
Jährliche Quote der Sanierung/Erneuerung der Kanäle	%	2%	3%	k.A.
Aktionen für Wassersparmassnahmen				
Wurden bei Haushalten und Betrieben durchgeführt				k.A.
Turbinierung Abwasser				
Höhendifferenz zwischen Auslauf ARA und Vorfluter > 50m				Nein
Stromproduktion > 100'000 kWh/a				Nein
Abwasserpumpen¹⁾				
Kleine Pumpen < 5 kW		1.60	1.30	k.A.
Mittlere Pumpen 5 bis 50 kW		1.30	1.10	k.A.
Grössere Pumpen > 50 kW		1.20	1.00	k.A.
Pumpen sind sanierungsbedürftig oder störungsanfällig				k.A.
Idealwert erfüllt				
Richtwert erfüllt				
Richt- und Idealwert nicht erfüllt				

¹⁾ Verhältnis von effektivem zu theoretisch notwendigem Stromverbrauch

Neben der Fremdwasserreduktion kann der Abwasseranteil durch eine sparsame Wasserverwaltung bei Haushalten und Industrien verbessert werden. Wassersparmassnahmen werden in Zukunft auch wegen der Klimaänderung an Wichtigkeit zunehmen.

Didaktikprogramme für Schulen und spezifische Webseiten werden als Verbreitungsmittel entwickelt [18].

4.2 Kläranlage (ARA-intern) - IST

Tabelle 6 beinhaltet die Beurteilungskriterien für die heutige Kläranlage (ARA-intern). Richt- und Idealwerte sind für den Einwohnerwert von 79'000 EW_{CSB} (Mittelwert 2012-15) korrigiert. Beim Gesamtstromverbrauch e_{ges} ist der Zuschlag für das Hebewerk und die Filtration berücksichtigt.

Tabelle 6: Energetische Beurteilungskriterien ARA-intern (IST), Grobcheck. Einwohnerwert: 79'000 EW_{CSB}

Beurteilungskriterien für Kläranlage (ARA-intern), Grobcheck		Einheit	Richtwert	2012-15
e_{ges}	Spezifischer Elektrizitätsverbrauch gesamte Kläranlage	kWh/(EW*a)	36.3	36.5
e_{BB}	Spezifischer Elektrizitätsverbrauch biologische Behandlung	kWh/(EW*a)	23.6	21.8
N_1	Grad der gesamten Klärgasnutzung	%	98	100
N_2	Grad der Klärgasumwandlung in Kraft/ Elektrizität	%	33	32 ¹⁾
N_3	Spezifische Klärgasproduktion pro organische Trockensubstanz (OTS) in Faulung eingetragen	l/ kg oTS	450	489 ¹⁾
V_E	Eigenversorgungsgrad - Elektrizität	%	47	54 ¹⁾
V_w	Eigenversorgungsgrad - Wärme	%	98	93 ¹⁾
Richtwert erfüllt				
Richtwert nicht erfüllt				

¹⁾ Daten aus Energiekonzept BP

Aus der obenstehenden Tabelle wird ersichtlich, dass fünf der sieben Richtwerte erfüllt werden und damit die ARA Kloten Opfikon energetisch bewusst betrieben wird. Der spezifische Gesamtstromverbrauch von 36.5 kWh/EW/a liegt nahe beim Richtwert und der Stromverbrauch der biologischen Behandlung von 21.8 kWh/EW/a liegt unter dem Richtwert.

Da für den heutigen Zustand die Richtwerte massgebend sind, ist ein Teil vom guten energetischen Zustand der heutigen biologischen Überlastung der Anlage zurückzuführen.

4.3 Klärschlamm Entsorgung

Seit dem 1. August 2015 wird der entwässerte Klärschlamm auf der Mono-Verbrennungsanlage im Klärwerk Werdhölzli in Zürich verbrannt. Es handelt sich um eine kantonale Forderung mit dem Ziel, zu einem späteren Zeitpunkt den Phosphor aus der Asche zurückzugewinnen [2]. Die Schlammmentwässerung bleibt somit unverändert.

Mit 30% TS erreicht die Auslegung der Faulschlammmentwässerung im Ausbauziel 2040 den Idealwert.



Tabelle 7: Energetische Beurteilungskriterien für Klärschlamm Entsorgung

Beurteilungskriterien für Klärschlamm Entsorgung	Richtwert	Idealwert	AKO 2012-15
Entwässerung	25% TS	28% TS	26% TS
Trocknung mit Abwärme oder erneuerbarer Energie			extern
Transport: mehrere hundert Kilometer			Nein
Energienutzung in Verbrennung			
Monoverbrennung	30%	50%	extern
Idealwert erfüllt			
Richtwert erfüllt			
Richt- und Idealwert nicht erfüllt			

4.4 Abwasserwärmenutzung

Tabelle 8: Energetische Beurteilungskriterien für die Abwasserwärmenutzung

Beurteilungskriterien für Abwasserwärmenutzung	AKO 2012-15
Interne Nutzung	
Die ARA hat keine Faulung und deckt Wärmebedarf mit fossiler oder sogar mit Elektrizität ab	Nein
Verkauf von Abwärme durch ARA	
Liegen im Umkreis der ARA grössere potentielle Abnehmer	Ja
Innerhalb 100 m: Abnehmer mit mehr als ca. 100 kW (ca. 50 Wohneinheiten)	Ja
Innerhalb 1000 m: Abnehmer mit mehr als ca. 1000 kW (ca. 500 Wohneinheiten)	Ja
Liegen innerhalb dieser Radien entsprechende Neubaugebieten	Ja
Verfügt die ARA während der Heizperiode über grössere überschüssige Wärme aus BHKW	Nein
Möglichkeit der Abwasserwärmenutzung im Siedlungsgebiet	
Kläranlage ist grösser als 5'000 EW	Ja
Abwassertemperaturen liegen in den Wintermonaten im Mittel über 10°C	Ja
Kanäle mit mehr als 15 l/s Trockenwetterabfluss im Tagesmittel sind vorhanden und fliessen durch Siedlungsgebieten mit grösseren Gebäuden	Ja

Angesichts der künftigen Ausgangslage wurde für die Abwasserwärmenutzung bereits eine Machbarkeitsstudie [5] erstellt. Das Ergebnis zeigt, dass primär die Nutzung des Potentials im Auslauf der ARA erfolgen soll.

Die Studie empfiehlt, konkrete Möglichkeiten für die Nutzung des Abwassers (gereinigt) mit einem Energiecontractor zu verfolgen.

4.5 Kostensenkungsmassnahmen

Tabelle 9: Energetische Beurteilungskriterien für die Kostensenkungsmassnahmen

Beurteilungskriterien für Kostensenkungsmassnahmen	AKO 2012-15
Vertrag mit Energieversorgungsunternehmer (EVU)	
Können die Verträge innerhalb der nächsten Jahre angepasst werden	Ja
Wurden bereits Offerten bei anderen Unternehmungen eingeholt (über 100'000 kWh/a)	Ja
Wurden bereits Verhandlungen mit dem heutigen Elektrizitätswerk geführt ¹⁾	-
Spitzenlastmanagement	
Wird bereits ein umfassendes Management zur Senkung der Leistungsspitzen betrieben	Ja

¹⁾ nicht mehr aktuell nach der Liberalisierung des Strommarktes. Die ARA Kloten Opfikon sucht regelmässig nach dem günstigsten Angebot.

Die Suche nach Massnahmen für die Kostensenkung ist für alle Anlagebetreiber eine Daueraufgabe. Aus diesem Grund ist ein dynamisches Lastmanagement zweckmässig.



5 Energetische Feinanalyse

Die Feinanalyse zeigt die energetische Situation der ARA Kloten Opfikon im Ausbauziel 2040. Die im Kapitel 6 aufgelisteten Optimierungsmassnahmen sind dabei berücksichtigt. Der theoretisch berechnete Stromverbrauch wird mit der Modellanlage verglichen.

5.1 Ozonung

Die Elimination von MV (Mikroverunreinigung) wird der Energieaufwand für den Betrieb der Kläranlagen erheblich erhöhen. Es wird geschätzt, dass der Energieverbrauch um 5 bis 30% steigt (ohne Filter) [8].

Der Leitfaden «Energie in ARA» wurde im 2018 mit einem neuen Kapitel über die Energieeffizienz in MV-Anlagen ergänzt.

