

Jahresbericht 2003, 19. März 2004

Energieeffizienz in Abwasser- reigungsanlagen

Autor und Koautoren	Dr. Rudolf Bünger
beauftragte Institution	BUENGER CONSULTING
Adresse	Molerweg 54, 2540 Grenchen
Telefon, E-mail, Internetadresse	032 653 72 34, buenger1@bluewin.ch , -
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	100'310 / 150'383
Dauer des Projekts (von – bis)	1.8.2003 – 30.9.2004

ZUSAMMENFASSUNG

Die synoptische Erfassung von Stromverbrauch und –Erzeugung in 15 min Intervallen (Lastgang) bildet die Grundlage für die Messung und Beurteilung der Energie- und Kosteneffizienz in jeder (ARA) Anlage. Sicherheitsgründe verbieten einen Eingriff in bestehende Leitsysteme.

Ein „mithörendes“ Leitsystem inklusive projektspezifischer Auswerte-Software wurde im Rahmen dieses Projekts entwickelt und in der Pilotanlage ARA Thunersee erfolgreich erprobt. Folgende Besonderheiten gelten für die Messungen: Die Biostufe ist im Rahmen des Projekts „Umsetzung innovativer MSR-Konzepte in der Nährstoffelimination“ optimiert worden und wird ohne Rücksicht auf die Spitzenlast prozessspezifisch geregelt. Der spezifische Elektrizitätsverbrauch liegt mit 15 kWh/EW*a (Okt02 – Sept. 03) unterhalb des kleinsten Idealwerts. Der Gasometer (1800 m3) steht verfahrens- und messtechnisch erst seit Revisionsende (19.11.03) zur Verfügung.

Das Profil des Energiebezugs ist gekennzeichnet durch charakteristische Tages- und Wochenverläufe mit einer Vielzahl von Lastspitzen (>15 min, bis 4.5 fach) des jeweiligen Tagesmittelwerts. Das eigene BHKW liefert ca. 60% des Elektrizitätsverbrauchs.

Die Bezugsspitzen können durch den geregelten Einsatz des BHKW weitgehend vermieden werden. Dadurch sind Kosten- und Verlustreduktionen in dieser schon maximal optimierten Anlage von ca. 10% zu erwarten. Messungen in einer 2. ARA sind angelaufen.

Projektziele

AUSGANGSLAGE

In Anlagen wie z.B. ARA gibt es nur eine einzige Elektrizitäts-Verbrauchserfassung an der Übergabestation zwischen EVU und Anlage.

Sie erfolgt sowohl als Summenzählung der kWh als auch in der Erfassung von 15 min Leistungsmessungen. Diese stehen jedoch nur in Ausnahmefällen den Abnehmern als Wertereihen sowie über lange Zeiten zur Verfügung.

Nur in Anlagen mit hohem Ausbauniveau werden in Unterstationen Momentanleistungen angezeigt und der Energieverbrauch gezählt.

Zur Beherrschung und Beeinflussung des Energieverbrauchs einer derart komplexen Anlage (Energie-Management) ist die permanent aktuelle Kenntnis der Energiebilanz und der diesen Zustand verursachenden Energieverbraucher und -Lieferanten erforderlich.

Eingriffe in den Prozess sind aus Sicherheitsgründen verboten und Kosten- und Energiesparmassnahmen werden diesen untergeordnet.

Die Analyse des Verbrauchs ist aufwendig. Ein einheitliches Schema würde den Vergleich zwischen verschiedenen Anlagen erleichtern und vereinfachen.

Da die Daten vernetzungsfähig anfallen, könnte ein Kompetenz- (Call-) Center die Aus- und Bewertung vornehmen und zuverlässige Aussagen für die Verbesserung der Energie- und Kosteneffizienz bereitstellen.

Das vorhandene bzw. entstehende Know-how wäre als Dienstleistung absolut exportgeeignet und in allen ARA sowie anderen Anlagen einsetzbar.

DETAILLIERTE PROJEKTZIELE

- Entwicklung und Bereitstellung eines „mithörenden“ Leitsystems mit projektspezifischer Auswertungs-Software.
- Nachweis der Funktionstüchtigkeit über längere Zeiträume.
- Einsatz in beliebigen Anlagen
- Erfassung der Lastprofile
 - Elektrizitätsbezug vom EVU, Elektrizitätserzeugung des Blockheizkraftwerks, Elektrizitätsverbrauch der Gesamtanlage
- Beurteilung der Energiebilanz und der potentiellen Eingriffsmöglichkeiten
 - Prozessunkritische Eingriffe, prozesskritische Anlagenteile, Eingriffs- bzw. prozesstechnische Prioritäten
- Massnahmen sowie Abschätzung der Kosten- und Verlusteinsparungen sowie der damit verbundenen Investitionen
 - Abgrenzung zu den prozesskritischen Betriebsmittel-Gruppen
 - Erhöhte Transmissionsverluste im Anlagen und vorgelagertem Übertragungsnetz zwischen Generator- und Verbraucher-Anschluss durch ungleichmässigen Strombezug
 - Einfluss der Tarifgestaltung der EVU auf die Elektrizitätsbezugskosten
- Vorschlag für ein Projekt „ARA Betriebsführungs- (Optimierungs-) Konzept“

