

3O500334
11.12.2009

Kurzbericht

Feststellung des energetischen Zustandes
der Membrankläranlagen Konzen und Woffelsbach
zur Ermittlung energetischer Kennzahlen für Plattenmembranmodule
und Verifizierung dieser Kennzahlen
im Rahmen einer umfassenden Feinanalyse

Competence. Service. Solutions.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Auftrag des Wasserverbands Eifel-Rur führte Pöyry GWK eine Energieanalyse der Kläranlagen Konzen und Woffelsbach durch. Die Besonderheit dieser beiden Analysen ist die energetische Erfassung und Beurteilung der Membranstufe. Im Unterschied zu konventionellen Anlagen existieren für Anlagen mit Membranbelebungen noch keine Richt- und Idealwerte, anhand derer sich der Energieverbrauch vergleichen und bewerten lässt. Die Ermittlung der Idealwerte durch Auslegung und energetische Bilanzierung einer Modellanlage war grundlegender Teil der Analyse. Des Weiteren wurden alle Verbraucher der KA Konzen und Woffelsbach energetisch erfasst und ihre Energieverbrauchswerte mit den zuvor ermittelten und den bereits vorhandenen Kennwerten des MUNLV verglichen und bewertet. Auf diese Weise konnten energetisch ungünstige Aggregate und Verbraucher ermittelt werden. Mögliche Maßnahmen zur Einsparung von Energiekosten wurden aufgestellt und ihre Auswirkung auf den Gesamtverbrauch bestimmt. Der bisherige spezifische Stromverbrauch der KA Konzen liegt bereits mit $0,70 \text{ kWh/m}^3$ unter dem Idealwert der Modellanlage von $0,72 \text{ kWh/m}^3$. Dies liegt an den großen Fremdwassermengen, die der KA Konzen zufließen. Der spezifische Stromverbrauch der KA Woffelsbach beträgt derzeit $1,63 \text{ kWh/m}^3$. Nach Umsetzung aller Maßnahmen können die Verbräuche auf $0,52 \text{ kWh/m}^3$ (Konzen) und $1,35 \text{ kWh/m}^3$ (Woffelsbach) reduziert werden.

1 EINFÜHRUNG

Der Wasserverband Eifel-Rur betreibt mit den Kläranlagen Konzen und Woffelsbach zwei Membrankläranlagen in einem Naherholungsgebiet der Eifel. Beide Anlagen sind mit Plattenmodulen ausgerüstet. Das Membranbelebungsverfahren weist gegenüber dem konventionellen Belebungsverfahren einen deutlich erhöhten Energiebedarf auf. Für diese Verfahrenstechnik existieren bislang noch keine Kennwerte für eine energetische Optimierung wie für herkömmliche Kläranlagen. Der Wasserverband Eifel-Rur beabsichtigte daher, im Rahmen eines Forschungsvorhabens erstmals übertragbare energetische Beurteilungskriterien für Membrankläranlagen mit Plattenmodulen zu entwickeln. Insbesondere die Ergebnisse hinsichtlich der Herleitung theoretischer Idealwerte des Energiebedarfs für die Membranstufe wurden sorgfältig aufbereitet und an der Kläranlagen Konzen und Woffelsbach verifiziert, sodass diese in Zukunft auch bei der energetischen Betrachtung anderer Kläranlagen mit Plattenmodulen als Basiswerte herangezogen werden können.

Die zu entwickelnden Beurteilungskriterien sollten sich dabei an den entsprechenden Kennwerten des Handbuchs „Energie in Kläranlagen“ [MUNLV, 1999] des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MUNLV) für konventionelle Kläranlagen orientieren, um auf diese Weise eine Vergleichbarkeit von Membrankläranlagen und konventionellen Anlagen zu ermöglichen.

Analog zur Vorgehensweise für kommunale Kläranlagen wurden mögliche, betriebswirtschaftlich rentable Maßnahmen in Sofort-, Kurzfristige und Abhängige Maßnahmen (S, K, A) unterteilt und anhand einer Gegenüberstellung der jeweiligen Investitionskosten und der Energiekosteneinsparung bewertet. Die Untersuchung bietet dem Betreiber

somit eine Entscheidungsgrundlage für die Erstellung einer weitsichtigen Realisierungs- und Finanzplanung.

2 DATENERHEBUNG

Bei der Analyse wurden zunächst Daten zum Strom- und Wärmeverbrauch erhoben und nach definierten Anlagenbereichen bilanziert. Um die Analyse durchführen zu können, wurden für alle Anlagenteile bzw. elektrischen Verbraucher die Leistungsaufnahmen bzw. der Stromverbrauch durch örtliches Messen bzw. durch Ablesen von Typenschildern ermittelt. Zusätzlich wurden die seitens des Auftraggebers zur Verfügung gestellten Informationen, wie Stromrechnungen, Verbrauchsmittelrechnungen, Monatsberichte und Planunterlagen des Klärwerks, ausgewertet.

Zur Ermittlung des Energieverbrauchs werden die Aggregate in einer einheitlichen Verbraucherliste, in der die Motordaten, die durchgeführten Messungen und die Laufzeiten innerhalb des Betrachtungszeitraumes aufgeführt werden, zusammengefasst. Nachstehende Abbildung zeigt beispielhaft einen Ausschnitt der Verbraucherliste.