Bei der Ozonung wird die Energie in Form von Strom benötigt. In Tabelle 10 ist der durchschnittliche Energieverbrauch aufgelistet [7].

Der Stromverbrauch durch die Ozonung wird im Bauprojekt mit ca. 6 kWh/EW/a geschätzt.

Tabelle 10: Stromverbrauch für Ozonung auf der ARA [8]

Stromverbrauch durch eine Ozonung (ohne Sauerstoff-Produktion)			
Dosis	g/m ³	4	5
spez. Energieverbrauch, pro m ³ Abwasser	kWh/m ³	0.05	0.06
spez. Energieverbrauch, pro Einwohnerwert und Jahr	kWh/EW/a	6	8

Mit zunehmenden Betriebserfahrungen müssen diese Zahlen künftig allenfalls korrigiert werden. Für die Feinanalyse werden folgende Werte angenommen:

- **Richtwert:** 8 kWh/EW/a
- **Idealwert:** 6 kWh/EW/a

5.2 Ausbauziel 2040 - SOLL

In Tabelle 11 sind die Beurteilungskriterien für die Kläranlage (ARA-intern) im Ausbauziel 2040 aufgeführt. Idealwerte sind für den Einwohnerwert von 113'000 EW_{CSB} (Mittelwert 2040) korrigiert. Beim Gesamtstromverbrauch e_{ges} ist der Zuschlag für das Hebewerk, die Ozonung und die Filtration berücksichtigt.

Tabelle 11: Energetische Beurteilungskriterien ARA-intern (SOLL), Grobcheck. Einwohnerwert: 113'000 EW_{CSB}

Beurteilungskriterien für Kläranlage (ARA-intern), Grobcheck		Einheit	Idealwert	AKO 2040
e_{ges}	Spezifischer Elektrizitätsverbrauch gesamte Kläranlage	kWh/(EW*a)	33.6	31.0
e_{BB}	Spezifischer Elektrizitätsverbrauch biologische Behandlung	kWh/(EW*a)	16.8	11.7
N_1	Grad der gesamten Klärgasnutzung	%	99	100
N_2	Grad der Klärgasumwandlung in Kraft/ Elektrizität	%	37	39 ¹⁾
N_3	Spezifische Klärgasproduktion pro organische Trockensubstanz (OTS) in Faulung eingetragen	l/ kg oTS	475	489 ¹⁾
V_E	Eigenversorgungsgrad - Elektrizität	%	75	85 ¹⁾
V_w	Eigenversorgungsgrad - Wärme	%	99	100 ¹⁾
Idealwert erfüllt				
Idealwert nicht erfüllt				

¹⁾ Daten aus Energiekonzept BP

Aus Tabelle 11 wird ersichtlich, dass auf der neuen Anlage AKO 2040 ein sehr guter energetischer Stand vorherrschen wird. Der Gesamtstromverbrauch liegt unter dem Idealwert. Alle anderen Idealwerte werden ebenfalls erfüllt. Besonders der Stromverbrauch der biologischen Behandlung ist deutlich tiefer als der Idealwert.

Folgende Einflussfaktoren sind für die energetische Beurteilung entscheidend:

- **Biologie:** das Nereda®-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}) [3].
- **Ozonung:** der Stromverbrauch der neuen MV-Anlage liegt bei 6-8 kWh/EW/a
- **Hebewerk:** die zukünftige mechanische Vorreinigung liegt höher als die bestehende. Das Abwasser aus Opfikon muss weiterhin gehoben werden. Das Abwasser von der Seite Klotten/Flughafen wird zukünftig auch angehoben (heute nicht der Fall). Weiter werden die Wände der bestehenden Biologiebecken um 2.45 m erhöht. Dadurch erhöht sich der Stromverbrauch um 1.2 kWh/EW/a.



5.3 Aufteilung auf die einzelnen Verfahrensstufen

Tabelle 12: Energetische Beurteilungskriterien für die Kostensenkungsmassnahmen

Feinanalyse	AKO 2040				Modellanlage	
	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%			
Total Strombedarf		3'498'000		31.0	3'796'000	33.6
Wert der Modellanlage erfüllt						

Die biologische Reinigungsstufe besitzt mit 38% den grössten Anteil am Gesamtstrombedarf. Mit einem Anteil von 24% liegt die Ozonung im geschätztem Energieverbrauch gemäss VSA [8].

Zusammen bilden sie den Wert vom Strombedarf einer traditionellen Biologie mit Belebtschlammverfahren gemäss Modellanlage, welcher bei 63% vom Gesamtstrombedarf liegt (VSA, 2010).

Die Filtration, die Gebäudetechnik und die Lüftung weisen Optimierungspotential bezüglich Stromverbrauch auf.

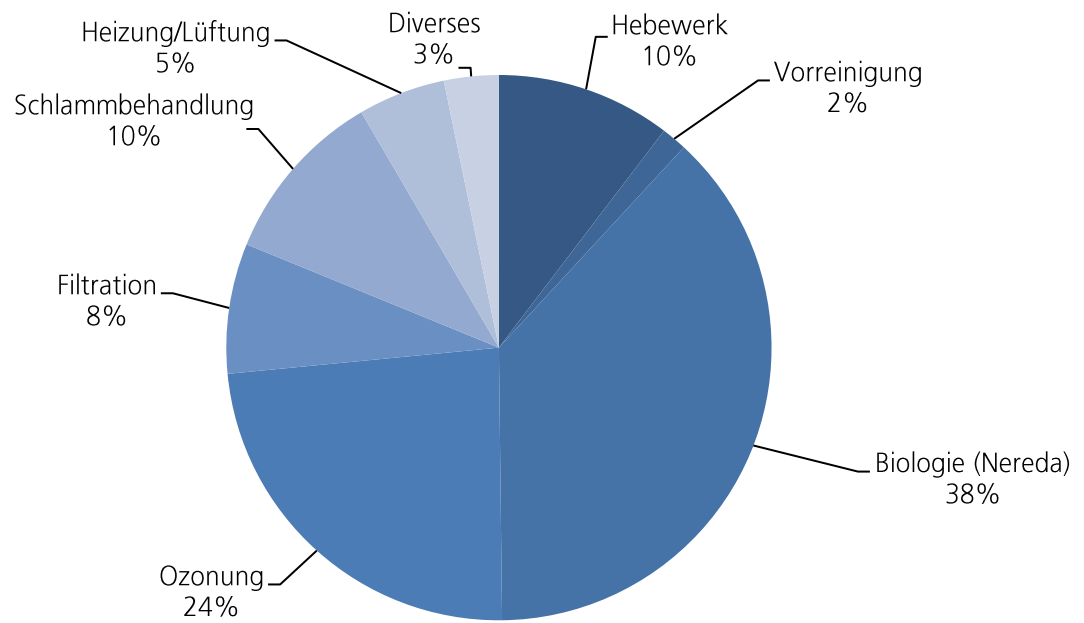


Abbildung 6: Aufteilung des Gesamtstrombedarfes der AKO 2040 auf die einzelnen Verfahrensstufen



6 Massnahmen

Generell gilt für eine optimale Energiebilanz in ARA und Kanalnetz folgendes:

- Einsatz von hocheffizienten Motoren und Aggregaten (vor allem bei Belüftung und Pumpen)
- Auslegung der Aggregate an Bedarf, jedoch nicht überdimensioniert
- Energieerzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Quellen und Abwärme

Die Ziele der Massnahmen sind:

- Energieverbrauch zu optimieren
- Strom- und Wärmeerzeugung durch Klärgas, Solarenergie oder andere erneuerbaren Quellen zu maximieren
- Überschüssige Wärme extern mit Fernwärme oder Wärmeverbund zu nutzen
- Abwasserzufluss, Wasserverbrauch pro EW und Fremdwasseranteil im Kanalnetz zu reduzieren
- Geeignete Klärschlamm Entsorgung zu wählen

Mögliche Massnahmen zur Energieeinsparung und zur Optimierung der Energieproduktion auf der ARA Kloten Opfikon sind nachfolgend zusammengefasst.

Die aufgeführten Massnahmen zur Energieeinsparungen beziehen sich auf Strom und Wärme.

Ausgangslage

Da die Bauarbeiten des Projektes AKO 2040 bereits begonnen haben und die EMSR-Anlagen auf den aktuellen Stand der Technik gebracht werden, wird auf Massnahmen für die Optimierung der heutigen Anlage verzichtet. Sämtliche Massnahmen sind im Rahmen des Bauprojektes vorgesehen.