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

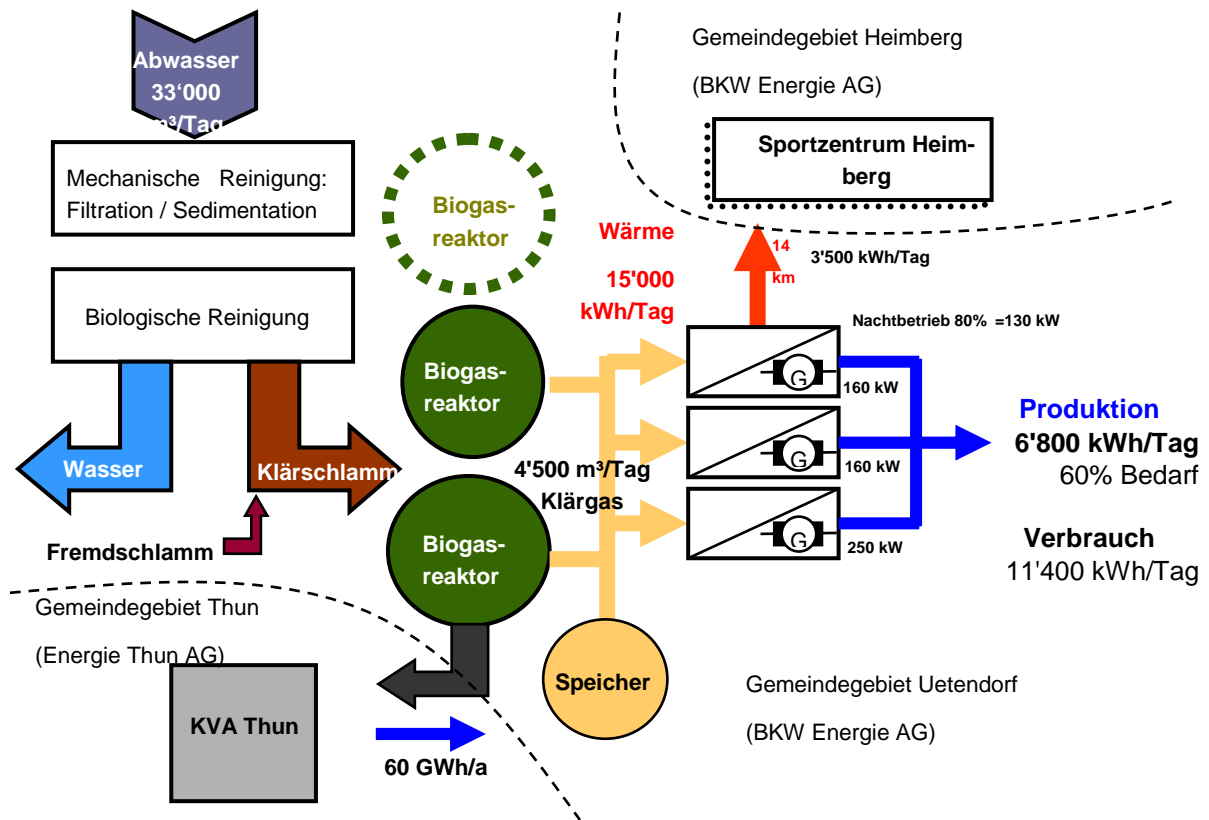


Fig. 1 Prinzipschema ARA Thunersee [3] Caliaro, BKW: Verstromung von Klärgas aus Sicht des Energielieferanten

Mengengerüst der ARA Thunersee:

Verfahrenstechnische Untergruppen	19
Betriebsmittel und Antriebe	>300
Installierte Leistung	1.610 kW
Leistung der grössten Unterstationen	284 kW
Leistung der grössten Motoren (Förderschnecke)	44.34 kW