Nr.	Kennung	Aggregatangaben	Baujahr	Verteilung	Verbrauch gemäß MUNLV				Daten aus Betrachtungszeitraum 2007			Leistungsberechnung			Berechnung der elektrischen Arbeit	Anmerkungen	
					Nennleistung	cos phi	Strom	Spannung	Antriebsart	Summe Betriebsstunden	Tagesmittel Betriebsstunden	Strom aus Messungen	durchschnittl. Leistungsaufnahme errechnet aus Typenschild	Leistungsaufnahme errechnet aus Messungen			maßgebende Leistungsaufnahme
					[kW]	[A]	[V]		[h]	[h/d]	[A]	[kW]	[kW]	[kW]			
6.		Biolog. Stufe / Belebung													1.253.463,01		
6.1	06.03.AN.34.001	Celläre 1 Belebung	2004	UV2.1	90	0,98	148	400	FU	2.017	5,53	89,1	63,16	58,64	58,64	116.284,50	Durchschnitt 62,9%; 25-50Hz; Logger
6.1	06.03.AN.34.002	Celläre 2 Belebung	2004	UV2.1	90	0,98	148	400	FU	2.126	5,82	87,7	63,16	57,72	57,72	122.859,84	Durchschnitt 62,9%; 25-50Hz
6.1	06.03.AN.34.003	Celläre 3 Belebung	2004	UV2.1	90	0,98	148	400	FU	2.126	5,82	87,1	63,16	57,33	57,33	121.600,78	Durchschnitt 62,2%; 25-50Hz
6.1	06.03.AN.34.004	Celläre 4 Belebung	2004	UV2.2	90	0,98	148	400	FU	2.126	5,82	84,6	63,16	55,88	55,88	118.379,87	Durchschnitt 60,7%; 25-50Hz
6.1	06.03.AN.34.005	Celläre 5 Belebung	2004	UV2.2	90	0,98	148	400	FU	2.126	5,82	87,8	63,16	57,79	57,79	122.867,59	Durchschnitt 62,4%; 25-50Hz
6.2	06.03.AM.27.201	Rührwerk 1 Straße 3 Nitrifikation (BB3)	2004	UV2.1	4	0,84	8,3	400	D	8.573	23,49	6,4	3,38	3,72	3,72	31.931,01	
6.2	06.03.AM.27.202	Rührwerk 2 Straße 3 Nitrifikation (BB2)	2004	UV2.1	4	0,84	8,3	400	D	8.572	23,48	5,1	3,38	2,97	2,97	25.442,06	
6.2	06.03.AM.27.203	Rührwerk 1 Straße 4 Nitrifikation (BB2)	2004	UV2.1	4	0,84	8,3	400	D	8.573	23,49	6,0	3,38	3,49	3,49	29.935,33	
6.2	06.03.AM.27.204	Rührwerk 2 Straße 4 Nitrifikation (BB2)	2004	UV2.1	4	0,84	8,3	400	D	8.572	23,48	6,0	3,38	3,49	3,49	29.931,58	
6.2	06.03.AM.27.301	Rührwerk 1 Straße 5 Nitrifikation (BB3)	2004	UV2.2	4	0,84	8,3	400	D	8.545	23,41	6,0	3,38	3,49	3,49	29.837,55	

Abbildung 2-1: Beispielhafte Darstellung der Verbraucherliste

Anhand der vorhandenen Daten zum Gesamtstromverbrauch lässt sich zunächst eine Gegenüberstellung von spezifischem Energieverbrauch und Wassermenge erstellen. Abbildung 2-2 verdeutlicht die Abhängigkeit der tatsächlichen Verbrauchswerte der KA Konzen und dem Wasserzufluss.

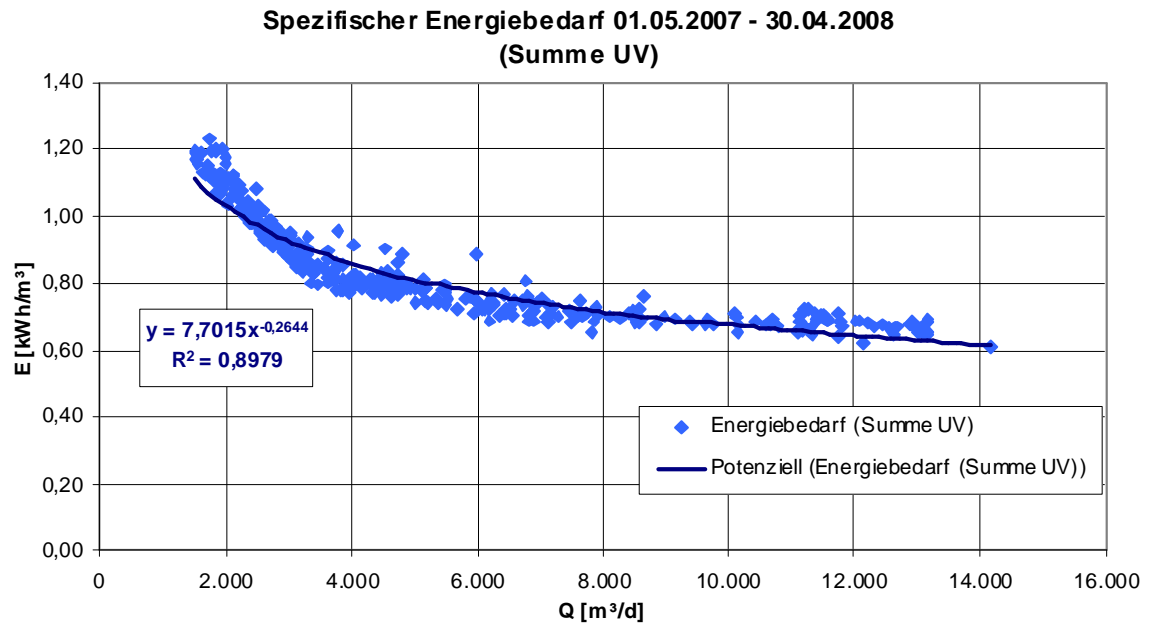


Abbildung 2-2: Spezifischer Energieverbrauch der KA Konzen bezogen auf die Wassermenge

Die Kurve zeigt, dass mit steigendem Abwasserzufluss, der spezifische Energieverbrauch sinkt. Trockenwettertage mit geringem Wasserzufluss sind demnach energetisch eher ungünstig, was im weiteren Verlauf näher erläutert wird.