Wirtschaftlichkeit und Erfolgskontrolle

Die Wirkung, die Kosten und die Wirtschaftlichkeit der Massnahmen werden im Kapitel 8 aufgeführt.

Erfolgskontrollen sollen nach der Realisierung jeder Energiemassnahme geplant und bei Bedarf Nachbesserungen vorgenommen werden. Die berechnete Energieeinsparung der vorgeschlagenen Massnahmen kann somit geprüft und der Betrieb optimiert werden.

6.1 Siedlungsentwässerung

6.1.1 Reduktion Fremdwasseranteil

Die von der ARA Kloten Opfikon gemessenen Daten zeigen, dass der heutige mittlere Fremdwasseranteil 22.5% vom Trockenwetterzulauf entspricht, das heisst ~48l/s. Der Idealwert aus «Energie in ARA» liegt tiefer und entspricht 20%.

Tabelle 13: Energetische Verbesserung durch Reduktion vom Fremdwasseranteil

Reduktion Fremdwasseranteil		AKO 2040
Abwassermenge	m ³ /d	26'400
Reduktion Fremdwasseranteil	%	2.5
	m ³ /d	660
Anteil Gemeinde Kloten (inkl. Flughafen) - 52% der Abwassermenge		
Förderhöhe	m	2.2
Energieeinsparung	kWh/a	1'000
Anteil Gemeinde Opfikon - 48% der Abwassermenge		
Förderhöhe	m	3.1
Energieeinsparung	kWh/a	1'300
Biologie - 100% der Abwassermenge		
Förderhöhe	m	10.1
Energieeinsparung	kWh/a	8'900
Energieeinsparung total	kWh/a	11'200

Würde man den Fremdwasseranteil von 22.5% auf 20% reduzieren, wäre die Energieeinsparung beim Hebewerk insgesamt 11'200 kWh/a.

6.1.2 Didaktik für Wasserverwaltung

Wasser ist eine der wichtigsten Ressourcen. Der Umwelt zuliebe ist es wichtig zu lernen, mit Wasser sorgsam umzugehen und es nicht zu verschwenden.

Wassersparmassnahmen bei Verbrauchern helfen den gesamten Energieverbrauch der ARA zu entlasten.

Warmwasser ist dazu ein grosser Energieverbraucher im Haushalt (im Durchschnitt 12% Prozent des Gesamtenergieverbrauchs). Je weniger Warmwasser im täglichen Leben gebraucht wird, desto kleiner ist der Energieverbrauch.

Didaktikprogramme für Schulen sind ein gutes Mittel, um Kinder und Jugendlichen beizubringen, wie sie Zuhause mit dem Wasser sorgsam umgehen können. Abwasserverbände und Betriebsleute besitzen die notwendigen Kenntnisse und sind in der Lage glaubwürdig diese Leistung den Gemeinden anzubieten.



6.2 Kläranlage (ARA-intern)

6.2.1 Hebewerk

Der Stromverbrauch im Hebewerk liegt unter dem Idealwert. Im Allgemeinen kann mit dem Einsatz von funktionstüchtigen Motoren der Energieverbrauch verbessert werden. IE4 Motoren erreichen zum Beispiel einen Wirkungsgrad von 94% bei 15 kW Nennleistung.

Im Bauprojekt für die ARA Kloten Opfikon wurden IE4 Motoren gewählt.

Eine weitere mögliche Massnahme um den Stromverbrauch zu reduzieren ist die Regelung der Schneckenpumpen mit FU. Um Stromüberschwingungen beim Einsatz von mehreren FUs, wird jedoch empfohlen Aktivfilter einzusetzen.

Betriebliche Massnahmen können parallel dazu vorgenommen werden. Förderleistung, Wirkungsgrad und Leistungsbedarf der Schneckenpumpen hängen vom Wasserniveau ab. Um die beste Leistung zu erreichen, ist es empfehlenswert zu prüfen, ob das Abwasser am Zulauf der ARA eingestaut werden kann.

Um Abrasion und Ablagerungen zu minimieren, wird auch empfohlen, den Pumpensumpf regelmässig zu entleeren und zu reinigen.

Tabelle 14: Einsatz von IE4 Motoren mit FU beim Hebewerk

Hebewerk Zulauf und Biologie		AKO 2040
Abwassermenge	m ³ /d	26'400
Wirkungsgrad IE3	%	0.89
Wirkungsgrad IE4	%	0.94
Energieeinsparung	kWh/a	160'000

6.2.2 Vorreinigung

Der Stromverbrauch der neugeplanten Vorreinigung ist tiefer als der Idealwert.

Der Vollständigkeit halber ist zu erwägen, dass eine angepasste Betriebsweise mit intermittierendem Regime der Sandfangbelüftung energetische Vorteile bringen könnte.

Tabelle 15: Intermittierender Betrieb der Sandfangbelüftung

Sandfangbelüftung		AKO 2040
Aufgenommene Leistung	kW	15
Betriebsdauer 24h	kWh/a	130'000
Betriebsdauer 16h	kWh/a	90'000
Energieeinsparung	kWh/a	40'000

Als weitere Möglichkeit könnte der Sandfang umgebaut werden, sodass sich eine hydraulische Walze ausbildet. Dies würde einen Verzicht des Gebläses ermöglichen.

Diese Massnahmen sind im Detail zu prüfen, da zu viel Sand auf der Anlage zu Folgeschäden führen kann (Abrasion von Pumpen und Leitungen, Ablagerungen im Faulturm, u.s.w.).

6.2.3 Biologie

Die Biologie wird im Rahmen des Gesamtausbaus komplett umgebaut. Verglichen mit einem Belebtschlammverfahren, ist mit dem Nereda®-Verfahren eine deutliche Verbesserung des Stromverbrauchs zu erwarten. Der Lieferant der Nereda®-Technologie gibt 15.4 kWh/EWa als Garantiewert für die Dimensionierung mit 135'000EW_{CSB} (85%-Wert) an. Das entspricht einem Mittelwert im Betrieb von 14 kWh/EWa. Dies ist tiefer als der Idealwert aus dem VSA Leitfaden «Energie in ARA», mit dem eine neue Anlage verglichen wird.

Hebewerk Biologie für Nereda

52% der Abwassermenge fließt von der Seite Kloten/Flughafen und 48% von der Seite Opfikon in die ARA. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten wird nach dem Ausbau die gesamte Abwassermenge von der Vorklärung in die Biologiebecken angehoben. Die für das Nereda®-Verfahren benötigte Förderhöhe beträgt dabei ca. 10 m.

Der Strombedarf des Hebewerkes ist im Garantiewert vom Nereda®-Hersteller inbegriffen (15.4 kWh/EWa) [3]

Gebläse

Das grösste energetische Einsparpotenzial lässt sich bei der Nereda®-Technologie mit den Gebläsen realisieren. Jedem Reaktor ist ein Gebläse zugeordnet.

Der Einsatz von Turbogebbläsen wäre zu überprüfen, da ab Abwassermengen von 2000m³/h Turbogebbläse effizienter als Drehkolben- oder Schraubengebläse sind.

Tabelle 16: Einsatz von Turbogebbläsen [3]

Biologiebelüftung		AKO 2040
Gebläse	kWh/d	4'600
Turboverdichtern	kWh/d	3'900
Energieeinsparung	kWh/a	260'000

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt den Einsatzbereich der Schrauben-, Drehkolben- und Turbogebbläsen [12].

