



## Forschungsvorhaben

Ermittlung energetischer Beurteilungskriterien  
für Membrankläranlagen mit Hohlfasermodulen  
und deren Verifizierung am Beispiel einer Großanlage

## **Forschungsvorhaben**

Ermittlung energetischer Beurteilungskriterien für Membrankläranlagen mit Hohlfasermodulen und deren Verifizierung an einer Großanlage

### **Auftraggeber:**

Erftverband  
Paffendorfer Weg 42, 50126 Bergheim

### **Verfasser:**

Kruppstraße 82  
45145 Essen  
Tel. 0201 82054-0  
Fax 0201 82054-22  
environment.essen.de@poyry.com  
www.environment.poyry.de

Essen, den 27.02.2009

Pöyry GWK GmbH

Gerold Zimmermann  
(Geschäftsführer)

i. V. Christian Mauer  
(Fachbereichsleiter, Projektleiter)

## Inhalt

<b>1</b>	<b>VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG</b>	<b>6</b>
1.1	Veranlassung	6
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	6
<b>2</b>	<b>IST-ZUSTAND</b>	<b>9</b>
2.1	Datengrundlage	9
2.2	Beschreibung des Klärwerks	9
2.2.1	Allgemeines	9
2.2.2	Festlegung der Bezugsgrößen	11
2.2.3	Beschreibung der Verfahrenstechnik	17
2.2.4	Überblick	21
2.3	Datenerhebung	23
2.3.1	Elektrische Verbraucher	23
2.3.2	Wärmeverbraucher	32
2.4	Energieverbrauch und Energiekosten	32
2.5	Energieverbrauchermatrix	33
<b>3</b>	<b>AUSLEGUNG DER MODELLANLAGE UND ERMITTLUNG DES THEORETISCHEN ENERGIEBEDARFS</b>	<b>42</b>
3.1	Grundlagen	42
3.2	Berechnung des Energieverbrauches	47
3.3	Betrachtung des Energieverbrauchs für mittleren Mischwasserzufluss	67
<b>4</b>	<b>BEWERTUNG IST-ZUSTAND</b>	<b>70</b>
<b>5</b>	<b>MAßNAHMEN</b>	<b>76</b>
5.1	Sofortmaßnahmen	77
5.1.1	Betrieb der Sandfanggebläse in kleiner Polstufe – S1	77
5.2	Kurzfristige Maßnahmen	79
5.2.1	Anpassung der Steuerung der Crossflow-Gebläse – K1	79
5.2.2	Relaxation statt Rückspülung – K2	83
5.2.3	Optimierung der Rührwerke der Denitrifikations- und Variozonen– K3	84
5.2.4	Implementierung einer Gleitdruckregelung – K4	88
5.2.5	Ersatz der Sandfanggebläse – K5	93
5.3	Abhängige Maßnahmen	94
5.3.1	Außerbetriebnahme eines Sandfanggerinnes - A 1	94
5.3.2	Einsatz energieeffizienter Motoren - A 2	96
5.4	Sonstige Maßnahmen	101
5.4.1	Alternative Abluftbehandlung	101
5.5	Gesamtübersicht über die vorgeschlagenen Maßnahmen	104
<b>6</b>	<b>LASTMANAGEMENT</b>	<b>104</b>

6.1	Einsatz eines Lastmanagementsystems	104
6.2	Eckdaten der Energieverträge	105
6.2.1	Zusammensetzung Strombezugspreis	105
6.2.2	Zusammensetzung Strombezugspreis	105
6.2.3	EVU-Vertragsform mit Jahresleistungspreisberechnung	107
6.3	Reduktions- und Einsparpotenzial	108
6.3.1	Strombezugsdaten	108
6.3.2	Messimpulse	108
6.3.3	Auswertung Lastverlauf	108
6.3.4	Einsparpotenzial bei Vertragsgestaltung mit Jahresleistungspreisberechnung	111
6.3.5	Ermittlung des aggregatspezifischen Reduktionspotenzials	111
6.3.6	Notstromdiesel	112
6.3.7	Fazit Lastmanagement	113
<b>7</b>	<b>RESULTATE IM ÜBERBLICK</b>	<b>114</b>
7.1	Energiebilanz	114
7.2	Energiebezugskosten	114
7.3	Wirtschaftlichkeit	115
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>116</b>
<b>9</b>	<b>VERZEICHNIS DER KURZZEICHEN UND ABKÜRZUNGEN</b>	<b>120</b>
<b>10</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>123</b>
<b>11</b>	<b>TABELLEN- UND BILDVERZEICHNIS</b>	<b>124</b>
11.1	Tabellenverzeichnis	124
11.2	Abbildungsverzeichnis	125

## **1 VERANLASSUNG UND ZIELSETZUNG**

### **1.1 Veranlassung**

Der Erftverband betreibt mit dem Gruppenklärwerk (GKW) Nordkanal eine der größten europäischen Membrankläranlagen. Die Anlage ist mit Hohlfasermodulen 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 Erftverband beabsichtigte daher, im Rahmen eines Forschungsvorhabens erstmals übertragbare energetische Beurteilungskriterien für Membrankläranlagen mit Hohlfasermodulen zu entwickeln und diese direkt am Beispiel des GKW Nordkanal zu verifizieren. Die theoretische Herleitung der membranspezifischen Energiekennwerte auf Basis einer ausführlichen Bestandsaufnahme stellte einen wesentlichen Kernpunkt der Untersuchung dar.

Die zu entwickelnden Beurteilungskriterien sollten sich dabei an den entsprechenden Kennwerten des Handbuchs „Energie in Kläranlagen“ 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.

Das Ingenieurbüro PÖYRY GKW GmbH wurde mit Schreiben vom 24.06.2008 mit diesen Aufgaben beauftragt.

### **1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise**

Ziel war es, für Membranbelebungsanlagen, speziell für Anlagen mit Hohlfasermodulen, Bewertungskriterien und spezifische Kennzahlen zu entwickeln. Diese sollten dann direkt am Beispiel des GKW Nordkanal verifiziert werden.

Die zu entwickelnden Beurteilungskriterien sollten sich dabei an den entsprechenden Kennwerten des Handbuchs „Energie in Kläranlagen“ 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.

Insbesondere die Ergebnisse hinsichtlich der Herleitung theoretischer Idealwerte des Energiebedarfs für die Membranstufe wurden sorgfältig aufbereitet und am Beispiel des GKW Nordkanal verifiziert, sodass diese in Zukunft auch bei der energetischen Betrachtung anderer Kläranlagen mit Hohlfasermodulen als Basiswerte herangezogen werden können.

Es galt zu berücksichtigen, dass derzeit insbesondere die aus dem hohen Energiebedarf resultierenden hohen Betriebskosten einer weiteren Verbreitung der Membrantechnologie in Deutschland entgegenstehen. Im Zuge des Vorhabens sollten daher übertragbare Maßnahmen zur Verringerung des Energiebedarfs von Membrankläranlagen erarbeitet werden.

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.

Die energetische Untersuchung betrachtet detailliert die gesamte energetische Situation des GWK Nordkanal und beschränkt sich nicht nur auf die Anlagenteile der Membranbelegung.