Die allgemeinen Kenndaten, die sich aus der Datenauswertung ergaben sind in folgender Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 2-1: Allgemeine Kenndaten beider Kläranlagen

KA Konzen (05/2007 - 04/2008)		
Einwohnerwerte (Auslegungswert)	9.700	[EW]
Mittlere Einwohnerbelastung	6.127	[EW]
Mittlerer Abfluss	5.826	[m³/d]
Jahresmischwassermenge	2.132.388	[m³]
Energieverbrauch	1.499.089	[kWh/a]
KA Woffelsbach (2007)		
Einwohnerwerte (Auslegungswert)	6.200	[EW]
Mittlere Einwohnerbelastung	5.043	[EW]
Mittlerer Abfluss	1.122	[m³/d]
Jahresmischwassermenge	409.358	[m³]
Energieverbrauch	672.655	[kWh/a]

Zur Beurteilung des Ist-Zustandes und zum Lokalisieren von Einsparpotenzialen wurde untersucht, wie sich der Energiebedarf auf die einzelnen Verfahrensstufen und Verbrauchergruppen aufteilt. Die Aufteilung wird im Folgenden grafisch dargestellt. Die Abbildungen 2-3 und Abbildung 2-4 zeigen in der Gesamtübersicht die Aufteilung der benötigten elektrischen Energie auf die einzelnen Verfahrensstufen für die Kläranlagen Konzen und Woffelsbach

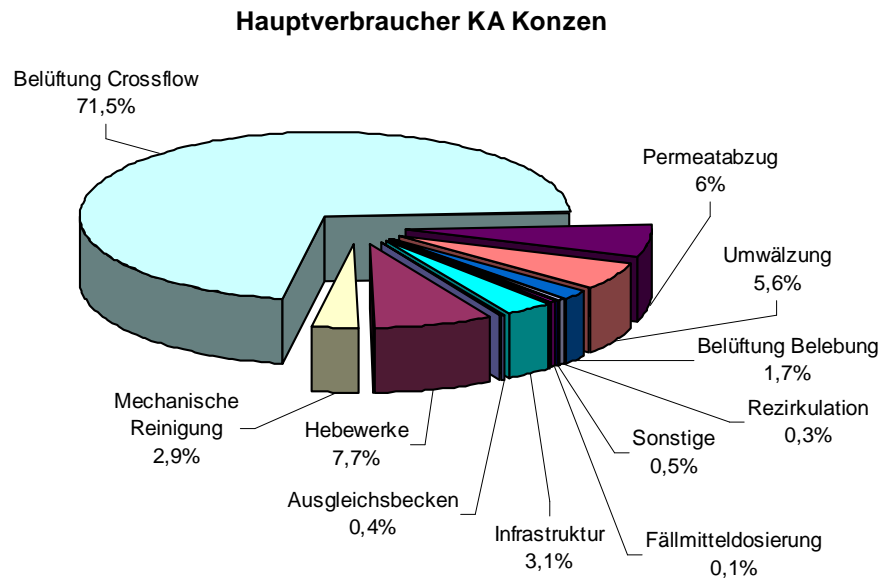


Abbildung 2-3: Aufteilung des Energieverbrauchs auf die einzelnen Verfahrensstufen (Konzen)

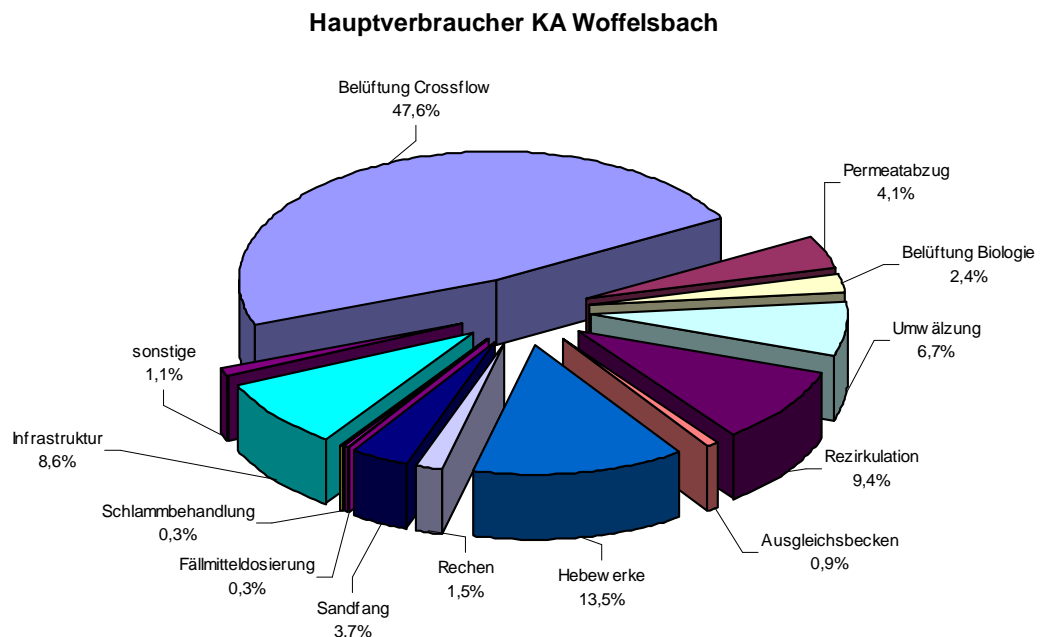


Abbildung 2-4: Aufteilung des Energieverbrauchs auf die einzelnen Verfahrensstufen (Woffelsbach)