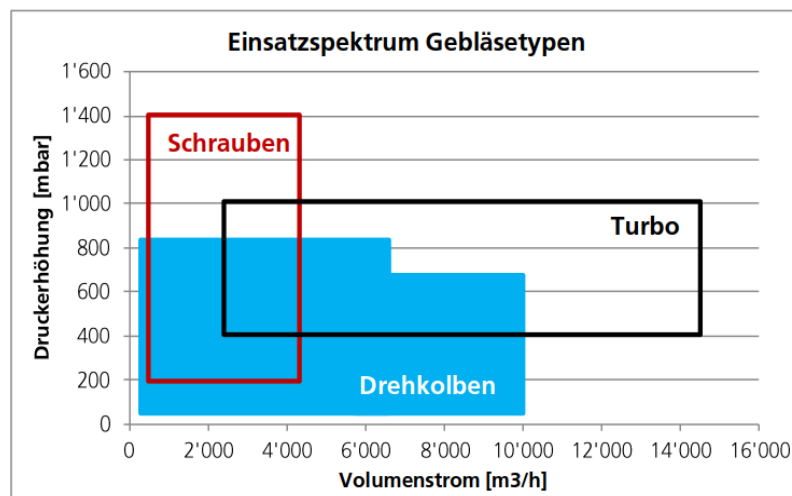


Abbildung 7: Einsatzbereich Gebläsetypen



Nachklärung

Der Nachklärbeckenräumer einer traditionellen Biologie mit Belebtschlammverfahren braucht für eine Anlage mit 113'000 EW_{CSB} im Mittel 25'000 kWh/a (VSA, 2010). Als Massnahme könnte in diesem Fall empfohlen werden, die Laufzeit des Räumers um 33% auf 16 h/d zu reduzieren.

Mit dem Nereda®-Verfahren ist keine Nachklärung nötig, so dass der gesamte bisherige Energieverbrauch dafür als Einsparung resultiert.

6.2.4 Ozonung

Das neue Kapitel «Energieeffizienz in MV-Anlagen» vom VSA-Leitfaden wurde im Mai 2018 publiziert.

Die ARA Kloten Opfikon hat die Ozonung für die Elimination von MV gewählt. Ozon wird dabei in einem Ozongenerator aus Flüssigsauerstoff hergestellt.

Der Energieverbrauch wird durch die Wahl der Diffusoren beeinflusst. Folgende Technologien stehen zur Verfügung:

- Domdiffusoren (passiv)
- Radialbegaser (aktiv)

Im Bauprojekt für die ARA Kloten Opfikon wurden Domdiffusoren gewählt.

Tabelle 17: Energieverbrauch Ozondiffusoren [3]

Ozondiffusoren		AKO 2040
Domdiffusoren	kWh/a	827'000
Radialbegaser	kWh/a	893'000
Energieeinsparung	kWh/a	66'000

Der Ozonreaktor strahlt viel Wärme ab. Für die Kühlung wird allgemein empfohlen, Alternativen zu Kältemaschinen zu untersuchen.

Für den Ausbau der ARA Kloten Opfikon wurde entschieden, die Kühlung des Ozonreaktors an den Kühlkreislauf der Anlage anzuschliessen, die neu durch Erdsonden gekühlt wird. Kältemaschinen sind nur als Redundanz vorgesehen.

Dank der Wärmerückgewinnung wird das erwärmte Kühlwasser vor allem im Winter als zusätzliche Wärmequelle benutzt.

Tabelle 18: Energieverbrauch Kühlung vom Ozonreaktor [3]

Kühlung vom Ozonreaktor		AKO 2040
Erdsonden	kWh/a	90'000
Kühlmaschinen	kWh/a	270'000
Energieeinsparung	kWh/a	180'000

Es ist anzumerken, dass der von der Ozonung verursachte zusätzliche Stromverbrauch stark von anderen Abwasserinhaltsstoffen abhängt (beispielweise DOC und Nitrit). Optimierungspotenzial ist bei zunehmender Betriebserfahrung zu erwarten.

6.2.5 Filtration

Der Stromverbrauch der Filtration liegt über dem Idealwert.

Die bestehende Filtration wird weiterbetrieben, und das biologische gereinigte Wasser fließt direkt von der Ozonung in den Sandfilter. Kein zusätzliches Hebewerk ist nötig.

Eine mögliche Energiesparmassnahme ist die Rückspülung des Filters zu optimieren. Es wird empfohlen, die Regelung der Filtrerrückspülung im Laufen des Betriebs dynamisch zu gestalten (ohne fixe Zyklen).

6.2.6 Schlammbehandlung

Die Schlammfäulung weist Optimierungspotential auf.

Im Rahmen des Vorprojektes wurde die Schlammbehandlung mittels thermischer Druckhydrolyse (THP-Verfahren) untersucht [4]. Diese Variante wird nicht realisiert. In der neuen Schlammbehandlung wurde aber Platz für eine spätere Integration vorgesehen.

Schlammfäulung

Als Massnahme könnten die Umwälzpumpen intermittierend betrieben werden. Die benötigten Betriebsstunden der Schlammfäulung hängen von der Auslegung des Wärmetauschers ab. Bei einer üblichen Auslegung sollte ein Betrieb von 18 h/d ausreichen. Während dem Betrieb soll geachtet werden, dass sich keine Ablagerungen bilden.

Tabelle 19: Energieverbrauch der Umwälzpumpen Schlammfäulung [3]

Umwälzpumpen Faulraum		AKO 2040
Betrieb 24h	kWh/a	210'000
Betrieb 18h	kWh/a	160'000
Energieeinsparung	kWh/a	50'000

Es wird empfohlen, eine regelmässige Wartung des Schlammwärmetauschers vorzunehmen. Dadurch wird der Wärmeübertrag im Tauscher deutlich verbessert.

Wärmerückgewinnung aus Faulschlamm

Durch die Wärmerückgewinnung aus dem Faulschlamm kann der Schlamm im Winter um 7°C und im Sommer um 4°C erwärmt werden. Dies führt zu einer Reduktion der Wärmeenergie übers Jahr um rund 230'000 kWh.

Tabelle 20: Wärmerückgewinnung aus dem Faulschlamm

Wärmerückgewinnung aus dem Faulschlamm		AKO 2040
Frischschlamm nach Vorentwässerung – Zulauf zur Schlammfäulung	m ³ /d	156
Energieeinsparung	kWh/a	230'000

Isolation des Faulturms

Die Isolation des Faulturms und des Betriebsgebäudes führen zu einer kleinen Energieeinsparung.

Weitere Massnahmen werden nicht vorgeschlagen.



Schlammwässerung

Die Schlammwässerung bezieht leicht mehr Strom, als per Idealwert vorgesehen.

Es wird deshalb empfohlen, die Schlammwässerung mit der Installation von FUs energetisch zu optimieren.

6.2.7 Lüftung

Die Lüftungen weisen Optimierungspotential auf. Die Lüftung kann durch eine Kontrolle der Parameter und Laufzeiten der einzelnen Lüftungsanlagen optimiert werden (benötigte Dauer des Betriebes, Mehrfachnutzung).

Es wird empfohlen, alle Einstellungsparameter während dem Betrieb zu überprüfen. Die Installation von Zeitschaltuhren oder Thermostaten in den Elektroschänken würde zusätzliche Energie einsparen.

6.2.8 Brauchwasser

Die Brauchwasseraufbereitung inklusiv Druckerhöhungspumpen werden neu gebaut. Es werden keine Massnahmen zur Energieoptimierung vorgeschlagen.

Übliche Massnahmen zur Energieeinsparung bei bestehenden Anlagen sind:

- Überprüfen ob der Betriebsdruck auf 6 bar anstatt 9 bar gehalten werden kann
- Überprüfen des Netzes auf Leckagen
- Leitungsersatz bei alten Leitungen
- Erweitern des Netzes mit kleineren Pumpen
- Einbau eines Wasserzählers

6.2.9 Druckluft

Der Stromverbrauch für die Druckluft liegt deutlich über den Idealwert. Dies ist vermutlich auf die viele Pneumaten zurückzuführen, die auf der ARA installiert sind und mit Druckluft angesteuert werden.

Die Druckluftversorgung könnte durch Anpassung der Regelung oder durch Reduktion des massgebenden Druckes optimiert werden. Zudem sind in Zukunft alle Leitungen auf Leckagen zu überprüfen.

6.2.10 Heizung/Kühlung

Nieder- und Hochtemperatur-Heiznetz werden erneuert. Zur Kühlung der Anlage werden in Zukunft Erdsonden installiert. Die passive Kühlung mit Erdsonden ermöglicht hohe Nutzungsgrade: bis zu 25 kWh Wärme können mit 1 kWh Strom weggekühlt werden. Der Stromverbrauch liegt dank der gewählten Lösung unter dem Idealwert. Der Einsatz von Kältemaschinen ist nur als Redundanz vorgesehen.

Der Stromverbrauch der Kühlung der E-Räume mittels Kältemaschinen wird auf ca. 17'000 kWh/a geschätzt [3].