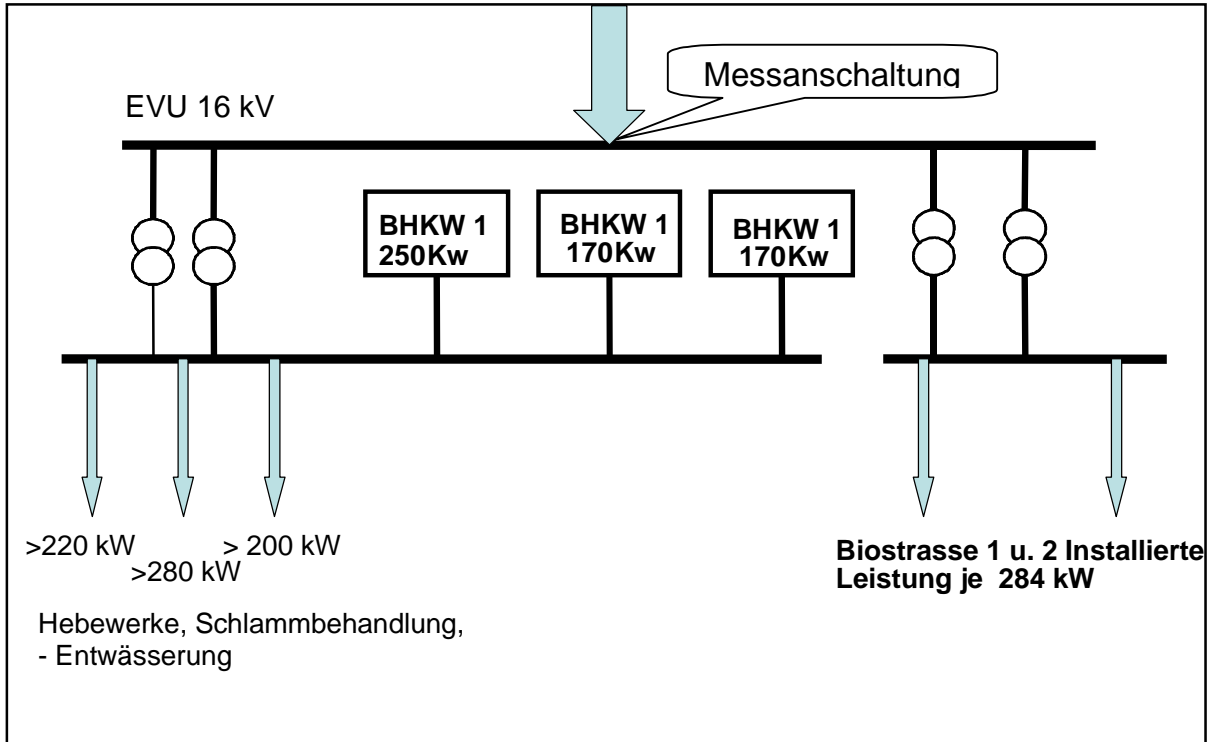


Fig. 2 Blockschaltbild der ARA Thunersee

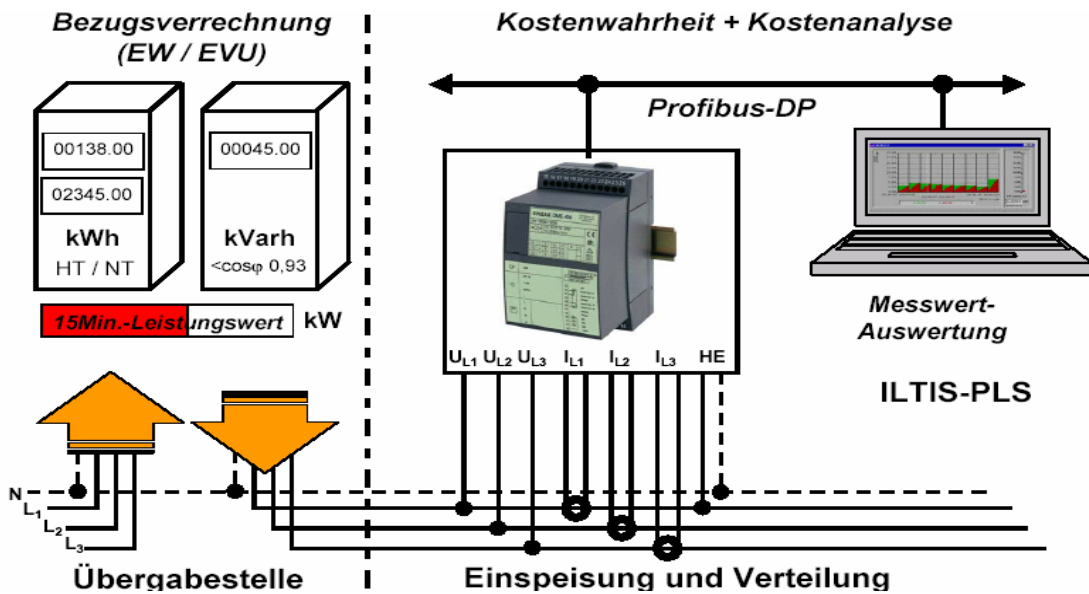


Fig. 3 Prinzip der Messanschaltung für die 15 min Lastwerte. (Nur an der Übergabestation zwischen EVU und Anlage).

Alle anderen Werte werden in der Auswertesoftware als Augenblickswerte erfasst und anschließend z.B. zu 15 min Summenwerten integriert oder als Grenz- und Mittelwerte verarbeitet,

Die Anschaltung an die Übergabestation des EVU erfolgte mit handelsüblichen (PROFIBUS-) Messumformern der Genauigkeitsklasse 0.5 %.

Ein Vergleich der Last-Messwerte mit denen des EVU ergab im Rahmen der Messgenauigkeit Übereinstimmung.