3 KENNZAHLEN UND AUSLEGUNG DER MODELLANLAGE

Im Anschluss an die ausführliche Datenaufnahme und Aufteilung des Energiebedarfs auf die einzelnen Verfahrensstufen erfolgt bei der Vorgehensweise gemäß dem Handbuch des MUNLV [1999] zur Beurteilung des energetischen IST-Zustands zunächst ein Vergleich mit im Handbuch dargestellten Kennzahlen. Dabei wird normalerweise zwischen Richt- und Idealwerten unterschieden. Die Richtwerte sind das Ergebnis einer statistischen Auswertung bestehender Feinalysen und stellen Werte dar, die unter realen Bedingungen tatsächlich erreicht werden können. Die Idealwerte dagegen entstammen theoretischen Betrachtungen an einer Modellanlage und können lediglich unter optimalen Voraussetzungen erreicht werden.

Da für Membranbelebungsanlagen im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ bislang keine energetischen Vergleichswerte genannt sind, war es zur energetischen Beurteilung der Kläranlagen Konzen und Woffelsbach erforderlich, theoretische Vergleichswerte zu erarbeiten. Zu diesem Zweck wurde zum einen die verfügbare Literatur mit Angaben zum Energiebedarf verschiedener realer Membranbelebungsanlagen ausgewertet. Zum anderen wurde in Anlehnung an die Vorgehensweise im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ [MUNLV, 1999] eine energetisch optimale Membranbelebungsanlage – eine sogenannte Modellanlage – konzipiert. Im Handbuch wurde eine konventionelle Modellanlage mit ähnlicher Auslegungsgröße berechnet und dargestellt. Um eine optimale Vergleichbarkeit zur konventionellen Modellanlage im Handbuch zu ermöglichen, wurden die dortigen spezifischen Ansätze für einwohnerspezifische Wassermengen und Schmutzfrachten übernommen. Um aber auch einen direkten Vergleich der absoluten Zahlen zu den Kläranlagen Konzen und Woffelsbach zu ermöglichen, wurde die MBR-

Modellanlage für 10.000 EW konzipiert, während die konventionelle Modellanlage des Handbuchs von einer mittleren Anlagenbelastung von 14.000 EW ausgeht.

Neue Modellansätze wurden für die membranspezifischen Anlagenteile (Crossflowgebläse, Permeatpumpen etc.) entwickelt. Diese wurden mit bereits vorhandenen Fachbeiträgen zum Thema Energiebedarf von Membranbelebungsanlagen [bspw. Krause, 2005; Verrecht et al. 2008] abgeglichen. Für alle nicht spezifischen Anlagenteile wurden die Ansätze des Handbuchs nach einer Plausibilitätsprüfung übernommen.

Die Kläranlagen Konzen und Woffelsbach sind mit Plattenmembranen vom Hersteller Kubota ausgerüstet. Um die Modellanlage mit beiden Kläranlagen vergleichen zu können, wurden auch hier für die Berechnung Plattenmodule vom Typ EK 400 gewählt.

Zur Berechnung des Energieverbrauchs wurden nach und nach alle Verbraucher betrachtet und separat bemessen. Somit ergaben sich schließlich spezifische Energieverbräuche für die Bereiche:

- mech. Vorreinigung (Hebwerke, Rechen, Sandfang, Siebung)
- Belüftung Crossflow
- Permeatabzug inkl. Relaxation
- Rezirkulation
- Belüftung Belebung
- Rührwerke
- Reinigung
- Schlammbehandlung
- Infrastruktur

Nachdem alle relevanten Verbraucher energetisch betrachtet und berechnet wurden, lässt sich der gesamte Energiebedarf der Modellanlage bestimmen. Dies geschieht durch Aufsummierung der einzelnen Verfahrensstufen. Es wurde sowohl der Trockenwetterfall, auf Basis von 125 l/(EW·d) Schmutzwasseranfall und 62,5 l/(EW·d) Fremdwasseranfall, als auch ein Mischwasserzufluss berücksichtigt. Im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ wird für den Mischwasserfall im Jahresmittel zusätzlich zu Schmutz- und Fremdwasser ein Regenwasseranfall von 70 l/(EW·d) angesetzt. Insgesamt ergibt sich somit ein mittlerer Mischwasserzufluss von 257,5 l/(EW·d). Das Ergebnis der Betrachtung liefert das folgende Diagramm.