Tabelle 21: Kühlung E-Räume mit Erdsonden [3]

Kühlung Elektroräume		AKO 2040
Kühlung mit Erdsonden	kWh/a	2'000
Kältemaschinen	kWh/a	17'000
Energieeinsparung	kWh/a	15'000

Die Wärmebilanz zeigt, dass der thermische Versorgungsgrad für alle Wärmeverbraucher hinreichend ist (siehe Kapitel 3.2).

Da der im 2040 vorgesehene Wärmebedarf übers ganze Jahr bereits zu mehr als 100% mit Abwärme gedeckt ist, wird nicht empfohlen weitere thermische Optimierungen zu verfolgen. Erst bei einem Anschluss an einen Wärmeverbund werden Massnahmen zur Wärmerückgewinnung interessant und sollen geprüft werden.

6.2.11 Beleuchtung

Als energetische Sparmassnahme wird die Ausführung der Beleuchtung mit LED-Leuchten empfohlen.

Diese Massnahme ist im Bauprojekt bereits berücksichtigt. Wo nötig soll eine explosionsgeschützte LED Beleuchtung vorgesehen werden.

6.2.12 Photovoltaik

Im Rahmen des Ausbaus 2020 an der ARA Kloten-Opfikon entstehen neue Dach- und Fassadenflächen, die das Potential 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 [9].

Die Rahmenbedingungen der ARA zur Betriebssicherheit und damit Investitionssicherheit einer Photovoltaikanlage sind optimal.

Es wird empfohlen die Installation von Photovoltaikanlagen auf der ARA Kloten Opfikon weiterzuverfolgen, und die Möglichkeiten dazu bereits in die Planung zu integrieren (z.B. entsprechende Leerrohre vorsehen).

Das Merkblatt von Swissolar (11/2011/Merkblatt-Nr.21001d) benennt eine Einsparung von 0.59 kg CO₂ pro kWh produzierten Stroms aus Photovoltaik. Somit beläuft sich die gesamte mögliche CO₂-Einsparung auf ca. 150 Tonnen CO₂ pro Jahr.

Tabelle 22: Stromertrag Photovoltaik

Photovoltaikanlage		AKO 2040
% am prognostizierten Gesamtstromverbrauch	%	6%
CO ₂ Einsparung	t CO ₂ /a	150
Energieeinsparung	kWh/a	250'000

6.2.13 BHKW und Heizkessel

BHKW

Zwei BHKW produzieren bereits heute Energie auf der ARA Kloten Opfikon. Diese werden periodisch ersetzt (ca. alle 10 Jahre). Die Gasverwertung ist dank dem Einsatz von neuen BHKWs optimal. zudem steigt der totale Gasverbrauch auf 210 Nm³/h im 2040.

Heizkessel

Im Laufe des Ausbaus wird der Heizkessel ersetzt. Der neue Heizkessel ist dabei als Zweistoff-Brenner (Öl und Gas) konzipiert.

Der Heizkessel wird als Redundanz benötigt und nur in folgenden Fällen betrieben:

- Ausfall von BHKW1 oder BHKW2
- Anfahren der Schlammfäulung bei geringem Gasvorrat

Es ist zu bemerken, dass folgende Konsequenzen eines Ausfalls im Ausbauziel zu erwarten sind (Quelle: Konzept BHKW [3]):

- Ausfall BHKW1: Strom- und Wärmeproduktion um 43% reduziert. Stromeinkauf und Heizölverbrauch verursachen 900 CHF/d Zusatzkosten
- Ausfall BHKW2: Strom- und Wärmeproduktion um 49% reduziert. Stromeinkauf und Heizölverbrauch verursachen 1'000 CHF/d Zusatzkosten

Folgende Alternativen werden vorgeschlagen:

- Die Erdgasleitung läuft bei der ARA Kloten Opfikon vorbei. Als Alternative zum Öl/Gasverbrenner wird empfohlen, einen Biogas/Erdgasbrenner einzusetzen.
- Für den Notfallbetrieb (Ausfall BHKW) wird empfohlen, den Einsatz einer mobilen Heizzentrale zu untersuchen, und damit die Investitionskosten für einen neuen Heizkessel einzusparen. Der Preis für die Miete einer 350 kW mobilen Biogas-Heizzentrale ist ca. 220.- CHF/d (in 24h lieferbar).

Mikrogasturbinen (MGT)

Seit einigen Jahren konkurrieren Mikrogasturbinen (MGT) die BHKW.

Bei der Stromproduktion stellt sich die Mikrogasturbine etwas hinter das BHKW. Der elektrische Wirkungsgrad ist rund 4% tiefer als der elektrische Wirkungsgrad eines BHKWs. Zudem ist der angegebene elektrische Wirkungsgrad von 26% nur zu erreichen, wenn die Umgebungsluft der MGT rund 15°C beträgt. Eine Erhöhung der Umgebungstemperatur auf 26°C senkt den elektrischen Wirkungsgrad unter 24%.

Neueste Erkenntnisse zeigen, dass der thermische Wirkungsgrad der MGT ebenfalls einen Jahresgang aufweist. Dieser verläuft entgegen dem Bedarf der ARA und ist im Winter – wenn die Wärme benötigt wird – kleiner als im Sommer, wenn ein Wärmeüberschuss besteht.

Grosse Vorteile der MGT sind die sehr tiefen Betriebskosten und die deutlich tieferen Emissionen als bei einem BHKW.

Allerdings liegen die Investitionskosten für eine MGT deutlich über den Investitionskosten eines BHKWs. Somit sind die Jahreskosten MGT und BHKW in etwa gleich.

MGT können als alternative Lösung zu BHKW für ARAs untersucht werden, die Verfahren mit hoher Temperatur besitzen (z. B. Trocknung).

Die Wärmebilanz im AKO Ausbauziel 2040 zeigt ein positives Bild, sogar eine Wärmeautarkie. Für die ARA Kloten Opfikon ist der Einsatz von MGT ungeeignet, da diese mehr Abwärme produzieren, die nicht genutzt werden kann.

6.2.14 Co-Vergärung

Im Ausbauziel 2040 ist 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 ausgebaute ARA optimale Bedingungen für eine hohe Ausbeute (VSA, 2010).
- Die erwartete spezifische Gasproduktion von 41 L E⁻¹d⁻¹ im Jahr 2040 ist deutlich höher als der Erfahrungswert der Gasproduktion von 28 L E⁻¹d⁻¹.

Die Klärgasproduktion kann mit der Zufuhr von Fremdsubstrat massgebend weitergesteigert werden, die Gasausbeute variiert je nach Co-Substrat. Folgendes Beispiel zeigt die theoretische Stromproduktion vom Milchserum [13].

Tabelle 23: Energieproduktion am Beispiel vom Milchserum als Co-Substrat

Co-Substrat Milchserum		AKO 2040
Menge	t/a	10'000
Gasproduktion	Nm ³ /a	1'600'000
Energieproduktion	kWh/a	10'000'000

Falls Interesse da ist, eine Anlage für die Vergärung von Co-Substraten zu bauen, wird als nächster Schritt die Erstellung eines Vorprojektes empfohlen.

6.3 Klärschlamm Entsorgung

Seit 2015 wird der entwässerte Klärschlamm der ARA Kloten Opfikon auf der Mono-Verbrennungsanlage im Klärwerk Werdhölzli in Zürich verbrannt.

Es ist keine Optimierung nötig.

Im Allgemeinen gilt: je kürzer der Transportweg, desto besser ist die energetische Bilanz der Schlamm Entsorgung.

6.4 Abwasserwärmenutzung

Die im Abwasser enthaltene Energie kann zum Heizen und Kühlen von Gebäuden genutzt werden. Mit Wärmetauschern wird dem Abwasser Wärme entzogen und mittels Wärmepumpentechnologie auf ein für Heizzwecke notwendiges Temperaturniveau gebracht. Dieses System kann gleichzeitig auch zu Kühlzwecken verwendet werden.

Energieoptimierungen sind sowohl ARA intern wie auch ARA extern zu suchen. Zweckmässig kann die Wärme dem Abwasser in zwei Varianten entnommen werden:

- Rückgewinnung im Abwasserkanal (aus Rohabwasser)
- Rückgewinnung in der Kläranlage (idealerweise aus gereinigtem Abwasser)

Prioritär soll die Nutzung des Potentials im Auslauf der ARA erfolgen.

Angesichts der namhaften Investitionskosten ist es sinnvoll, eine mögliche Nutzung des Abwassers mit einem Energiecontractor zu prüfen.