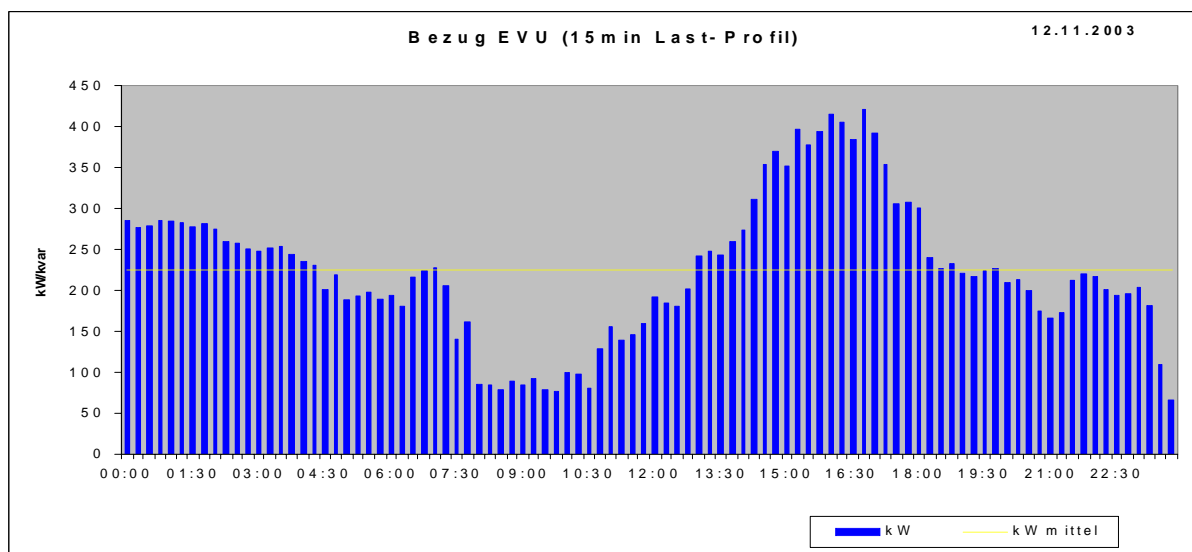
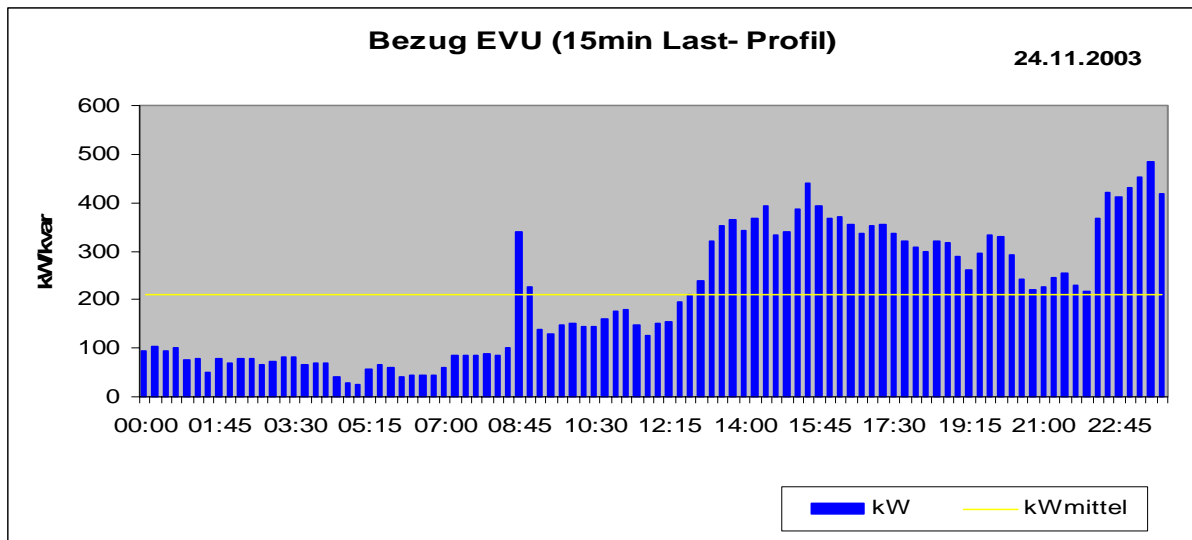


Fig. 4 Darstellung der Messwerte in Tagesberichten. Basis der Datenbank aller ausgewählten synoptischen Messwerte. Werden nach Bedarf zu Wochen-, Monats-, Saison- und Jahresberichten zusammengefasst.

Messergebnisse

Vorbemerkung

Die Messungen repräsentieren Premieren. Sie sind als Innovation zu bewerten, da sie zu neuen Sichtweisen und Beurteilungen führen.

Dies war bisher aus technologischen Gründen, die zu prohibitiven Anlagekosten für eine umfassende Energie- und Kostenerfassung führten, nicht möglich. Erst die Feldbustechnologie wie z.B. PROFIBUS macht - wie in diesem Fall auch nachträglich - die Erfassung wirtschaftlich möglich.

Die folgenden Diagramme entstanden aus mehr als 30'000 Messungen innerhalb von 16 Wochen. Vergleichbares wurde u.E. bisher noch nicht publiziert.