Vergleich Modellanlage MW - TW

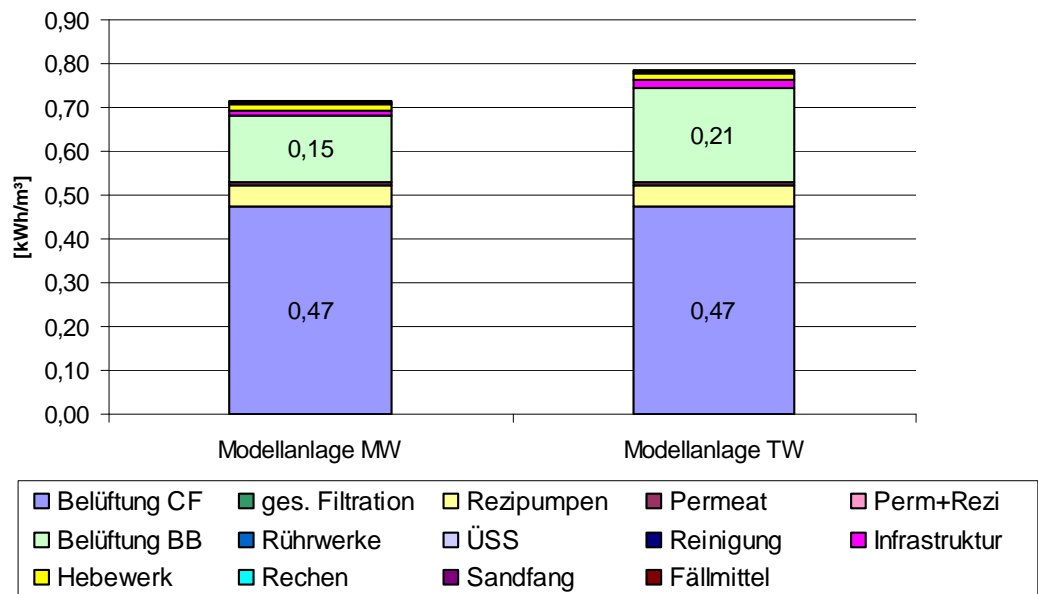


Abbildung 3-1 Vergleich Energieverbrauch der Modellanlage bei Trockenwetter- und Mischwasserzufluss.

Wie erkennbar ist, ergibt sich bei Trockenwetterzufluss ein etwas höherer Energieverbrauch als bei Mischwasserzufluss. Grund dafür ist, dass bei geringeren Wassermengen die Filtrationsdauer im Membranbecken abnimmt. Durch selteneres Filtrieren wird somit auch weniger Sauerstoff aus der Crossflow-Belüftung in die Belebung eingetragen. Dadurch erhöht sich die Laufzeit der Belebungsgebläse, und der spezifische Energieverbrauch der Anlage steigt an. Weiterhin verringern sich bei Mischwasserzufluss auch die Konzentrationen der zufließenden Frachten, wie z.B. Stickstoff. Es wird demnach weniger Sauerstoff zu deren Abbau benötigt, was sich ebenfalls positiv auf den Energieverbrauch auswirkt.

4 BEWERTUNG IST-ZUSTAND

Zunächst erfolgt zur Beurteilung der membranspezifischen Anlagenteile eine Gegenüberstellung der mittels der Modellanlage theoretisch ermittelten Werte mit den Ist-Werten der Kläranlagen Konzen und Woffelsbach. Da es sich bei den, auf beiden Kläranlagen gemessenen, Werten um Werte handelt, die sich auf die Jahresabwassermenge inkl. Niederschlagswasser beziehen, wurde der entsprechende Wert der Modellanlage zum Vergleich herangezogen. Dies ist grafisch und tabellarisch in der folgenden Abbildung und der folgenden Tabelle dargestellt:

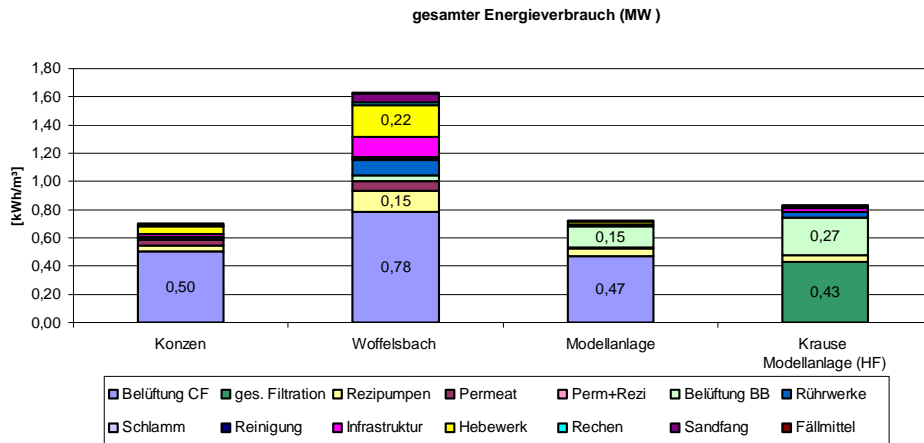


Abbildung 4-1: Gegenüberstellung Gesamtenergieverbrauch Konzen/Woffelsbach und verschiedene Modellanlagen

Wie erkennbar ist, liegt der Verbrauch der Modellanlage deutlich niedriger als die tatsächlich gemessenen Werte der KA Woffelsbach. Die spezifischen Verbrauchswerte der KA Konzen liegen aufgrund der sehr großen zufließenden Wassermenge etwa gleich auf mit denen der Modellanlagen. Der erhöhte Energieverbrauch der KA Woffelsbach im Bereich der Hebewerke ist damit zu begründen, dass das Abwasser über eine lange Druckrohrleitung vom Pumpwerk Rurberg zur Kläranlage gepumpt wird. Bereinigt man den realen Wert der KA Woffelsbach um die überschüssige Pumpenergie ergibt sich ein spezifischer Energieverbrauch von 1,43 kWh/m³. Dennoch ist der Gesamtverbrauch deutlich erhöht. Ein maßgebender Punkt dafür ist der erhöhte Energiebedarf der Crossflow-Belüftung. Dieser liegt 0,31 kWh/m³ über dem theoretisch berechneten Idealwert. Für diese Verfahrensstufe wird im Folgenden eine erarbeitete Energiesparmaßnahme vorgestellt.

Die Bewertung des energetischen Ist-Zustandes der Kläranlagen wird für die nicht-membranspezifischen Verfahrensstufen durch den Vergleich des Energieverbrauchs der einzelnen Verfahrensstufen mit den Hilfsdaten des Handbuchs „Energie in Kläranlagen“ durchgeführt. Dabei wird der Stromverbrauch über die Zahl der an die Kläranlage angeschlossenen Einwohnerwerte auf einwohnerspezifische Werte umgerechnet, sodass sich entsprechende Vergleichszahlen ergeben. Für die einwohnerspezifischen Verbräuche wurden die ermittelten Einwohnerwerte von 6.127 EW (Konzen) und 5.043 (Woffelsbach) als Grundlage genommen.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Verfahrensstufen mit den genauen Werten aufgelistet, deren spezifischer Energieverbrauch wesentlich von den Hilfsdaten des MUNLV abweicht. Hierbei wurden die auf Verfahrensgruppen bezogenen Hilfsdaten als Mittelwerte der dem Handbuch beiliegenden Software des MUNLV zu entnehmenden Hilfsdaten angesetzt.