Aus der Machbarkeitsstudie für die Abwasserwärmenutzung der ARA Kloten Opfikon [5] wird ersichtlich, dass das heutige Entzugspotential für die Wärmerückgewinnung (Rekuperation) aus dem gereinigten Abwasser im absoluten Minimum (ΔT 3K) über 600 kW beträgt, beziehungsweise 1'900 kW im Mittelwert (ΔT 3K).

Mit einem heutigen Potential der Wärmerückgewinnung mit Abwasser von 1'900 kW und 2'100 Vollbetriebsstunden pro Jahr, kann eine Wärmeenergie von 4'000 MWh/a generiert werden. Das entspricht rund 400'000 Liter Heizöl Extraleicht².

Diese Heizölmenge würde 950 t CO₂/a produzieren, welche somit eingespart werden.

Das Potential im Ausbauziel 2040 kann proportional zur vorausgesagten Zunahme der Rohabwasserfrachten (+43%) geschätzt werden.

Tabelle 24: Potential Abwasserwärmenutzung AKO 2040 [5]

Abwasserwärmenutzung		AKO 2040
Wärmerückgewinnung	kW	2'700
Wärmeenergie	kWh/a	5'700'000
CO ₂ Einsparung	t CO ₂ /a	1'400

6.5 Kostensenkungsmassnahmen

Ein dynamisches Lastmanagement dient dazu, Stromspitzen und damit Leistungskosten zu vermeiden. Dabei werden grössere Verbraucher am Einschalten gehindert oder Anlagen mit zeitlicher Variabilität (z.B.: Lüftungsventilatoren) zu Zeiten mit hohen Lasten abgeschaltet.

Mit der Liberalisierung des Strommarktes und der Strompreisentwicklung in der Schweiz wird eine regelmässige öffentliche Ausschreibung für die Stromversorgung empfohlen, um die bestmöglichen Konditionen und Strompreise zu bekommen (z.B. alle 2 Jahren) [11].

7 Wirtschaftlichkeit

Für jede Massnahme wird das Kosten-Nutzen-Verhältnis ermittelt. Ein Kosten-Nutzen-Verhältnis < 1 ist wirtschaftlich. Empfohlen wird die Umsetzung von einem Massnahmenpaket, das insgesamt ein K/N-Verhältnis < 1 aufweist, so dass zum Teil auch Massnahmen mit $K/N > 1$ umgesetzt werden können.

Zudem werden in einer Feinanalyse die Massnahmen in drei Kategorien eingeteilt:

- Sofortmassnahmen (S) sofort realisierbar, unabhängige Massnahmen, keine betrieblichen, abwassertechnische, bauphysikalische oder technische Probleme, gutes Kosten-Nutzen-Verhältnis ($K/N < 0.3$)
Zeitraum der Umsetzung: weniger als 2 Jahre
- Kurzfristige Massnahmen (K) genauere Untersuchung in Ausführungsplanung ($K/N < 1.0$)
Zeitraum der Umsetzung: 3-5 Jahre
- Abhängige Massnahmen (A) Ausführung zusammen mit allgemeinen Sanierungs- und Unterhalts- oder Erneuerungsarbeiten, schlechtes Kosten-Nutzen-Verhältnis ($K/N > 1$)
Zeitraum der Umsetzung: 5-20 Jahre

Grundsätzlich werden die Massnahmen gemäss dem Zeitraum der Umsetzung (S, K, A) eingeteilt. Für die abhängigen Massnahmen ist der Zeitpunkt verhältnismässig schwierig festzulegen, da diese mit allgemeinen Sanierungs-, Unterhalts- und Erneuerungsarbeiten zu koordinieren sind.

Die nachfolgende Tabelle 25 zeigt die Annahmen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung gemäss VSA (2010). Im Hinblick auf eine längerfristige Betrachtung, wird als Zinssatz 3% angenommen. Für Elektronikteile sind 10 Jahre Nutzungsdauer als realistisch geschätzt.

Tabelle 25: Annahmen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung

Annahmen zur Wirtschaftlichkeitsberechnung	Nutzungsdauer	Mittelwertfaktor ²⁾	Annuität ¹⁾
Kläranlagen-spezifischen Anlageteile			
Bauteile	25 Jahre	1.8	0.0607
Technikteile	12.5 Jahre	1.4	0.1001
Elektronikteile	10 Jahre	1.2	0.1202
Gebäude-spezifische Anlageteile			
Bauteile	30 Jahre	2.0	0.0544
Technikteile	15 Jahre	1.5	0.0868
Elektronikteile	10 Jahre	1.2	0.1202

¹⁾ bei 3% Zinssatz

²⁾ bei einer Energiepreis- und Betriebskostenteuerung von 5% nominal und 1% real

Der energetische Zustand der ARA Kloten Opfikon nach dem laufenden Ausbau kann als sehr gut bezeichnet werden. Tabelle 26 zeigt das Kosten-Nutzen-Verhältnis der im Kapitel 8 dargestellte Massnahmen an. Die Herleitung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses ist der Beilage 10.2 zu entnehmen.

Die Investitionen berücksichtigen nur den für die energetische Einsparung nötigen Kostenzusatz.



Tabelle 26: Kosten-Nutzen-Analyse der vorgeschlagenen Massnahmen

Kosten-Nutzen-Analyse	Investitionen [CHF]	Energieeinsparungen [kWh/a]	Jahreskosten [CHF/a]	Jahresnutzen [CHF/a]	ROI [%]	K/N [-]
ARA-extern						
Reduktion Fremdwasseranteil	200'000	11'000	11'000	3'000	1.5	3.67
ARA-intern						
Hebewerk mit IE4 Motoren	150'000	160'000	15'000	34'000	21.8	0.44
Intermittierender Betrieb der Sandfangbelüftung	2'000	40'000	1'000	8'000	598	0.13
Einsatz von Turbogebbläsen	450'000	260'000	44'000	55'000	11.9	0.80
Ozonung - Domdiffusoren	100'000	66'000	11'000	14'000	13.9	0.79
Ozonung - Kühlung vom Ozonreaktor	300'000	180'000	18'000	49'000	16.2	0.37
Intermittierender Betrieb Umwälzpumpen Faulraum	2'000	50'000	1'000	11'000	525	0.09
Wärmerückgewinnung aus dem Faulschlamm	125'000	230'000	15'000	48'000	38.6	0.31
Kühlung E-Räume mit Erdsonden	30'000	15'000	2'000	4'000	13.5	0.50
Steigerung erneuerbare Energienutzung						
Photovoltaikanlage	320'000	250'000	24'000	68'000	21.4	0.35
Co-Substrat (Milchserum)	600'000	10'000'000	124'000	2'700'000	450	0.05
Abwasserwärmenutzung	4'800'000	5'700'000	1'446'000	1'539'000	40.2	0.94
Total ARA-extern	200'000	11'000	11'000	3'000		
Total ARA-intern	1'160'000	1'000'000	110'000	220'000		
Total erneuerbare Energie	5'700'000	16'000'000	1'600'000	4'300'000		
Total	7'100'000	17'000'000	1'700'000	4'500'000		
Sofortmassnahmen (S)						
Kurzfristige Massnahmen (K)						
Abhängige Massnahmen (A)						

Die ARA Kloten Opfikon stellt einen Spezialfall dar, da die Bauarbeiten bereits begonnen haben. Es wird empfohlen, sämtliche Massnahmen (S, K, A) im Rahmen des Bauprojektes als abhängige Massnahmen vorzusehen.

8 Empfehlungen

8.1 Massnahmenrealisierung

Massnahmen mit einem Kosten-Nutzen-Verhältnis <1 sind wirtschaftlich lohnend.

Aufgrund der Kosten-Nutzen-Analyse empfehlen wir für das weitere Vorgehen, ARA-intern Energiesparmassnahmen mit einem K/N-Verhältnis <1 ins Bauprojekt AKO 2040 zu integrieren.

Energieproduktionsmassnahmen benötigen hohe Investitionskosten. Als nächster Schritt wird pro Massnahme die Erstellung eines Vorprojektes empfohlen.

Vor allem bei einer Photovoltaikanlage und bei Abwasserwärmenutzung ist die CO₂-Bilanz sehr positiv:

- CO₂-Einsparung Photovoltaikanlage: 150 t CO₂/a
- CO₂-Einsparung Abwasserwärmenutzung: 1'400 t CO₂/a

Das ergibt einen Wert von 45'000 CHF pro Jahr in CO₂-Kompensationen. Als Vergleich, entspricht die eingesparte CO₂-Menge 530 Haushalte¹.