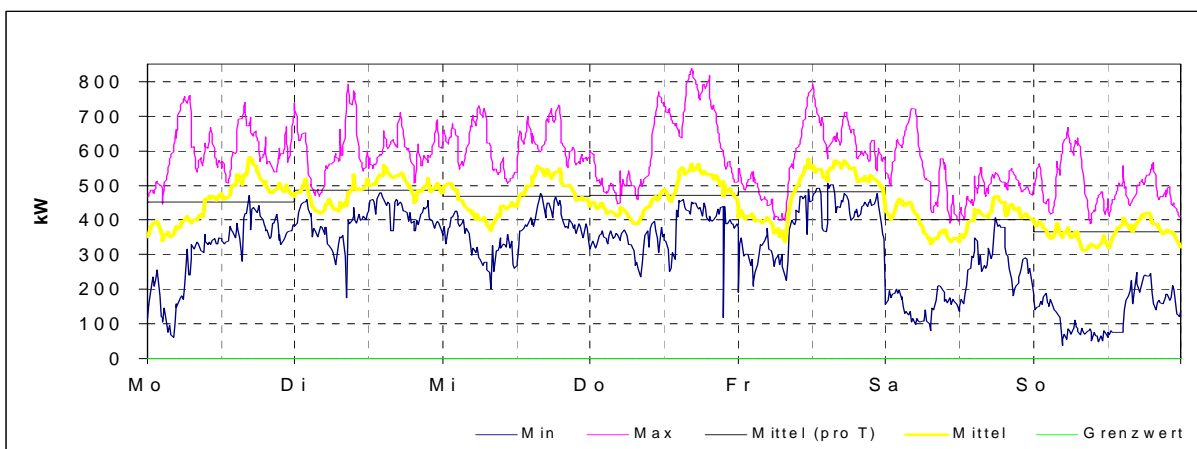


Fig. 5 Lastprofil des Energiegesamtbedarfs, Statistik über 16 Wochen (15 min, obere, untere Grenz- und Mittelwerte)

Charakteristisch: Augenblicks-Mittelwerte (Gelbe Kurve) schneiden zwischen 11.00 und 12.30 die Linie des Tagesmittelwerts in Richtung zu höheren Werten.

Tagesmittelwerte innerhalb der Woche bewegen sich im Bereich zwischen 380 und 490 kW.

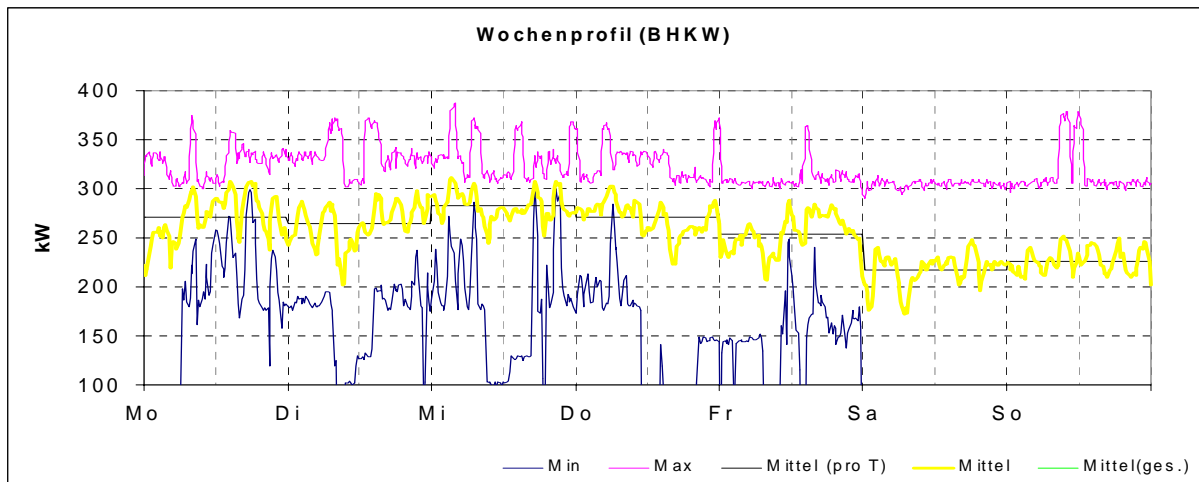


Fig. 6 Lastprofil der Energielieferung des BHKW (15 min, obere, untere Grenz- und Mittelwerte) Statistik über 9 Wochen

Charakteristische Abweichung: Gasspeicher in Revision, Abgabeleistung gedrosselt (Nennleistung 590kW)