Folgende Ziele bzw. Ergebnisse sollten erreicht werden:

- Zusammenstellung des gesamten Energieverbrauchs aller Verbraucher und der zugehörigen Energiekosten
- Ermittlung von Kennzahlen und Berechnung des theoretischen Energiebedarfs
- Bewertung der tatsächlichen energetischen Situation des Klärwerks
- Aufzeigen von möglichen Sofortmaßnahmen
- Auflisten kurzfristiger und abhängiger Energiesparmaßnahmen einschl. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Investitionskosten, Energiekosteneinsparung)
- Empfehlung der weiteren Vorgehensweise (Dringlichkeit, Ausführungsplanung)

Nachfolgend wird die Vorgehensweise beschrieben:

#### Datenerhebung Strom / Wärme

Bei der Analyse wurden zunächst der 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.

#### Kennzahlenermittlung allgemein und Membranstufe

Im Anschluss an die ausführliche Datenaufnahme und Aufteilung des Energiebedarfs auf die einzelnen Verfahrenstufen erfolgte bei der Vorgehensweise gemäß dem Handbuch des MUNLV 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 Feinanalysen 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. Allerdings sind im Handbuch noch keine Werte

für Membranbelebungsanlagen genannt, sodass diese für die membranspezifischen Anlagenteile und Verfahrensstufen noch zu ermitteln waren.

Da die bisherige Anzahl von Membrankläranlagen für eine statistische Ableitung von Richtwerten nicht ausreicht, wurden zunächst analog zu dem im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ beschriebenen Vorgehen bei konventionellen Kläranlagen theoretische Idealwerte für eine Membrankläranlage mit den eingesetzten Hohlfasermodulen vom Typ Zenon ermittelt. Hierfür wurde gedanklich unabhängig von äußeren Einflüssen (Topographie etc.) eine optimale Membrankläranlage konstruiert und deren Energiebedarf errechnet. Für die Beurteilung der einzutragenden Energie wurde dabei auf eigene Erfahrungen von Erftverband und Pöyry GWK mit Membrankläranlagen, Herstellerangaben und Fachveröffentlichungen zurückgegriffen. Dabei sind insbesondere die ausführlichen Erfahrungen, die der Erftverband seit Inbetriebnahme des GWK Nordkanal sammeln konnte, hervorzuheben. Hieraus ergeben sich nach derzeitigem Stand gute Chancen, den Energiebedarf der Module noch unter die Herstellerangaben abzusenken.

Die Werte der Membranstufe wurden dabei entsprechend den membranspezifischen Anlagenteilen separat aufgenommen und spezifiziert. Die Kennzahlen (und auch die Auswertung der aufgenommenen Daten des IST-Zustandes für diesen Bereich) gliedern sich in die folgenden Untergruppen:

- Permeatabzug einschl. Rückspülung
- Crossflow-Belüftung
- Rezirkulation
- Reinigung

Um zumindest eine Abschätzung von Richtwerten zu ermöglichen, wurden in der Folge zunächst die Richtwerte für konventionelle Kläranlagen um die Werte für das System Biologie (Belebung und Nachklärung) verringert, um diese im Anschluss um die für Membrankläranlagen spezifischen Werte für das System Membranbelebungsstufe (Belebungsstufe und Membranstufe inkl. Crossflow-Belüftung und Reinigung) und Feinstsiesung zu ergänzen.

Die Kennwertermittlung wurde dabei systematisch durchgeführt und sorgfältig dokumentiert. Es erfolgte dabei eine Darlegung aller energetisch relevanten Funktionsprinzipien der eingesetzten Membranmodule. Somit können die ermittelten Werte künftig als Grundlage für die energetische Optimierung weiterer Anlagen dienen. Im Anschluss an die Herleitung konnte die Energieoptimierung gemäß der im Handbuch beschriebenen Vorgehensweise fortgesetzt werden.

#### Ermittlung eventueller Mängel vor Ort

Auf Basis des Kennzahlenvergleichs wurde eine Analyse für das GWK Nordkanal durchgeführt und mögliche Maßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs entwickelt. Bei den Anlagenbegehungen wurden die Erfahrungen des Betriebspersonals abgefragt und bei der Analyse berücksichtigt. Die Durchführbarkeit einzelner Maßnahmen wurde aus technischer Sicht mit dem Betriebspersonal abgestimmt.

## **2 IST-ZUSTAND**

### **2.1 Datengrundlage**

Der Erhebung des aktuellen Zustandes des GW Nordkanal kommt im Rahmen der Energieanalyse eine zentrale Bedeutung zu. So sind die Ergebnisse der Auswertung immer nur so zuverlässig wie die Datengrundlage, auf der diese basieren.

Im Einzelnen wurde u. a. auf folgendes Datenmaterial zurückgegriffen:

- Zu- und Ablaufwerte sowie Angaben zu Schlammengen des Jahres 2007
- Lastgänge des GW Nordkanal und des Pumpwerks Am Bauhof Kaarst von 2007
- Energiebilanz der verschiedenen NSUV
- Auszüge aus dem Jahresbericht 2007
- Stromrechnung des Jahres 2007
- diverse Bestands- und Lagepläne des GW Nordkanal
- Verfahrensfließbilder
- Angaben des Betriebspersonals zu einzelnen Aggregaten und Verfahrensstufen
- Angaben des Betriebspersonals zur Betriebsführung des Klärwerks

Der Betrachtungszeitraum für die Energieanalyse ist das Jahr 2007.

### **2.2 Beschreibung des Klärwerks**

#### **2.2.1 Allgemeines**

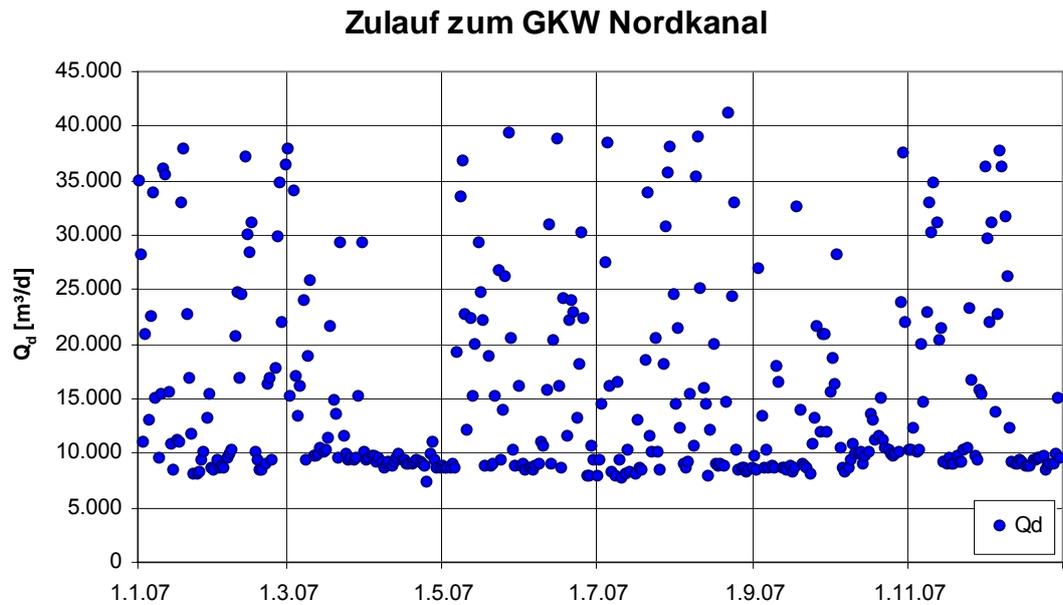
Seit dem Jahr 2004 betreibt der Erftverband in Kaarst des GW Nordkanal. Hier werden die Abwässer der Stadt Kaarst und einiger Ortsteile der Städte Korschenbroich und Neuss gereinigt. Zuvor wurden die Abwässer im sogenannten alten GW Nordkanal, etwa 2,5 km flussabwärts, behandelt. Dieser Standort musste jedoch aufgrund der mittlerweile ungenügenden Reinigungsleistung und der räumlichen Entwicklung der Stadt Kaarst aufgegeben werden.