Das Programm KLIK der Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation besteht als Förderprogramm für die Verbesserung der Klimabilanz.

Mit Inkrafttreten des neuen Energiegesetzes per 1. Januar 2018 werden hingegen kommunale Klärgasanlagen von der Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) ausgeschlossen. Seit Jahresbeginn werden anstelle der früheren KEV neu "Investitionsbeiträge an Klärgas-BHKW" ausbezahlt. Ziel ist es, BHKW zu fördern, die noch nicht wirtschaftlich sind. Die Beiträge können bis zu 20% der anrechenbaren Investitionen ausmachen [16].

8.2 Erfolgskontrolle

Nach der Erstellung einer Feinanalyse ist von der ARA zu prüfen, ob die vorgeschlagenen Massnahmen aufgenommen und anschliessend umgesetzt wurden.

Nach der Realisierung jeder Energiesparmassnahme werden somit die Kosten und die Einsparungen überprüft. Die Erfolgskontrolle zeigt, ob die energetische Wirkung und die Wirtschaftlichkeit erreicht wurden und wo Nachbesserungen und Ergänzungen sinnvoll sind.

Die Praxis hat gezeigt, dass dank der Erfolgskontrolle weitere Betriebsoptimierungen identifiziert werden können, die beträchtliche Energiekosteneinsparungen bringen.

¹ Kompensationen in Klimaschutzprojekte werden mit rund 29.- CHF/t CO₂ gerechnet.
Heizung von einem 100m² Haushalt mit Ölheizung (Baustandard SIA-Norm 380/1) = 2.9 t/a CO₂
Quelle: myclimate.org [19]



9 Grundlagen

- [1] VSA, BFE: "Energie in ARA - Leitfaden zur Energieoptimierung auf Abwasserreinigungsanlagen", Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute VSA und Bundesamt für Energie BFE, Zürich/Bern. 2010
- [2] Kasper M.: «Abwasserreinigung Kloten/Opfikon, Geschäftsbericht 2014/2015», ARA Kloten Opfikon, 2016
- [3] INGE TBF – Pöyry: «Abwasserreinigung Kloten Opfikon AKO - Ausbau ARA Kloten Opfikon», Technischer Bericht Bauprojekt (definitiv) mit Anhängen, Zürich, 2016
- [4] INGE TBF – Pöyry: «Studie Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit einer Thermodruck-Hydrolyse (TDH)», Technischer Bericht, Zürich, 2015
- [5] Mathys O., Moser R: «Gemeinden Opfikon und Kloten - Machbarkeitsstudie Abwasserwärmenutzung», Technischer Bericht, Hunziker Betatech AG mit Unterstützung BFE, Winterthur, 2014
- [6] Opitz A., Hungerbühler E., Moser R.: «Abwasserreinigung Kloten Opfikon - Konzeptstudie Zukünftige Gasverwertung», Technischer Bericht, Hunziker Betatech AG, Winterthur, 2014
- [7] BAFU: «Mikroverunreinigungen aus kommunalem Abwasser», Bundesamt für Umwelt BAFU, 2012
- [8] Büeler A., Moser R.: «Energie in ARA - Energieeffizienz in MV-Anlagen», im Auftrag von InfraWatt, 2017
- [9] Mörsch M., Eigenmann N.: «ARA Kloten Opfikon - Machbarkeitsstudie Photovoltaikanlage», Technischer Kurzbericht, Hunziker Betatech AG, Winterthur, 2017
- [10] Royal Haskoning DHV: «Nereda®, Abwasser auf natürliche Weise aufbereiten», BC Amersfoort, 2017
- [11] PwC, Energy Brainpool GmbH & Co. KG: «Strompreise in der Schweiz 2016 bis 2025», Zürich/Berlin, 2014
- [12] Twerenbold S.: «Gebläse für die Biologiebelüftung», Präsentation, Hunziker Betatech AG, Winterthur, 2014
- [13] Bachmann N.: «Vorteile und Grenzen der Vergärung von leicht abbaubaren Industrie- und Lebensmittelabfällen in Abwasserreinigungsanlagen», EPFL Travail de Master, 2009
- [14] ARA Kloten Opfikon, Betriebsdaten 2012-15
- [15] Hug Th.: «Energie in ARA: Tool zur Unterstützung von Energie-Feinanalysen», im Auftrag von InfraWatt, Schaffhausen, 2015
- [16] <http://www.bfe.admin.ch/themen/06902/06905/06909/index.html?lang=de>
- [17] <https://www.micropoll.ch/plattform/>
- [18] Impianti Depurazione Acque Svizzera Italiana, <http://depurazione.ch/index/>, Schuldidaktik, 2016
- [19] Stiftung myclimate: https://co2.myclimate.org/de/household_calculators/new, Haushalt CO₂-Emissionen, Zürich

10 Beilagen

10.1 EDV-Tool

Energie in ARA: Tool zur Unterstützung von Energie-Feinanalysen
www.infrawatt.ch
Version 1.5 (7.12.2015)

Anlagendaten

ARA:
 Erhebungsjahr:
 massgebender Einwohnerwert: [EW] CSB mittel / 120

Eingabe Zusätzliche Messdaten für Energie-Feinanalyse

Die Energiedaten ARA werden im Tabellenblatt "Eingabe Grobcheck" eingegeben.
 In diesem Blatt werden die für die Feinanalyse zusätzlich benötigten Daten eingegeben.
 Auch diese Daten werden via der Tabelle "Hilfsblatt Eingabewerte" in die Berechnungen eingefügt.
 Allenfalls können diese Eingaben auch unten an die Eingabe Grobcheck angehängt werden.

<input type="text" value="Eingabefeld"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text" value="Übertrag aus Eingabe Grobcheck"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text" value="Berechnung"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="text" value="optionaler Defaultwert"/>	<input type="checkbox"/>

Eingabe der Belastung der Anlage

Einwohnerwerte

CSB mittel / 120	<input type="text" value="17455"/> [EW]	<input type="checkbox"/>
alternativer Einwohnerwert (falls Zahl eingegeben, wird diese verwendet)	<input type="text" value=""/> [EW]	<input type="checkbox"/>
Beschrieb (z.B. "Dimensionierungswert" oder "Jahresbericht 2013")	<input type="text" value=""/> [EW]	<input type="checkbox"/>
Ausgewählter Wert für Auswahl massgebende Richt-Idealewerte	<input type="text" value="17455"/> [EW]	<input type="checkbox"/>

CSB mittel / 120

Da die Berechnung der EW anhand der CSB-Zufuhrkraft einfacher sein kann, können hier alternativs Ergaben für die massgeblichen EW gemacht werden.
 Bei einer Angabe eines alternativen Einwohnerwerts wird dieser anstelle des CSB mittel / 120 verwendet.
 (Die Richt-Idealewerte gelten nur für EW₂₀₁₁)

Nennen Sie Einwohnerwerte (z.B. aktuelle Belastung, Strommessungswert)

<input type="text" value="10000 Strommessungswert"/>	<input type="text" value="10000 Belastung Mittel CSB, NH4, Schmelze"/>	<input type="text" value="Berechnungsjahr 2012"/>
--	--	---

Zufussmenge

mittlere Zufuss	<input type="text" value="0.450"/> m ³ / d	<input type="checkbox"/>
mittlere Abwasser Temperatur des Ablaufs im Januar/Februar	<input type="text" value="9"/> °C	<input type="checkbox"/>

Eingabe Energiedaten ARA extern

Stromproduktion extern	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="checkbox"/>	Stromproduktion extern (z.B. Abwasserkraftwerk)
Stromverbrauch extern	<input type="text" value="0.400"/> [kWh / a]	<input type="checkbox"/>	Stromverbrauch extern (z.B. Pumpwerke Kanalisation)
Wärmeproduktion extern	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="checkbox"/>	Wärmeproduktion extern (z.B. Abwasserwärme ausserhalb ARA)
Wärmeverbrauch extern	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="checkbox"/>	Wärmeverbrauch extern (z.B. Schmelzabdeckung, Verbrennung heisser Schlamm)

Einkauf / Verkauf Energie

Strom

Werte aus Eingabe Grobcheck:
 Strom-Fremdbezug Insektbereich: [kWh / a] Produktion erneuerbar - Bezug netto