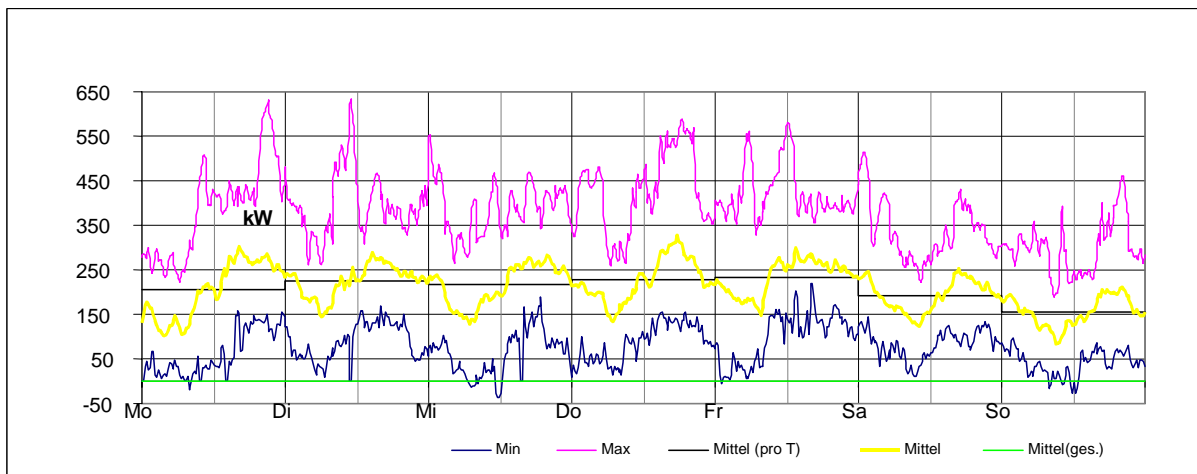


Fig. 7 Lastprofil des Energiebezugs vom EVU (15 min, obere, untere Grenz- und Mittelwerte) Statistik über 9 Wochen

Charakteristische Abweichung:

Gasspeicher in Revision, Abgabeleistung des BHKW gedrosselt, Tag- und Nachtbetrieb wegen ungenügendem Gasspeichervolumens.

Augenblicks-Mittelwerte schneiden zwischen 11.00 und 12.30 die Linie des Tagesmittelwerts in Richtung zu höheren Werten.

Auswertungen

Energieeinsparpotentiale

„Konkrete Energiesparmassnahmen nach Prioritäten“ (Sofort-, kurzfristig mit geringem Aufwand, abhängig von Ausführungsplanung).

[2] Energie in Kläranlagen Handbuch Bild 1-8 ordnet wie folgt:

Handbuch Bild 1-8	ARA Thunersee
Reduktion an der Quelle u.a. energiesparende Verfahren;	in Betrieb
Energiesparmassnahmen; Regelungen nach effektivem Bedarf; (kennt man ihn?)	Unterteilung der Lüfter auf mehrere Einheiten mit Umrichtermotoren, Zeitschaltprogramme sind vorhanden und parametrisiert
Nutzung des gesamten Klärgases für Kraft-Wärme-Kopplung	In der Anlage realisiert. > 60% des Eigenbedarfs werden gedeckt

Berichtigung der Grob-Schätzung der Einsparungspotentiale im Antrag (Annahmen)

Einem Sollwert von 20 kWh/EW (innerhalb des Benchmark-Bereichs) entspricht, bei einem angenommenen Einsparungspotential von 40 %, der aktuelle Verbrauchswert von 33.3 kWh/EW. Bei etwa 7 Mio. EW ergeben sich daraus grössenordnungsmässig (9.5 Rp./kWh):

aktuelle Energiekosten für ARA
in der Schweiz von ca. 233 GWh bzw. 22 Mio CHF.

und das theoretische
Einsparungspotential (40%) beträgt ca. 92 GWh bzw. 9 Mio. CHF

Neue Werte seit der Antragstellung

In [1] L. Rieger, M. Böhler: Energie-Feinanalyse der ARA Thunersee mit Hilfe der dynamischen Simulation. Dübendorf 2002 werden folgende aktuelle Werte genannt.

„.....Für die Berechnung der Energiekosten wurde die kWh pauschal mit 0.15 SFr veranschlagt.....“

[4] Fachtagung Energie sparen – Energie nutzen Bern 03-11-20: L. Rieger, H. Siegrist, Ungenützte Kapazitäten auf Kläranlagen; Effizienzsteigerung durch MSR-Technik.

Einsatz von Ammonium-Regelungen für alle nitrifizierenden ARA (CH)

Richtwerte 21 – 25 kWh/EW*a

Idealwerte 16 – 19 kWh/EW*a

Gesamter Elektrizitätsverbrauch >100'000 EW Handbuch [2] Bild 7 – 12

Richtwert 26 kWh/EW*a

Idealwert 20 kWh/EW*a

Berichtigung der Werte aus dem Antrag**(Alle ARA CH, 7 MEW)**

Energiekosten	kWh/EW*a	Einsparung GWh/a	Einsparung MCHF	CHF/kWh	Elektrizitätsbezugs- kosten CH MCHF
Annahme Antrag	33.3			0.095	22
Idealwert Antrag	20	92	9	0.095	13
Neuer Richtwert	26			0.15	27.3
Idealwert	20	42	6.3	0.15	21
ARA Thunersee)*	15.15	75.9	11.4	0.15	15.9

)* Elektrizitätsbezugsmessung Okt 2002 – Sept. 2003, bezogen auf 130'000 EW*a

Energiebilanz ARA Thun

Bezug EVU	1'969'638	kWh/a
BHKW (62.5%)	3'282'730	kWh/a
Total	5'252'368	kWh/a

Energiesparpotential 1

Auswertung der Messergebnisse

Die weit fortgeschrittenen Energiesparmassnahmen in der ARA Thunersee führen zu einem Spitzenresultat speziell bei der Nährstoffelimination. Dennoch entstehen durch die verfahrensoptimierte Betriebsweise **versteckte Verluste** beim Elektrizitätstransport innerhalb der Anlage sowie im vorgelagerten Netz vom Generator bis zur Übergabestation..