Tabelle 4-1: Verfahrensstufen mit erhöhtem Energiebedarf nach MUNLV (Konzen)

Pos.	Verfahren	Verbrauch [kWh/EW]	Hilfswert [kWh/EW]		Abweichung auf Ø des Hilfs- wertes bezogen [%]
			von	bis	
1.1	Regenüberlaufbecken	0,95	0,2	0,6	138%
3.1	Rechen	2,37	0,1	0,2	1480%
4.1	Langsandfang	4,70	0,50	1,00	527%
15.1	Licht, Labor, Werkstatt	1,44	0,18	0,36	433%
16.2	Brauchwasser	0,68	0,26	0,52	74%
16.4	Heizung	3,95	0,37	0,74	612%
17.2	Lüftungsanlagen	0,70	0,15	0,30	211%

Tabelle 4-2: Verfahrensstufen mit erhöhtem Energiebedarf nach MUNLV (Woffelsbach)

Pos.	Verfahren	Verbrauch [kWh/EW]	Hilfswert [kWh/EW]		Abweichung auf Ø des Hilfs- wertes bezogen [%]
			von	bis	
1.1	Regenüberlaufbecken	1,21	0,2	0,6	203%
3.1	Rechen	2,01	0,1	0,2	1240%
4.2	Rundsandfang	4,99	0,50	1,00	565%
6.2	Umwälzung unbelüfteter Teil	8,99	1,70	3,40	253%
8.1	Fällmitteldosierung	0,35	0,04	0,08	483%
13.3	Voreindickung statisch	0,38	0,1	0,2	153%
15.1	Licht, Labor, Werkstatt	1,23	0,18	0,36	356%
16.3	Druckluft	0,40	0,06	0,20	208%
16.4	Heizung	4,32	0,37	0,74	678%
17.2	Lüftungsanlagen	5,39	0,15	0,30	2296%

Für die membranspezifischen Anlagenteile erfolgt die Bewertung über die ermittelten Kennzahlen der Modellanlage.

Tabelle 4-3: Verfahrensstufen der Membranstufe mit erhöhtem Energiebedarf (Konzen)

Pos.	Verfahren	Verbrauch [kWh/m ³]	Hilfswert [kWh/m ³]	Abweichung auf Hilfswert bezogen [%]
7.3	Crossflow-Belüftung	0,50	0,47	6%
7.12	Permeatpumpen	0,04	0,01	300%

Tabelle 4-4: Verfahrensstufen der Membranstufe mit erhöhtem Energiebedarf (Woffelsbach)

Pos.	Verfahren	Verbrauch [kWh/m ³]	Hilfswert [kWh/m ³]	Abweichung auf Hilfswert bezogen [%]
6.3	Rezirkulationspumpen	0,15	0,05	200%
7.12	Permeatpumpen	0,07	0,01	600%
7.3	Crossflow-Belüftung	0,78	0,47	66%

Nach Erfassung aller energetisch ungünstigen Verfahrensstufen werden im Anschluss differenzierte Maßnahmen vorgestellt, um den Energieverbrauch zu senken.

5 MAßNAHMEN UND EINSARPOTENZIAL

Um die im Weiteren angesprochenen Maßnahmen zur Energieeinsparung umsetzen zu können, sind je nach Art der Maßnahmen verschieden hohe finanzielle und planerische Aufwendungen zu erbringen. Dabei spielt auch der Zeitraum, in dem eine Maßnahme umgesetzt werden kann, eine wichtige Rolle für die Durchführung.

Die vorgeschlagenen Maßnahmen werden gemäß der Definition des Handbuchs „Energie in Kläranlagen“ nach drei Realisierungsphasen und unterteilt:

- Sofortmaßnahmen (S)
- Kurzfristige Maßnahmen (K)
- Abhängige Maßnahmen (A)

Die Maßnahmenliste mit den Angaben über die Wirtschaftlichkeit soll dem Wasserverband Eifel-Rur dazu dienen, Entscheidungen über die Realisierung von Sofortmaßnahmen bzw. über die Auftragserteilung von Planungsarbeiten der kurzfristigen und abhängigen Maßnahmen zu treffen.

Eine der entwickelten Maßnahmen für die KA Woffelsbach war unter anderem die Anpassung der Steuerung der Membranfiltration. Derzeit werden die Becken abwechselnd in beiden Straßen angewählt. Da je Straße ein Gebläse, schaltbar in 3 Stufen (1, 2, 3 Becken in Betrieb), zur Verfügung steht, werden demnach bei 2 filtrierenden Straßen auch beide Gebläse in der unteren Drehzahl betrieben. Diese Regelung ist bei Betrachtung des Energieverbrauchs der Gebläse in den jeweiligen Stufen eher ungünstig. Zur Einsparung von Energie wäre es günstiger, zunächst erst eine Straße mit allen 3 Becken zu betreiben und die zweite Straße erst danach anzuwählen. Somit kann zunächst ein Gebläse erst hochgeschaltet werden, bevor das zweite Gebläse anspringt. Diese Regelung ist insofern interessant, da zu 95 % der Zeit nur eine Straße zum Filtrieren ausreicht. Ziel der Maßnahme ist es, je nach Wassermenge zuerst alle drei Becken einer Straße anzuwählen, damit ein Gebläse erst alle 3 Schaltstufen durchlaufen kann, bevor das 2. Gebläse bei Anwahl der 2. Straße anspringt.