Das gereinigte Abwasser fließt dem Nordkanal zu, einem künstlichen Gewässer mit geringer Wasserführung und Fließgeschwindigkeit. Aufgrund der schlechten Gewässerqualität (Gewässergüteklasse III – „stark verschmutzt“) und der unmittelbaren Nähe zu einem Badegewässer im Unterwasser der Kläranlage sind verschärfte Einleitorderungen einzuhalten.

Aus diesem Grund entschied sich der Erftverband für den Bau einer Membranbelebungsanlage. Die Bezirksregierung Düsseldorf erteilte im Jahr 2000 die wasserrechtli-

che Genehmigung unter der Bedingung, dass für die Membranfiltration eine Reserve von 25 % vorgesehen wird.

Das GWK Nordkanal ist auf 80.000 EW, einen Trockenwetterzufluss von  $Q_{T,d} = 1.024 \text{ m}^3/\text{h}$  und einen Mischwasserzufluss von  $Q_M = 1.881 \text{ m}^3/\text{h}$  ausgelegt. Der mittlere Tageszufluss betrug im Jahr 2007  $15.164 \text{ m}^3/\text{d}$ , das Minimum lag bei  $7.361 \text{ m}^3/\text{d}$  und das Maximum bei  $41.139 \text{ m}^3/\text{d}$  (s Abbildung 2.1).



**Abbildung 2.1: Jahrgang der täglichen Abwassermenge im Zulauf des GWK Nordkanal**

Etwa 80 % der Abwässer werden vom alten Standort nach einer mechanischen Grobreinigung, der Rest vom Pumpwerk Korschenbroich über zwei Druckleitungen zum neuen Klärwerk übergepumpt. Nach einer weiteren mechanischen Reinigungsstufe, bestehend aus einer Feinrechenanlage, einem belüfteten Sand- und Fettfang sowie einer Feinsieb-anlage gelangt das Abwasser in die Membranbelebung, bestehend aus vorgeschalteter Denitrifikation, Variobereich und Nitrifikation mit einem Gesamtvolumen von  $9.200 \text{ m}^3$ . Die Membranmodule sind in den Nitrifikationsbereich integriert und besitzen eine Filterfläche von insgesamt  $84.480 \text{ m}^2$ . Die Phosphorelimination erfolgt mittels Simultanfällung. Der anfallende Überschussschlamm wird in Stapelbehältern zwischenge-lagert und anschließend in einer Zentrifuge entwässert. Der entwässerte Schlamm wird anschließend zur Verbrennung abtransportiert.

Die folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Eckdaten der Kläranlage:

**Tabelle 2.1: Allgemeine Kenndaten des GWK Nordkanal**

GWK Nordkanal		
Einwohnerwerte (Auslegungswert)	80.000	[EW]
Größenklasse nach AbwV	4	[-]
Mittlerer Abfluss (Ø 2007)	176	[l/s]
Täglicher Trockenwetterzufluss (Auslegungswert)	1.024	[m³/h]
Mischwasserzufluss (Auslegungswert)	1.881	[m³/h]

**Tabelle 2.2: Überwachungs- und Ablaufwerte des GWK Nordkanal**

	CSB [mg/l]	BSB <sub>5</sub> [mg/l]	N <sub>anorg.</sub> [mg/l]	NH <sub>4</sub> -N [mg/l]	P <sub>ges</sub> [mg/l]
Überwachungswerte	90	20	18	10	2,0
Ablaufkonzentrationen (85 %-Quantil)	25	-	7	0,3	0,4

### 2.2.2 Festlegung der Bezugsgrößen

Bei der energetischen Beurteilung einer herkömmlichen Kläranlage erfolgt die Beurteilung auf Basis von Ideal- und Richtwerten, die sich aus der aktuellen Einwohnerbelastung ergeben. Die Festlegung dieser Bezugsgröße erfolgt gemäß dem Handbuch „Energie in Kläranlagen“, bezogen auf die mittleren Schmutzfrachten im Zulauf der Kläranlage (ohne Rückbelastung) und den üblichen einwohnerspezifischen Schmutzfrachten gemäß ATV-DVWK A 131.

Bei einer Membrankläranlage resultiert der größte Energieverbrauch aus dem Betrieb der Membranfiltration. Er ändert sich naturgemäß nicht mit den Schmutzfrachten, sondern mit den filtrierten Wassermengen. Daher ist es nicht zielführend, die Leistung und den Energieverbrauch einer Membranfiltration über die Einwohnerbelastung zu beurteilen. Vielmehr ist hier die Zulaufwassermenge entscheidend.

Die Bewertung der herkömmlichen Anlagenbestandteile erfolgt daher über den Bezug auf die angeschlossenen Einwohner, die Bewertung der membranspezifischen Anlagenbestandteile über die Wassermenge.

#### Ermittlung der Einwohnerbelastung im Jahr 2007

Für die Festlegung der mittleren Jahresbelastung standen die Betriebsberichte für das Jahr 2007 und Laborauswertungen einiger 24h-Mischproben zur Verfügung. Gemäß dem Handbuch stellt bei der Berechnung der mittleren Jahresbelastung, ausgedrückt in

Einwohnergleichwerten, der biologische Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen (BSB<sub>5</sub>) die maßgebende Größe dar. Für diesen Parameter liegen allerdings keine Daten vor. Daher erfolgt eine Auswertung auf Basis der CSB-, Stickstoff- und Phosphor-Frachten. Zur Plausibilitätskontrolle der über diese Frachten ermittelten Anlagenbelastung erfolgt auch eine Berechnung der 85%-Quantile der Zulauffrachten. Letztere kann zum Vergleich mit den Auslegungswerten der Kläranlage verwendet werden.

#### Auswertung der Betriebsdaten

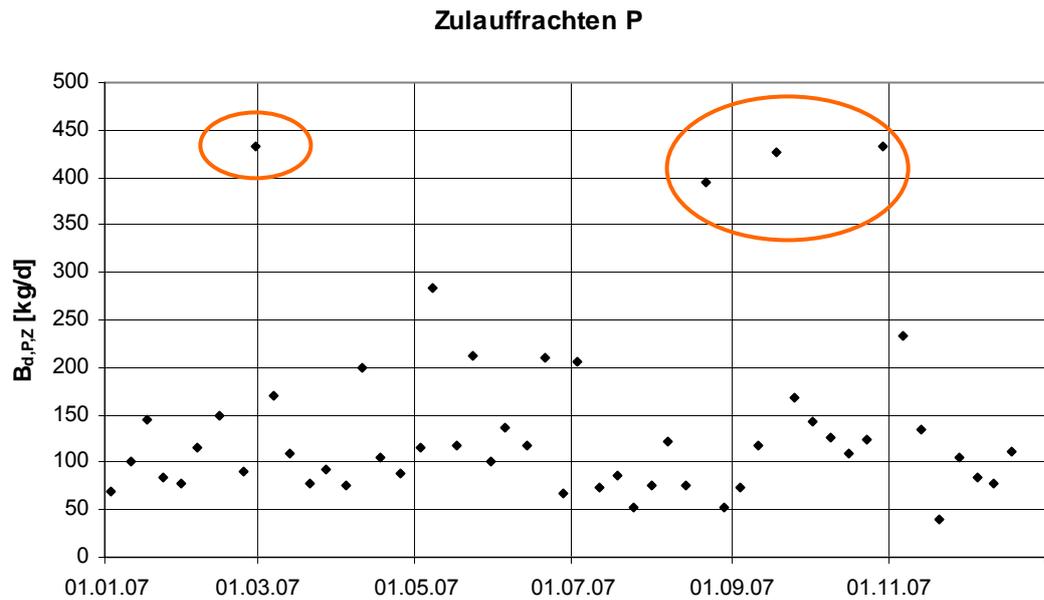
Zur Ermittlung der durchschnittlichen jährlichen Anlagenbelastung lagen die im Jahre 2007 ermittelten Konzentrationen von der Probenahmestelle im Zulauf zur Kläranlage vor. Diese befindet sich im Ablauf des Feinrechens vor dem Sandfang. Es handelt sich dabei um zeitproportionale 24h-Mischproben.