Menge	Preis	Menge	Preis	Menge	Preis
Einkauf Strom (ARA)	<input type="text" value="379000"/> [kWh / a]	<input type="text" value="0.10"/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="56800"/> [Fr. / a]	externer Strombezug aufgrund Stromverbrauchs ausserhalb ARA	<input type="text" value="560"/> [Fr. / a]
Einkauf Strom (extern)	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="text" value="0.10"/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]	externer Strombezug aufgrund Stromverbrauchs ausserhalb ARA	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]
Verkauf Strom (ARA)	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="text" value="0.20"/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]	Stromeinpreisung aufgrund Stromproduktion auf ARA	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]
Verkauf Strom (extern)	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]	Stromeinpreisung aufgrund Stromproduktion ausserhalb ARA	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]

Ferme Wärme

Einkauf Ferme Wärme	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="text" value=""/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]
Verkauf Ferme Wärme (ab ARA)	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="text" value=""/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]
Verkauf Ferme Wärme (ab extern)	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="text" value=""/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]

Klärgas

Standardheizwert H ₂ Klärgas	<input type="text" value="0.4"/> [kWh / Nm ³]	<input type="checkbox"/>
Heizwert H ₂ Klärgas aus Probenahme	<input type="text" value="0.2"/> [kWh / Nm ³]	<input type="checkbox"/>
Ausgewählter Wert für Berechnungen	<input type="text" value="0.2"/> [kWh / Nm ³]	<input type="checkbox"/>

Falls der Heizwert des Klärgases für die ARA nicht bekannt ist, so wird der Standardwert von 0.4 kWh / Nm³ gemäss dem Leitfaden "Energie in ARA" verwendet.

Verkauf Klärgas	<input type="text" value="0"/> [Nm ³ / a]	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value=""/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]
Methananteil Klärgas	<input type="text" value="0"/> %	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value=""/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]
Verkauf Klärgas	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="checkbox"/>	<input type="text" value=""/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]

Brennstoffe

Verbrauch Erdgas	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="text" value=""/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]
Verbrauch Erdöl (Verbrauch l / a)	<input type="text" value="0"/> [l / a]	<input type="text" value=""/> [Fr. / l]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]
Energieinhalt Erdöl (Standardwert: 9.8 kWh / l)	<input type="text" value="9.80"/> [kWh / l]	<input type="text" value="0.91"/> [Fr. / l]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]
Verbrauch Erdöl (Verbrauch kWh / a)	<input type="text" value="63700"/> [kWh / a]	<input type="text" value="0.09"/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="5915"/> [Fr. / a]
Verbrauch anderer Brennstoffe (z.B. Holzschmelze)	<input type="text" value="0"/> [kWh / a]	<input type="text" value=""/> [Fr. / kWh]	<input type="text" value="0"/> [Fr. / a]

Kapitalzins / Teuerung

langfristiger Kapitalzins (Kalkulationszinssatz):

reale Preisänderung Wartung & Unterhalt:

reale Energiepreis-Änderung: %

Strom Einkauf: %

Strom Einspeisung: %

Heizöl: %

Erdgas: %

Ferme Wärme: %

Einspeisung in Gasnetz: %

Mittelwertfaktoren für eingabe Zins und Teuerungsraten
 Empfohlene Werte für Nutzungsdauer gemäss Leitfaden "Energie in ARA"

ARA	Gebäude			
	Technik	Bas	Technik	Bas
Nutzungsdauer [a]	12.5	15	25	30
	1.000	1.082	1.135	1.162

	Vorschlag gemäss SIA 480 (2004)			
	1.000	1.000	1.000	1.000
Strom Einkauf	1.000	1.000	1.000	1.000
Strom Einspeisung	1.000	1.000	1.000	1.000
Heizöl	1.05	1.128	1.211	1.228
Erdgas	1.000	1.000	1.000	1.000
Ferme Wärme	1.000	1.000	1.000	1.000
Einspeisung in Gasnetz	1.000	1.000	1.000	1.000

Rechner für Umrechnung Prozente in Mittelwertfaktoren
 Hier können Mittelwertfaktoren berechnet werden. Diese Werte werden nicht für die Berechnung verwendet.

Kalkulatorischer Zinssatz:	<input type="text" value="4.5%"/>
reale Preisänderung:	<input type="text" value="5.5%"/>
Nutzungsdauer [a]:	<input type="text" value="12.5"/> <input type="text" value="15.0"/> <input type="text" value="25.0"/> <input type="text" value="30.0"/>
Mittelwertfaktor:	<input type="text" value="1.377"/> <input type="text" value="1.438"/> <input type="text" value="1.617"/> <input type="text" value="1.673"/>

Abbildung 8: Maske vom EDV-Tool für die Erarbeitung von Feinanalysen



10.2 Kosten-Nutzen-Analyse

Tabelle 27: Kosten-Nutzen-Analyse der einzelnen Massnahmen.

	Nutzungs- dauer	Annuität	Mittel- wert-fak- tor	Mehrauf- wand Wartung und Unter- halt	Investitio- nen	Energie- einsparun- gen / Produktion	Jahres- kosten	Jahres- nutzen	ROI	K/N	CHF/k Wh ein- gespart
	[a]	[-]	[-]	[CHF/a]	[CHF]	[kWh/a]	[CHF/a]	[CHF/a]	[%]	[-]	[-]
Reduktion Fremdwasseranteil	25	0.06	1.8	0	200'000	11'000	11'000	3'000	1.5	3.67	1.00
Hebewerk mit IE4 Motoren	12.5	0.10	1.4	500	150'000	160'000	15'000	34'000	21.8	0.44	0.09
Intermittierender Betrieb der Sandfangbelüftung	12.5	0.10	1.4	300	2'000	40'000	1'000	8'000	598	0.13	0.03
Einsatz von Turbogebbläsen	12.5	0.10	1.4	0	450'000	260'000	44'000	55'000	11.9	0.80	0.17
Ozonung - Domdiffusoren	12.5	0.10	1.4	1000	100'000	66'000	11'000	14'000	13.9	0.79	0.17
Ozonung - Kühlung vom Ozonreaktor	25	0.06	1.8	500	300'000	180'000	18'000	49'000	16.2	0.37	0.10
Intermittierender Betrieb Umwälzpumpen FR	12.5	0.10	1.4	300	2'000	50'000	1'000	11'000	525	0.09	0.02
Wärmerückgewinnung aus dem Faulschlamm	12.5	0.10	1.4	2'000	125'000	230'000	15'000	48'000	38.6	0.31	0.07
Kühlung E-Räume mit Erdsonden	25	0.06	1.8	300	30'000	15'000	2'000	4'000	13.5	0.50	0.13
Photovoltaikanlage	25	0.06	1.8	3'000	320'000	250'000	24'000	68'000	21.4	0.35	0.10
Co-Substrat (Milchserum)	25	0.06	1.8	50'000	600'000	10'000'000	124'000	2'700'000	450	0.05	0.01
Abwasserwärmenutzung	25	0.06	1.8	650'000	4'800'000	5'700'000	1'446'000	1'539'000	40.2	0.94	0.25
Sofortmassnahmen (S)											
Kurzfristige Massnahmen (K)											
Abhängige Massnahmen (A)											

10.3 Kosten-Nutzen-Verhältnis

Jahreskosten (K) und Jahresnutzen (N) werden gemäss Leitfaden ‚Energie in ARA‘ des VSA/Energie-Schweiz (2010) wie folgt gerechnet. Aus diesen zwei Grössen resultiert das Kosten-Nutzen-Verhältnis:

$$\frac{K}{N} = \frac{K_i + (K_u \times m_u)}{(N_e \times m_e) + (N_b \times m_b)}$$

wobei

K = Jahreskosten (Fr./a)

K_i = jährliche Kapitalkosten (Fr./a) berechnet mittels Annuität

K_u = jährliche Unterhaltskosten (Fr. /a)

m_u = Mittelwert der Teuerung der Unterhaltskosten (-)

N = Jahresnutzen (Fr./a)

N_e = jährliche Energiekosteneinsparungen (Fr./a)

N_b = weitere jährliche Betriebskosteneinsparungen (Fr./a)

m_e = Mittelwert der Teuerung der Energiekosten (-)

m_b = Mittelwert der Teuerung der weiteren Betriebskosteneinsparungen (-)