Ausgehend von einem Gesamtverbrauch der Gebläse von 317.159 kWh/a können durch die geänderte Anwahl der Becken rund 10.149 kWh/a eingespart werden. Diese neue Regelung hat weiterhin auch Auswirkungen auf den Betrieb der beiden vorhandenen Rezirkulationspumpen. Werden diese ebenfalls an die neuen Laufzeiten der Gebläse angepasst, so ergibt sich insgesamt ein Einsparpotenzial von 29.813 kWh, was bei einem effektiven Strompreis von 12,6 Cent/kWh einem monetären Potenzial von 3.752 €/a entspricht.

Nachfolgend werden alle vorgeschlagenen Maßnahmen mit den notwendigen Investitionen, den erreichbaren Energie- und Kosteneinsparungen sowie dem sich hieraus ergebenden Kosten-/Nutzenverhältnis in Tabellenform zusammengestellt.

Tabelle 5-1: Maßnahmentabelle nach MUNLV (Konzen)

Nr.	Maßnahme	Verbraucher	Nutzungs- dauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahres- kosten [€/a]	Jahres- nutzen [€/a]	K / N [-]
				Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
Sofortmaßnahmen										

Kurzfristige Maßnahmen

Nr.	Maßnahme	Verbraucher	Nutzungs- dauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahres- kosten [€/a]	Jahres- nutzen [€/a]	K / N [-]
				Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
K1	Austausch Riemenscheiben	4.1	12,5	700	700	7.181		86	828	0,10
K2	Anpassung Steuerung Crossflow Gebläse	7.3	12,5	1.000	1.000	25.819		123	2.977	0,04
K3	Erhöhung der Flussrate	7.5	12,5	0	0	189.921		0	21.900	0,00
Kurzfristige Maßnahmen				1.700	1.700	222.921		208	25.706	0,01

Abhängige Maßnahmen

Nr.	Maßnahme	Verbraucher	Nutzungs- dauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahres- kosten [€/a]	Jahres- nutzen [€/a]	K / N [-]
				Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
Abhängige Maßnahmen										

Maßnahmenpaket	Verbraucher	Nutzungs- dauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahres- kosten [€/a]	Jahres- nutzen [€/a]	K / N [-]
			Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
Maßnahmen S Maßnahmen S+K Maßnahmen S+K+A			1.700 1.700	1.700 1.700	222.921 222.921		208 208	25.706 25.706	0,01 0,01

Tabelle 5-2: Maßnahmentabelle nach MUNLV (Woffelsbach)

Nr.	Maßnahme	Verbraucher	Nutzungs- dauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahres- kosten [€/a]	Jahres- nutzen [€/a]	K / N [-]
				Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
Sofortmaßnahmen										

Kurzfristige Maßnahmen

Nr.	Maßnahme	Verbraucher	Nutzungs- dauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahres- kosten [€/a]	Jahres- nutzen [€/a]	K / N [-]
				Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
K1	Neuregelung der Membranfiltration	7.3	12,5	2.500	2.500	29.813		307	3.752	0,08
K2	Anpassung der Beckenanwahl	7.6	12,5	0	0	43.531		0	5.479	0,00
Kurzfristige Maßnahmen				2.500	2.500	73.344		307	9.231	0,03

Abhängige Maßnahmen

Nr.	Maßnahme	Verbraucher	Nutzungs- dauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahres- kosten [€/a]	Jahres- nutzen [€/a]	K / N [-]
				Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
A1	Austausch der Rührwerke	6.1	12,5	12.500	12.500	19.002		1.533	2.392	0,64
Abhängige Maßnahmen				12.500	12.500	19.002		1.533	2.392	0,64

Maßnahmenpaket	Verbraucher	Nutzungs- dauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahres- kosten [€/a]	Jahres- nutzen [€/a]	K / N [-]
			Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
Maßnahmen S Maßnahmen S+K Maßnahmen S+K+A			2.500 15.000	2.500 15.000	73.344 92.346		307 1.840	9.231 11.622	0,03 0,16

Sollten alle vorgeschlagenen Maßnahmen umgesetzt werden, könnten auf der KA Konzen insgesamt mindestens 222.921 kWh/a bzw. 25.706 € eingespart werden. Bei einem gemessenen Gesamtverbrauch von 1.663.309 kWh, bedeutet dies eine Reduktion um 13,4 %. Bezogen auf eine Jahresabwassermenge von 2.132.388 m³/a reduziert sich der spezifische Energieverbrauch von 0,70 kWh/m³ auf 0,59 kWh/m³. Die größte absolute Einsparung kann mit einer Reduktion von 0,09 kWh/m³ durch eine Anpassung der Flussrate erreicht werden.

Auf der KA Woffelsbach können nach Umsetzung aller Maßnahmen mindestens 92.345 kWh/a bzw. 11.622 € eingespart werden. Dies entspricht einer Reduktion von 12,8 %. Auf die Jahresabwassermenge von 409.358 m³/a bezogen, kann der spezifische Energieverbrauch von 1,63 kWh/m³ auf 1,35 kWh/m³ verringert werden. Die größte Einsparung ergibt sich durch eine Neuregelung der Membranfiltration. Dadurch können bis zu 0,13 kWh/m³ eingespart werden.