Durch Multiplikation der gemessenen Konzentrationen mit den zugehörigen Wassermengen aus den Betriebsberichten wurden die entsprechenden Zulauffrachten errechnet und deren Mittelwerte bzw. 85%-Quantile gebildet. Für die anschließende Umrechnung der Frachten in Einwohnergleichwerte wurden die Standardwerte des ATV-DVWK-Arbeitsblattes 131 herangezogen. Es ergeben sich hiernach folgende Einwohnergleichwerte für das Jahr 2007 (s. Tabelle 2.3):

**Tabelle 2.3: Ermittlung der Einwohnerwerte über CSB, N<sub>ges</sub>, NH<sub>4</sub>-N und P**

Ermittlung der Einwohnergleichwerte		CSB	N <sub>ges</sub>	NH <sub>4</sub> -N	P
Probenzahl	[-]	51	49	51	51
Mittelwert der Tagesfrachten	[kg/d]	7.987	732	512	141
85%-Q. der Tagesfrachten	[kg/d]	11.760	1.084	751	208
Standardwerte nach ATV	[g/(EW·d)]	120	11	7,5	1,8
Einwohnerwerte aus MW	[EW]	66.558	66.591	68.242	78.355
Einwohnerwerte aus 85%-Q.	[EW]	98.004	98.548	100.200	115.451

Es fällt auf, dass der aus der Phosphorfracht berechnete Einwohnerwert deutlich über den anderen drei Werten liegt. Betrachtet man die Verteilung der Frachten über das Jahr 2007, sind deutlich erhöhte Werte im Frühjahr und im Herbst zu erkennen (s. Abbildung 2.2).



**Abbildung 2.2: Verteilung der Zulauffrachten P im Jahr 2007**

Das GWK Nordkanal ist verpflichtet, Sauerkrautlake eines Weißkraut verarbeitenden Betriebes in der Umgebung anzunehmen. Diese fällt saisonal etwa im Zeitraum von September bis Dezember an, wird in einem Speicherbehälter zwischengespeichert und dosiert dem Kläranlagenzulauf zugegeben. Damit lassen sich die erhöhten Phosphorwerte im Herbst erklären. Für den Ausreißer im Frühjahr scheint es jedoch keine plausible Begründung zu geben. Hier wird ein Messfehler vermutet.

Da es sich bei den erhöhten P-Frachten um nur relativ kurzzeitige Belastungen handelt, werden diese für die Ermittlung der Einwohnerbelastung zunächst nicht mit berücksichtigt. Demnach ergibt sich eine mittlere P-Fracht von 117 kg/d (85%-Quantil: 169 kg/d) und eine mittlere Einwohnerbelastung aus der P-Fracht von 65.054 EW (85%-Quantil: 93.733 EW) (s. Tabelle 2.4). Über alle Parameter gemittelt liegt die Einwohnerbelastung aus den Mittelwerten bei ungefähr 66.600 EW und aus den 85%-Quantilen bei 97.600 EW.

**Tabelle 2.4: Ermittlung der Einwohnerwerte über CSB, N<sub>ges</sub>, NH<sub>4</sub> und P (bereinigt)**

Ermittlung der Einwohnerequivalente		CSB	N <sub>ges</sub>	NH <sub>4</sub> -N	P bereinigt
Probenzahl	[-]	51	49	51	47
Mittelwert der Tagesfrachten	[kg/d]	7.987	732	512	117
85%-Q. der Tagesfrachten	[kg/d]	11.760	1.084	751	169
Standardwerte nach ATV	[g/(EW·d)]	120	11	7,5	1,8
Einwohnerwerte aus MW	[EW]	66.558	66.591	68.242	65.054
Einwohnerwerte aus 85%-Q.	[EW]	98.004	98.548	100.200	93.733

### Rückbelastung

In den Zulaufkonzentrationen sind auch die Konzentrationen des Trübwassers aus der Schlammmentwässerung enthalten. Der aerob stabilisierte Überschussschlamm wird in Eindickbehältern voreingedickt und anschließend in einer Zentrifuge entwässert. Das Zentrat wird in einen Trübwasserbehälter gepumpt und von dort in den Zulaufschacht der Kläranlage geleitet, welcher vor dem Feinrechen und damit vor der Probenahmestelle des GWK liegt. Zur Ermittlung der tatsächlichen Belastung muss diese Rückbelastung herausgerechnet werden.

Es liegen Messungen über die Zentratmengen und die Konzentrationen von AFS, CSB, N<sub>ges</sub>, NH<sub>4</sub> und P<sub>ges</sub> vor. Analog zu o.g. Vorgehensweise wurden die Frachten aus dem Zentrat berechnet und von den Zulauffrachten subtrahiert. Anschließend wurden erneut die Einwohnerwerte aus den Standardvorgaben der ATV ermittelt (Tabelle 2.5).

**Tabelle 2.5: Ermittlung der Einwohnerwerte unter Berücksichtigung der Rückbelastung aus Zentrat**

Ermittlung der Einwohnergleichwerte (unter Berücksichtigung der Rückbelastung)		CSB	N <sub>ges</sub>	NH <sub>4</sub> -N	P berei- nigt
Probenzahl	[-]	9	9	9	9
Mittelwert der Tagesfrachten	[kg/d]	8.784	739	517	144
85%-Quantil der Tagesfrachten	[kg/d]	12.189	1.036	702	210
Interne Rückbelastung (MW)	[kg/d]	162	9	5	2
Interne Rückbelastung (85%-Q.)	[kg/d]	199	12	7	3
Standardwerte nach ATV	[g/(EW·d)]	120	11	7,5	1,8
Einwohnerwerte aus MW (ohne Rückbelastung)	[EW]	65.210	65.814	67.627	64.040
Einwohnerwerte aus 85%-Q. (ohne Rückbelastung)	[EW]	96.342	97.454	99.215	92.181

Über alle Parameter gemittelt liegt die Einwohnerbelastung jetzt bei etwa 65.700 EW. Das Mittel der 85%-Quantile ergibt eine Belastung von ca. 96.300 EW. Die Rückbelastung aus dem Zentrat beträgt für die einzelnen Verschmutzungsparameter nur etwa 1 bis 2%.

Die Einwohnerzahlen erscheinen jedoch insgesamt sehr hoch. Das GWK Nordkanal wäre demnach über die Ausbaugröße hinaus belastet. Es wurde daher vorgeschlagen, als Gegenkontrolle die Einwohnerwerte anhand von Laborwerten, die aus volumenproportionalen 24h-Mischproben ermittelt wurden, zu bestimmen.