Der ungleichmässige Strombezug verursacht grössere Verluste als bei einem konstanten Mittelwert. Aus dem 16 Wochen-Mittelwert der ARA Thun (1'787'737 MWh) auf ein Jahr hochgerechnet betragen

die nicht erfassten Verluste im vorgelagerten Netz	125'141	MWh
dort Zusatzverluste durch Lastspitzen + 53.8%	67'350	MWh
Total 10.8 % bzw.	192'491	MWh

Weiterhin entstehen bei der Stromverteilung innerhalb der Anlage die Übertragungsverluste doppelt, weil Strom aus dem BHKW zu den Biostufen zwei 16 kV Transformatoren passieren muss. Prinzipiell wäre mit Umbauten eine Übertragung im 400 V Netz möglich.

Energiesparpotential 53.8% der Transmissionsverluste (7%) durch „Bandbezug“ **67'350 MWh/a**

Bei 100%iger Versorgung der Biostufen durch das BHKW würden die aktuell nicht erfassten Verluste ca. 6% von deren Verbrauch betragen.

Energiesparpotential 2

Gesteigerte Gasproduktion von 60 auf 70% des Gesamtverbrauchs (Siehe Massnahmen)

Energiekosten	kWh/EW*a	Bezug MWh/a	Energie CH GWh/a	Spitzen weg CH GWh/a	Energieeinsparung CH GWh/a
ARA Thunersee)*	15.15	1969	106	4	
70 % BHKW	13.53	1758	94.7		
Differenz	- 1.62	- 211	- 11.3	- 4	15.3

)* Elektrizitätsbezugsmessung Okt. 2002 – Sept. 2003, bezogen auf 130'000 EW*a

Schlussfolgerung

Die Steigerung der Elektrizitätsproduktion in ARA gehört zu den verfahrenstechnischen Massnahmen und bringt die grössten Energieeinsparungen.

Die laufende Messung der Energieeffizienz ist zwingend für eine gesteigerte E – Produktion, weil die verfahrensbedingten Veränderungen des Stromverbrauchs in der Anlage Hebewerk, Schlammbehandlung ein Eingreifen von Zeitschaltprogrammen erforderlich macht. Diese können jedoch nur über die Bezugsmessung vom EVU optimiert werden.

Kosteneinsparungen 1

Produktion

Das Beispiel der versteckten Verluste zeigt, dass nicht jede Energiesparmassnahme auch Kosten spart. Die Tarifgestaltung der EVU beeinflusst entscheidend, auf welche Weise ARA gleichzeitig Energie und Kosten durch Eigenproduktion von Energie sparen können.

Energiekosten	kWh/EW*a	Bezug MWh/a	Kosten ARA Thunersee CHF/a	Energie CH GWh/a	Spitzen weg CH GWh/a	Kosten CH (0.15) MCHF
ARA Thunersee 62.5% BHKW)*	15.15	1969	295'350	106	4	15.9
70 % BHKW	13.53	1758	263'700	94.7		14.2
Differenz	- 1.62	- 211	- 31'650	- 11.3	- 4	- 1.7

)* Elektrizitätsbezugsmessung Okt. 2002 – Sept. 2003, bezogen auf 130'000 EW*a

Kosteneinsparungen 2,

Lieferung ins EVU-Netz zu Spitzenzeiten und als „*star naturmade*“ – Produkt

Aus den bisherigen Lastprofilen geht hervor, dass das Lastmanagement mit Einsatz des BHKW mit variabler Produktion in die Anlage und Rücklieferung ins EVU Netz sehr erfolgversprechend ist. Dies gilt sowohl in Bezug auf die Kosten als auch für die maximale Ausnützung der Leistungsfähigkeit der Biostufen.

Restriktionen sind gegeben durch die Anlagekonfiguration wie Transformatoren und Einschaltgleichzeitigkeit verschiedener verfahrenstechnischer Untergruppen. Es können Abschaltungen wegen Überlast von Bauteilen auftreten, die die Sicherheit und die Erreichung des Prozessziels gefährden können.

Ansätze für die Prognose von Energieverbrauch und –Produktion sind erkannt worden. Ein Grundmodell wurde entworfen. Für Simulation und SW-Werkzeuge ist ein weiterführendes Projekt erforderlich, das mit Beteiligung von ARAs entwickelt werden sollte.

Massnahmen

Die Lastprofilmessung mit der Erfassung aller wichtigen, verfahrenstechnischen Unterstationen bildet die Grundlage zur Beurteilung der Energie- und Kosteneffizienz.