Das nachfolgende Diagramm zeigt in welchem Bereich welche Energieeinsparung konkret erzielt werden kann

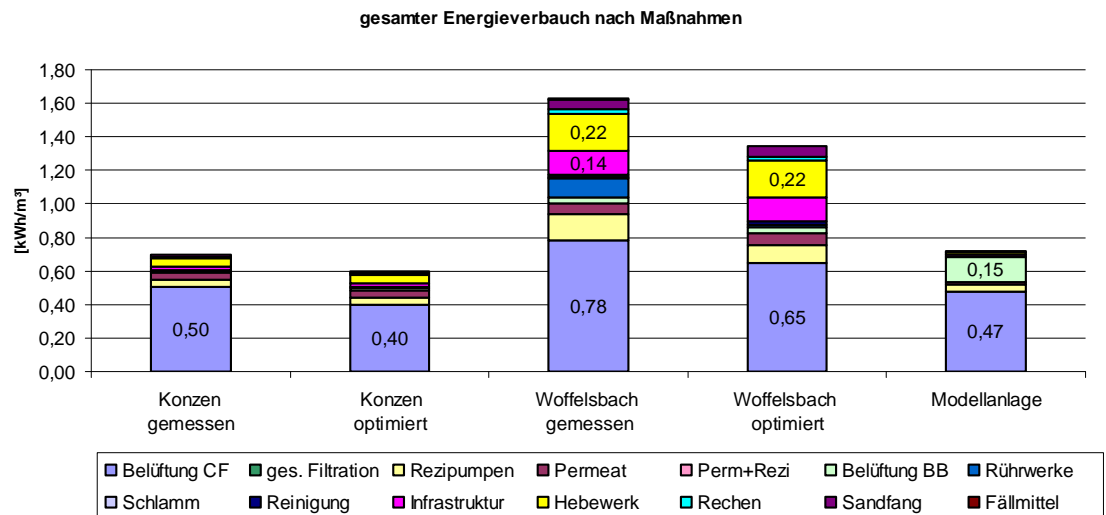


Abbildung 5-1: Grafische Darstellung der Auswirkungen aller Maßnahmen auf die einzelnen Verfahrensbereiche

Dennoch können auf der KA Woffelsbach auch mit Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen die theoretischen idealen Energieverbrauchswerte nicht erreicht werden. Einen Grund hierfür stellt zunächst die örtliche Zulaufsituation mit der langen Druckleitung dar. Diese besondere Situation wurde in der Modellanlage nicht abgebildet. Betrachtet man zum Vergleich den theoretischen Idealwert des Handbuchs einer konventionellen Modellanlage mit Filtration, jedoch ohne anschließende Hygienisierung für ca. 100.000 EW beträgt dieser ca. 0,28 kWh/m³. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch der Ablauf einer Filteranlage üblicherweise noch nicht hygienisiert ist und die Verfahrenstechniken damit nicht direkt vergleichbar sind. Im Folgenden werden die spezifischen Energieverbräuche der Kläranlagen Konzen und Woffelsbach, vor und nach Umsetzung der Maßnahmen, der Modellanlage einer konventionellen Anlage, gegenübergestellt. Die Werte beziehen sich auf den Mischwasserzufluss im Jahresmittel.

Tabelle 5-3: Vergleich spez. Energieverbräuche

Spezifischer Energieverbrauch bei Mischwasserzufluss [kWh/m ³]					
KA Konzen		KA Woffelsbach		Modellanlage	Konventionelle Kläranlage
				IDEALWERT	IDEALWERT
bisher	nach Maßnahmen	bisher	nach Maßnahmen		
0,70	0,59	1,63	1,35	0,72	0,28

Es ist deutlich erkennbar, dass beide Membrananlagen sehr unterschiedliche spezifische Verbräuche aufweisen. Dies liegt vor allem daran, dass der KA Konzen durch einen hohen Anteil Fremdwasser größere Wassermengen zufließen. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Modellanlage kann daher festgehalten werden, dass die Energieverbrauchswerte einer modernen Membranbelebungsanlage mit Plattenmodulen etwa das 2,5 fache über denen einer konventionellen Anlage mit Filtration liegen. Dieser Wert kann wahrscheinlich durch voranschreitende Modulentwicklung noch weiter reduziert werden. Hinzu kommt, dass eine MBR-Anlage in Bezug auf Mess-, Steuer- und Regelungstechnik deutlich komplexer ist, als herkömmliche Kläranlagen.

Abschließend ist zu bemerken, dass die hier vorliegende Energieanalyse ohne die gute Anlagenkenntnis und besonders das Engagement beim Zusammenstellen der notwendigen Anlagendaten durch das Betriebspersonal des Klärwerks nicht in der vorliegenden Detailtiefe möglich gewesen wäre. Die Bereitschaft, auch neue Wege zu beschreiten und die Aufgeschlossenheit gegenüber weiteren Optimierungsansätzen waren ebenfalls bei der Durchführung dieser Studie ein entscheidendes Kriterium für das Auffinden der beschriebenen Maßnahmen.

Die komplette Analyse und eine detaillierte Beschreibung der entwickelten Maßnahmen und Einsparmöglichkeiten der Kläranlagen Konzen und Woffelsbach sind dem Abschlussbericht der Feinanalyse zu entnehmen.

6 LITERATURVERZEICHNIS

Krause, Stefan: Untersuchungen zum Energiebedarf von Membranbelebungsanlagen, Darmstadt, 2005

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV) (Hrsg.): Energie in Kläranlagen, Düsseldorf, 1999

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes NRW (MUNLV) (Hrsg.): Abwasserreinigung mit Membrantechnik – Membraneinsatz im kommunalen und industriellen Bereich. 1. Auflage, Düsseldorf, 2003

Pöyry GWK: Feststellung des energetischen Zustandes der Membrankläranlagen Konzen und Woffelsbach zur Ermittlung energetischer Kennzahlen für Plattenmembranmodule und Verifizierung dieser Kennzahlen im Rahmen einer umfassenden Feinanalyse, Essen, 2009

Verrecht, B., Judd, S., Guglielmi, G., Brepols, C., Mulder, J. W.: An aeration model for an immersed membrane bioreactor; Water Research, Heft 42, 2008