Es ergeben sich für das Jahr 2007 folgende Zahlen (Tabelle 2.6):

**Tabelle 2.6: Ermittlung der Einwohnerwerte anhand von Laborproben**

<b>Ermittlung der Einwohnergleichwerte</b>		<b>CSB</b>	<b>N<sub>ges</sub></b>	<b>P</b>
Probenzahl (2007)	[-]	4	4	4
Mittelwert der Tagesfrachten	[kg/d]	6.709	678	109
85%-Quantil der Tagesfrachten	[kg/d]	8.406	792	128
Standardwerte nach ATV	[g/(EW·d)]	120	11	1,8
Einwohnerwerte aus MW	[EW]	55.907	61.669	60.719
Einwohnerwerte aus 85%-Q.	[EW]	70.050	72.028	71.269

Die Anlagenauslastung läge, über alle drei Parameter gemittelt, somit bei etwa 59.400 EW und für das 85%-Quantil bei 71.100 EW. Allerdings ist eine statistische Auswertung dieser Daten für das Jahr 2007 nach ATV-DVWK-A 131 und A 198 hier nicht zulässig, da die Probendichte viel zu gering ist. Für die Ermittlung des 85%-Quantils sind nach A 131 mindestens 40 Frachtwerte heranzuziehen.

Als Bezugsgröße für die energetische Beurteilung des GWK Nordkanal wird daher eine Einwohnerbelastung von **65.700 EW** festgelegt.

### 2.2.3 Beschreibung der Verfahrenstechnik

#### Pumpwerk „Am Bauhof“

Am ehemaligen Standort des GWK Nordkanal befindet sich heute ein Pumpwerk, welches die Abwässer der Einzugsgebiete Kaarst und Holzbüttgen über eine Druckleitung etwa 2,5 km zum neuen GWK Nordkanal pumpt.

Bevor das Abwasser zum Pumpwerk gelangt, wird es durch eine Grobrechenanlage, bestehend aus zwei Gegenstromrechen mit einer Spaltweite von 20 mm, mechanisch vorgereinigt. Das Rechengut wird in einen gemeinsamen Querförderer abgeworfen und danach über eine Rechengutwaschpresse in einen in einem separaten Raum aufgestellten Container gefördert. Von dort aus wird es zur Verwertung abgefahren. Die Steuerung der Rechenräumung erfolgt über eine Wasserspiegeldifferenzdruckmessung.

Das Pumpwerk besteht aus 5 Tauchmotorpumpen, von denen eine Pumpe bei Trockenwetterzufluss fördert und die vier anderen im Regenwetterfall. Insgesamt werden etwa 80 % des Gesamtzuflusses des GWK Nordkanal über das Pumpwerk "Am Bauhof" gefördert.

Am alten Kläranlagenstandort befindet sich außerdem ein Störfallbecken mit einem Volumen von 4.400 m<sup>3</sup>. Dieses Rundbecken ist mit 2 Rührwerken und 3 Tauchmotorpumpen zur Beckenentleerung ausgerüstet und war im Betrachtungszeitraum 2007 mehrfach in Betrieb.

Außerdem befinden sich am alten Standort noch eine Biofilteranlage mit Gebläse, Luftwäscher etc. zur Behandlung der im Rechengebäude und Pumpwerk anfallenden Abluft sowie ein Netzersatzaggregat zur Versorgung der Pumpen. Dieses hat eine Nennleistung von 320 kW.

#### Pumpwerk Korschenbroich

Die restlichen 20 % des Gesamtzuflusses zum GWK Nordkanal werden über das Pumpwerk Korschenbroich gefördert. Hier stehen insgesamt 4 Pumpen zur Verfügung. Das Abwasser wird nicht mechanisch vorgereinigt.

#### Zulauf zum GWK Nordkanal:

Das Abwasser kommt über zwei Druckleitungen am Standort des heutigen GWK Nordkanal an. Nach Durchlaufen eines MID-Schachtes zur Mengenmessung gelangt es über zwei Quelltöpfe in einen Zulaufschacht. Hier erfolgt auch die Zugabe von Fäkal-schlämmen und Sauerkrautlake. Die Sauerkrautlake wird saisonal (etwa im Zeitraum von September bis Dezember) von einem Weißkraut verarbeitenden Betrieb aus der Umgebung angeliefert, da eine Direkteinleitung über das kommunale Kanalnetz genehmigungsrechtlich nicht möglich ist. Die Lake wird in einem Speicherbehälter zwischenspeichert und dosiert dem Kläranlagenzulauf zugegeben.

Ebenfalls in den Zulaufschacht werden die Trübwasser aus der Schlammstapelung und -entwässerung sowie das Schmutzwasser aus den Sozial- und Betriebsgebäuden und der Geländeentwässerung geleitet.

### Mechanische Vorreinigung

Aus dem Zulaufschacht fließt das Abwasser der zweistraßigen Feinrechenanlage zu. Diese besteht aus zwei Filterstufenrechen mit einem Stababstand von 6 mm. Die Räumung der Filterstufenrechen erfolgt über eine Höhenstandsdifferenzmessung. Das Rechengut wird auf einen Querförderer abgeworfen und anschließend in der Rechengutwaschpresse entwässert und in zwei Container abgeworfen. Die Feinrechenanlage kann über einen Notumlauf mit einem Handrechen umfahren werden. Die Abluft wird aus der Rechenhalle abgezogen und einem Biofilter zur Abluftreinigung zugeführt.

Unmittelbar nach dem Rechengebäude vor dem Sandfang befindet sich die offizielle Zulaufprobenahmestelle. Der Sandfang ist als zweistraßiger, belüfteter Langsandfang mit seitlich angeordneter Fettfangtasche ausgeführt. Das Wasser wird nach dem Rechen zunächst in einem Gerinne zusammengeführt und teilt sich dann wieder auf die beiden Sandfangstraßen auf. Am Ende der Sandfänge befindet sich ein freier Überfall. Die Räumung geschieht für beide Sandfangstraßen über eine gemeinsame Räumerbrücke mit jeweils einer Tauchmotorpumpe pro Sandfangkammer. Der Räumer ist Zeit-Pause-gesteuert und läuft ca. 4- bis 5-mal am Tag. Das Fetträumschild wird dabei nur manuell nach Bedarf heruntergefahren. Aktuell wird das Fett zur weiteren Verwertung abgefahren. Es laufen jedoch Projekte, das gesammelte Fett biologisch wieder zu verflüssigen und einer anderen Kläranlage zur Co-Vergärung zuzuführen. Dafür wurde auch schon ein Stich aus der Prozessluftleitung in die Fettfangkammern verlegt.

Das abgezogene Sand-Wasser-Gemisch fließt über eine Rinne zum Sandwaschklassierer und wird anschließend in einen Container abgeworfen. Der Sandwaschklassierer und der Container befinden sich in der Rechenhalle 1 neben den Rechengutwaschpressen der Feinrechen. Die Prozessluft des Sandfanges wird über zwei Gebläse bereitgestellt. Die Gebläse sind direkt angesteuert und laufen abwechselnd jeweils 24 h pro Tag. Der Lufteintrag im Sandfang erfolgt durch Hähne, abgestuft über die Kammerlänge.