Die Prozessoptimierung kann nur unter prozessbezogenen Gesichtspunkten, auch in Bezug auf die Prozessqualität (Reinigungsziel, Kosten der verbleibenden Wasserbelastung, Anlagensicherheit) betrieben werden. Die gegenläufigen Auswirkungen, z.B. Spitzen bei optimaler Reinigungsleistung, sind zuerst nach Kostengesichtspunkten auf Relevanz zu prüfen.

Die Maximierung der Energieeigenproduktion durch hohe Gasausbeute und tarifabhängigem variablen Einsatz der BHKW, verspricht die höchste Wirtschaftlichkeit bei grösstmöglicher Freiheit in Bezug auf die prozesstechnische Optimierung.

Weiteres Vorgehen

Neue Messungen begonnen bzw. vorgesehen

- Kläranlage Isar / Loisach, Wolfratshausen DE, Messwerte ab 03-11-19
- Kläranlage Memmingen mit Energieeffizienz-Messsystem bestellt; Inbetriebnahme Sommer 2004
- Kläranlage Altdorf, Freigabe für Messungen, Frühjahr 2004

Anfragen:

Kunsteisbahn Lausanne
Lichtensteiner EVU (100 Unterstationen)
ARA Speicher, AR

Marktumfrage in Bearbeitung

Nach Angaben www.buwal.ch wurden 110 ARA brieflich kontaktiert.

Telefonkontakte	40
Besuche	13
Besuche für 2004 vereinbart	5
Angebot auf Anfrage	5
Neuprojekte	3

Nationale Zusammenarbeit

Das Projekt wurde am 03-06-20 den Integratormitgliedern der PROFIBUS Schweiz vorgestellt. Es ist vorgesehen, die Ergebnisse aus diesem Bericht in einem Workshop vorzustellen und zu diskutieren. Die Messmethodik kann im Prinzip für alle Anlagen verwendet werden.

Der Verfasser des Berichts (Vorsitzender des Technischen Komitee TK 65 Comité électrotechnique Suisse, Mitglied Vorstand PROFIBUS Schweiz) plant das Kompetenznetzwerk EDiSoN an den Schweizer FH, PROFIBUS Schweiz)* , Swiss Automatic Pool SAP und den VSA zu einem gemeinsamen Workshop zusammenzubringen, um die Erkenntnisse einer grösseren Öffentlichkeit bekannt zu machen.

)* Deren Mitglieder bieten das umfangreichste Sortiment an Mess- und Auswerte-Komponenten und -Systemen an.

Internationale Zusammenarbeit

Das System wird bereits in der Kläranlage Isar, Loisach Wolfratshausen eingesetzt. Weitere Anlagen haben das System bereits angeboten erhalten.

Bewertung 2003

Das Leitsystem und die Auswerte-Software sind **erfolgreich in Betrieb** genommen worden. Beide liefern seit Juli 2003 unterbrechungslos Daten und haben sich bewährt.

Das Vorhandensein eines zentralen Servers bei der IST Engineering AG in Suhr bietet Vergleichsmöglichkeiten zwischen unterschiedlichen ARA und erlaubt die Übertragung von Know-how für die beste Energieeffizienz.

Der Vorteil besteht in der kostengünstigen Energieanalyse der Gesamt-ARA. Sofortige Kosten- und Verlusteinsparungen sind schnell durch Veränderung der Betriebsweise zu erwarten.

Kurzfristige Massnahmen sind von der Programmierung von Regelung und evtl. Lastschaltprogrammen zu erwarten, während für die Definition abhängiger Massnahmen fundierte (Vergleichs-) Daten des laufenden Betriebs zur Verfügung gestellt werden können.

Ein iterativer Lernprozess unter Einschluss der FH zur Entwicklung spezieller Optimierungsprogramme wäre bei Bedarf ebenfalls machbar.

Die unerwartet weit fortgeschrittene Energieeffizienz der Pilotanlage ARA Thunersee (15.15 kWh/EW*a), speziell durch das Projekt „Umsetzung innovativer MSR-Konzepte in der Nährstoffelimination“, hat die **Aufspürung von direkten Kosten- und Energieeinsparungspotentialen erschwert**.

Ausblick 2004

Auf Tagesgang-Ist-Kurven basierte (Prognose-) Sollkurven für die Anlagenkonfigurierung und damit gleichmässigeren Bezug können weitere Kosten und Verluste eingespart werden.

Wir erwarten bei den kommenden Messungen in anderen ARA grössere Reduktionspotentiale über die im Abschlussbericht die Rede sein soll.

Referenzen

- [1] L. Rieger, M. Böhler: Energie-Feinanalyse der ARA Thunersee mit Hilfe der Dynamischen Simulation. Eingebunden in das Projekt : Umsetzung innovativer MSR-Konzepte in der Nährstoffelimination. Dübendorf 2002
- [2] Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1999: Energie in Kläranlagen Handbuch
- [3] Fachtagung Energie sparen – Energie nutzen Bern 03-11-20: S. Caliaro, BKW: Verstromung von Klärgas aus Sicht des Energielieferanten
- [4] Fachtagung Energie sparen – Energie nutzen Bern 03-11-20: L. Rieger, H. Siegrist, Ungenützte Kapazitäten auf Kläranlagen; Effizienzsteigerung durch MSR-Technik.