Im Anschluss an die Sand- und Fettabseidung folgt die Feinsiebung. Diese besteht aus drei Siebtrommeln, wobei eines als Reserveaggregat dient. Zwei der Siebtrommeln wurden aufgrund von Verzopfungen an den Membranmodulen nachträglich mit Maschensieben einer Maschenweite von 1 mm<sup>2</sup> ausgerüstet. Bei dem Reserveaggregat handelt es sich um ein Spaltsieb mit 1 mm Spaltweite. Die Steuerung der Siebe erfolgt auch hier über eine Höhenstandsdifferenzmessung. Das Reserveaggregat soll nur dann in Betrieb gehen, wenn die anfallenden Wassermengen nicht von den beiden Siebtrommeln bewältigt werden können. Dies ist in letzter Zeit jedoch relativ häufig der Fall, sodass es nicht mehr den eigentlichen Reservezweck erfüllt.

Alle Siebe fördern auf insgesamt zwei Querförderer ab, die das Siebgut in Richtung einer Waschpresse fördern. Diese Siebgutwaschpresse ist allerdings nicht mehr in Betrieb, sondern wird nur noch durchflossen. Das gesamte Siebgut wird in einen Container abgeworfen und dort provisorisch zur Verflüssigung mit Permeat vermischt. Anschließend wird das ganze Gemisch über eine Pumpe dem Schlammstapelbehälter zugeführt. Das System bietet den Vorteil, dass dort der Schlamm wesentlich besser eindickt und zusätzlich Polymer eingespart wird. Das Provisorium soll im kommenden Jahr durch eine feste Installation ersetzt werden.

### Biologische Reinigung und Membranfiltration

Das Abwasser wird über eine Dükerleitung vom Ablauf der Siebanlage einem Verteilerbauwerk zugeführt. Hier wird es über einen Quelltopf mit festen Überfallwehren auf die 4 Belebungsbeckenstraßen aufgeteilt. Die Verteilung des Abwassers auf die einzelnen Belebungsstraßen erfolgt über das interne sogenannte verfahrenstechnische Lastmanagement in Abhängigkeit der Zulaufmenge, der Höhenstände in den einzelnen Becken und ob gerade in dem jeweiligen Becken filtriert wird oder nicht.

Das Gesamtvolumen beträgt 9.200 m<sup>3</sup>. Die vier symmetrischen Beckenstraßen bestehen aus einer Denitrifikationszone, einer Variozone und einer Nitrifikations- bzw. Filtrationszone. Denitrifikations- und Variozone sind mit jeweils einem Rührwerk ausgerüstet. Die Variozone ist zusätzlich mit Membranplattenbelüftern ausgerüstet, wird jedoch ausschließlich als Denitrifikationszone genutzt.

Nach Durchströmen der Deni- und der Variozone gelangt das Abwasser in das Nitrifikations- bzw. Membranfiltrationsbecken. Die Becken sind mit jeweils zwei Membranstraßen, also insgesamt acht Straßen, ausgerüstet. Jede Membranstraße besteht aus 24 Membrankassetten, Typ Zenon ZeeWeed 500C. Jede Kasette ist mit 22 Modulen bestückt. Die gesamte Membranfläche beträgt 84.480 m<sup>2</sup>.

Pro Straße befinden sich zwischen den Kassetten jeder Membranstraße 2 Rührwerke, also pro Becken 4 Stück. Jeweils in der Mitte der Nitrifikations- und Membranbecken befindet sich die Nitrifikationszone mit flächig angeordneten Membranplattenbelüftern. Die Aufteilung der Nitrifikationsluft auf die Becken erfolgt aus einer Sammelleitung über Blendenregulierschieber. Es stehen 5 FU-geregelte Gebläse mit Förderleistungen von 1.360 bis 3.400 m<sup>3</sup>/h zur Verfügung.

Der Filtrationsbetrieb erfolgt belastungsgesteuert, d.h. in Abhängigkeit des Kläranlagenzuflusses. Bei maximalem Zulauf sind alle acht Straßen in Betrieb, bei geringerem Zufluss werden einzelne Straßen intermittierend über den Füllstand im jeweiligen Becken betrieben. Die Auswahl der Straßen erfolgt normalerweise mit dem Ziel, das Belebungsvolumen zu maximieren. Das heißt, dass wenn z. B. fünf Filtrationsstraßen angefordert werden, zunächst in jedem Becken eine Straße anläuft und die fünfte Straße in Abhängigkeit der Betriebszeit jeweils dazugeschaltet wird.

Die Steuerung des Permeatflusses in den Straßen erfolgt über eine Zweipunktregelung, das heißt, dass mit Erreichen eines bestimmten Füllstandes die Filtration zunächst mit niedrigem Fluss, 200 m<sup>3</sup>/h, einsetzt. Mit steigendem Füllstand steigt auch die Fördermenge linear bis zu einer Maximalmenge von 400 m<sup>3</sup>/h an.

Ein Filtrationszyklus dauert 800 s, anschließend wird für 50 s mit Permeat rückgespült. Jede Membranstraße verfügt über eine Permeatleitung und eine Luftleitung für die Crossflow-Belüftung. Jede Kasette besitzt zwei Anschlüsse an die Permeatleitung und einen Anschluss an die Luftleitung. Der Permeatabzug erfolgt in eine Sammelrinne, die auch als Rückspülvorlage dient. Anschließend wird das Permeat zum Vorfluter geleitet.

Während das Permeat am Ende der Straße abgezogen wird, erfolgt die Luftzufuhr in der Mitte jeder Straße, und die Luft wird dann nach rechts und links verteilt. Die Belüftung erfolgt nach dem Air-Cycling-Verfahren, das heißt, dass die Luft abwechselnd für je-

weils 10 Sekunden erst in die eine Hälfte der Straße und dann in die andere Hälfte der Straße verteilt wird. Jeder Straße ist ein direkt angesteuertes Crossflow-Gebläse mit einer Förderleistung von 4.250 Nm<sup>3</sup>/h zugeteilt. Es besteht keine Redundanz, jedoch kann jedes Gebläse auf jede andere Membranstraße geschaltet werden.

Die Aufrechterhaltung der Permeabilität der Membranen wird durch verschiedene Reinigungsschritte gewährleistet. Dies ist zum einen die regelmäßige Rückspülung mit Permeat innerhalb der Filtrationszyklen. Die Rückspülung erfolgt nach 800 s Filtration für 50 s mit einem Rückspülverhältnis von 1,5 zur zuletzt geförderten Filtrationsmenge. Ein weiterer Reinigungsschritt ist die In-Situ-Reinigung. Diese wird nach einer festgelegten Stundenzahl des Filtrationsbetriebes je Straße durchgeführt. Hier werden die Membranen anstatt mit Permeat mit einer sauren (HCl, Zitronensäure oder HCl + Zitronensäure) oder oxidativ wirksamen (NaOH, NaOCl, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaOH + NaOCl, NaOH + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) Reinigungslösung zurückgespült. Dabei werden Filtration und Crossflow-Belüftung abgeschaltet. Es wird 60 s lang mit Reinigungslösung zurückgespült und 300 s pausiert. Dieser Vorgang wird bei der sauren In-Situ-Reinigung 3-mal und bei der oxidativen In-Situ-Reinigung 5-mal wiederholt, und abschließend wird noch einmal 300 s lang rückgespült. Danach kann der normale Filtrationsbetrieb wieder aufgenommen werden. In regelmäßigen Abständen erfolgt eine In-Situ-Reinigung über Nacht. Hier erfolgen pro Becken für beide Straßen saure und oxidative In-Situ-Reinigung automatisiert hintereinander. Das heißt, es wird zunächst für eine Membranstraße und anschließend für die zweite Straße über einen Zeitraum von je 40 min eine oxidative Reinigung durchgeführt. Anschließend werden die Rührwerke für 5 min in Betrieb genommen, gefolgt von je einer sauren In-Situ-Reinigung von 25 min pro Straße.

Neben der In-Situ-Reinigung ist die sogenannte On-Air-Reinigung der Membranmodule möglich. Dafür wird ein Becken entleert, und dann werden die Membranen mit Permeat rückgespült, um sie vor Austrocknung zu schützen. Anschließend erfolgt ein Reinigungsprogramm den Teilschritten „saure Reinigung“ und „oxidative Reinigung“ für jede Straße sowie „Neutralisation“.

Eine chemische Intensiv-Reinigung der Membranen erfolgt extern in zwei Reinigungsbecken. Die Reinigungsflüssigkeit wird in zwei Vorlagebehältern dosiert und entweder über Heizelemente oder über einen Wärmetauscher auf ca. 30°C aufgeheizt und dann in die Reinigungsbecken gepumpt. Die zu reinigenden Membranen werden in die Reinigungsbecken gehängt und verbleiben etwa 24 h in der Reinigungsflüssigkeit (HCl, Zitronensäure oder HCl + Zitronensäure bzw. NaOH, NaOCl, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, NaOH + NaOCl, oder NaOH + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Diese Intensivreinigung wird zurzeit einmal im Jahr durchgeführt.

### Schlammbehandlung

Der Überschussschlammabzug aus den Belebungsbecken erfolgt über eine Zeitautomatik und in Abhängigkeit des TS-Gehaltes. Es wird pro Tag eine vorgegebene Schlammmenge in einer bestimmten Anzahl an Intervallen abgezogen. Dabei wird der Schlamm aus jedem Becken abwechselnd abgezogen. Wird der minimale TS-Gehalt von 10 g/l in einem Becken unterschritten, wird der Schlammabzug aus diesem Becken gestoppt und in dem nächsten Becken gestartet.

Der Schlamm wird zunächst auf drei Stapelbehälter gefördert. Pro Tag wird ein Stapelbehälter gefüllt. Am nächsten Tag wird das Trübwasser dort abgezogen und in einen

Trübwasserbehälter gepumpt. Sowohl die Stapelbehälter als auch der Trübwasserbehälter sind abgedeckt ausgeführt. Am folgenden Tag wird der eingedickte Schlamm zur Entwässerung mittels Hochleistungszentrifuge gepumpt. Zur Optimierung der Entwässerung wird der Schlamm mit Polymeren konditioniert. Momentan werden Versuche mit verschiedenen Polymeren gefahren. Im Betrachtungszeitraum 2007 war nur ein einziges Polymer im Einsatz.

Der entwässerte Schlamm wird über einen Spiralförderer auf insgesamt vier bereitstehende Rollcontainer abgeworfen und zur Verbrennungsanlage abtransportiert.

Das Trübwasser aus dem Trübwasserbehälter wird über 3 Tauchmotorpumpen in den Zulaufschacht gepumpt und dem Kläranlagenzulauf zugegeben.

### Abluftbehandlung

Die Abluft wird aus den Rechenhäusern 1 (Feinrechen) und 2 (Feinsieb), dem Membranfiltrationsgebäude, der Polymeransatzstation und dem Gebäude der maschinellen Schlamm entwässerung abgezogen und über einen Biofilter behandelt. Zur Abluftförderung steht ein Abluftgebläse unmittelbar vor dem Biofilter bereit. Es war 2007 nahezu 24 h am Tag in Betrieb.

### Heizung

Das Betriebsgebäude ist mit einer zentralen Ölheizung ausgestattet. In dem Rechenhaus 1, der Polymeransatzstation sowie in der Zentrifugenhalle befinden sich Heizregister als Frostwächter.

### Betriebswasser

Das Betriebswasser wird dem Kläranlagenablauf entnommen. Es stehen zwei Brauchwasseraufbereitungsstationen zur Verfügung.

### Trinkwasser

Das Trinkwasser wird aus einem Brunnen mit zwei Pumpen gewonnen und dann über eine Entmanganung, Enteisenung und UV-Bestrahlung aufbereitet.

### Sonstiges

Es steht ein Dieselaggregat mit einer Leistung von 820 kW bzw. 1820 KVA als Notstromersatzaggregat zur Verfügung.

## **2.2.4 Überblick**

In Abbildung 2.3 sind die allgemeinen Objektdaten des GWK Nordkanal zusammengefasst:

<b>Objektdaten</b>		
Objekt	<b>Gruppenklärwerk Nordkanal</b>	
Standort / Adresse	<b>Schiefbahner Str. 66, 41564 Kaarst</b>	
Baujahr	2004	
Ausbau / Erweiterung realisiert		
geplante Energiespar- maßnahmen		
Kontaktpersonen Kläranlage	Herr Janot	Tel.: 02271 88 - 1181

**Abbildung 2.3: Allgemeine Klärwerksdaten**

In der nachfolgenden Abbildung 2.4 sind die wichtigsten Anlagendaten zusammengestellt. Neben den Daten zu Betrachtungszeitraum, Einwohnerwerten und Verfahrensart sind dort auch Angaben zu Schlammfall und Energieverbrauch aufgeführt. Diese Angaben bilden die Grundlage für die weitere Energieanalyse.

Anmerkung: Für die erforderliche Angabe der Höhendifferenz aller Pumpwerke wurde ein Wert von 3 m angegeben. Diese Angabe entspricht nicht den Gegebenheiten vor Ort, da 80 % des Abwassers über 2,5 km vom alten Standort zum Klärwerk gepumpt werden. Diese Situation stellt insbesondere im Hinblick auf die Vergleichbarkeit mit anderen Membrananlagen und der Modellanlage einen Sonderfall dar. Da das Pumpwerk „Am Bauhof“ über einen eigenen Stromzähler verfügt, werden die Aggregate und der zugehörige Energieverbrauch der Vollständigkeit halber in die Verbraucherliste mit aufgenommen, bei der energetischen Beurteilung des Klärwerks jedoch gesondert betrachtet. Aus diesem Grund werden als Höhendifferenz hier nur 3 m angegeben, was in etwa der Höhe vom Zulaufschacht bis zum Einlauf des Rechens entspricht.

Auf welchen Grundlagen und Annahmen die weiteren Zahlenwerte basieren und wie sie errechnet wurden, wird im weiteren Verlauf dieses Kapitels genauer erläutert.

<b>Anlagendaten</b>		
Betriebsjahr	2007	
Einwohnerwert Ausbau (85%-Wert)	80.000	[EW]
BSB5 (aktuelle Frachtbelastung Zulauf KA)	1.439	[t/a]
Einwohnerwert aktuell Zulauf KA (60 g BSB5/EW*d)	65.700	[EW BSB]
Angeschlossene Einwohner	57.000	[Einw.]
C-Abbau (Schlammalter ca. 5 Tage)	Nein	
Nitrifikation (Schlammalter ca. 13 Tage)	Ja	
Nitrifikation (Schlammalter > 25 Tage)	Nein	
Filtration	Ja	
Hebwerke (Höhendifferenz aller Einlauf- und Zwischenhebwerke exkl. Filtration)	3	[m]
Abwasseranfall	5.519.586	[m <sup>3</sup> /a]
Rohschlammanfall	124.464	[m <sup>3</sup> /a]
Trockensubstanz im Rohschlamm	1.494	[t TR/a]
Organischer Anteil Schlammeintrag in Faulung	821	[t oTR/a]
Faulgasanfall gesamt [Normkubikmeter]	0	[Nm <sup>3</sup> /a]
Faulgasnutzung Kessel	0	[Nm <sup>3</sup> /a]
Faulgasnutzung BHKW	0	[Nm <sup>3</sup> /a]
Faulgasverkauf	0	[Nm <sup>3</sup> /a]
Abfackelung Faulgas	0	[Nm <sup>3</sup> /a]
Wärmeprod. intern genutzt (Kessel, BHKW)	0	[MWh/a]
Einkauf Wärme-Energie (z.B. Heizöl)	60	[MWh/a]
Endenergieverbrauch Wärme gesamt	60	[MWh/a]
Elektrizitätsproduktion intern (BHKW)	0	[MWh/a]
Einkauf Elektrizität (Netz EVU)	5.506	[MWh/a]
Elektrizitätsverbrauch Belebung	1.253	[MWh/a]
Endenergieverbrauch Elektrizität gesamt	5.506	[MWh/a]

Die Angabe der BSB5-Frachtbelastung im Zulauf erfolgt durch Rückrechnung aus den, zuvor auf Basis der CSB- und N-Frachten ermittelten, Einwohnerwerten mit einer einwohnerspezifischen Belastung von 60 g/(EW·d) (s. 2.2.2)

Der Einkauf Elektrizität setzt sich aus dem Strombezug für die Kläranlage, für das Pumpwerk und den Strom, der aus Diesel gewonnen wurde zusammen.

#### **Abbildung 2.4: Anlagendaten**

## **2.3 Datenerhebung**

### **2.3.1 Elektrische Verbraucher**

Die Kläranlage Nordkanal weist laut EVU-Abrechnungen einen Elektrizitätsbezug von 4.988.222 kWh/a, das zugehörige Pumpwerk „Am Bauhof“ einen Bezug von 499.348 kWh/a auf. Durch das Messprogramm vor Ort, die Daten aus dem Prozessleitsystem und die zugehörigen Berechnungen wurde ein Energiebedarf von 4.594.678 kWh/a für die Kläranlage und 472.247 kWh/a für das Pumpwerk ermittelt. Die Differenz zwischen Energiebezug und der berechneten Summe liegt bei der Kläran-

lage bei -403.544 kWh/a und somit bei -8,1 %, beim Pumpwerk bei -27.100 kWh/a und somit bei -5,4 % des jeweiligen Gesamtstrombedarfs. In den folgenden Abschnitten wird die Vorgehensweise zur Aufnahme und Ermittlung des Energiebedarfs der einzelnen Aggregate bzw. Aggregategruppen näher erläutert.

Vorgehensweise:

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 unter Anhang 2 einzusehenden Verbraucherliste.

Nr.	Kennung	Aggregatsangaben	Baujahr	Verteilung	Verbrauch gemäß MUNLV				Daten aus Betrachtungszeitraum 2007			Leistungsberechnung			Berechnung der elektrischen Arbeit aus Leistungsaufnahme und Betriebsstunden [kWh/a]	Anmerkungen	
					Nennleistung [kW]	cos phi	Strom [A]	Spannung [V]	Antriebsart	Summe Betriebsstunden [h]	Tagesmittel Betriebsstunden-zähler [h/d]	Strom aus Messungen [kWh]	durchschnittl. Leistungsaufnahme errechnet aus Tagesprofil [kW]	Leistungs-aufnahme errechnet aus Messungen [kW]			maßgebende Leistungsaufnahme [kW]
6.		Biolog. Stufe / Belebung													1.253.463,01		
6.3	06.03.AN.34.001	Gebäude 1 Belebung	2004	UV2.1	90	0,88	148	400	FU	2.017	5,53	89,1	63,16	58,64	58,64	118.284,50	Durchschnitt 62,9%; 25-50Hz; Logger
6.1	06.03.AN.34.002	Gebäude 2 Belebung	2004	UV2.1	90	0,88	148	400	FU	2.125	5,82	87,7	63,16	57,72	57,72	122.656,94	Durchschnitt 62,5%; 25-50Hz
6.1	06.03.AN.34.003	Gebäude 3 Belebung	2004	UV2.1	90	0,88	148	400	FU	2.125	5,82	87,1	63,16	57,33	57,33	121.820,76	Durchschnitt 62,2%; 25-50Hz
6.1	06.03.AN.34.004	Gebäude 4 Belebung	2004	UV2.2	90	0,88	148	400	FU	2.126	5,82	84,6	63,16	55,68	55,68	118.379,87	Durchschnitt 60,7%; 25-50Hz
6.1	06.03.AN.34.005	Gebäude 5 Belebung	2004	UV2.2	90	0,88	148	400	FU	2.126	5,82	87,8	63,16	57,79	57,79	122.857,59	Durchschnitt 62,4%; 25-50Hz
6.2	06.03.AM.27.201	Rührwerk 1 Straße 3 Nitrifikation (BB2)	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	29.931,83	
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 2.5: Beispielhafte Darstellung der Verbraucherliste**

Im Einzelnen werden aus den zur Verfügung gestellten Informationen folgende Daten zur Aufstellung der Verbraucherlisten benutzt:

- Nennleistung  $P_N$
- $\cos \phi$
- Nennstrom  $I_N$
- Spannung
- Antriebsart (direkt, polumschaltbar- oder FU-geregelt)

Bei den Motordaten wird die an der Welle zur Verfügung stehende Leistung bei Nennbetrieb als Nennleistung  $P_N$  angegeben. Der angegebene Strom  $I_N$  bezieht sich auf die Stromaufnahme des Motors bei Nennbetrieb. Für die Energieverbrauchsermittlung ist die aufgenommene Leistung auf Basis des Motorstromes und des Leistungsfaktors entscheidend. Aus dem Verhältnis der aufgenommenen und abgegebenen Leistungen bei Nennbetrieb kann der Wirkungsgrad des Motors berechnet werden, der in der Regel nicht auf den Typenschildern angegeben wird.

Der Leistungsfaktor  $\cos \phi$  wurde anhand von Literaturwerten (ROT gekennzeichnet) festgelegt. Mit Hilfe dieses Faktors kann aus einer Strommessung  $I_{MESS}$  ein Leistungsbezug  $P_{MESS}$  gemäß der Formel:

$$P_{MESS} = U \cdot I_{MESS} \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{3}$$

**Gleichung 2.1**

berechnet werden. Dabei wird die Spannung  $U$  mit 400 V festgelegt. Das Ergebnis dieser Berechnungen wird in der Spalte „Leistungsaufnahme errechnet aus Messungen“ aufgelistet. In der Verbraucherliste „Ist-Zustand“ GRÜN gekennzeichnete Messwerte wurden durch Leistungsmessungen und Stützpunkttabellen unter Benutzung von Daten aus dem Prozessleitsystem hergeleitet.

Zusätzlich wird, anhand von Erfahrungswerten, ein durchschnittlicher Leistungsbezug gemäß

$$P_{\emptyset} = U \cdot I_N \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3} \cdot \eta \quad \text{Gleichung 2.2}$$

ermittelt. Dieser Wert wird für weitere Berechnungen benutzt, wenn keine Messung oder Berechnung des betreffenden Aggregates möglich ist. Dazu werden die Nennangaben des jeweiligen Aggregates benutzt. Der Faktor  $\eta$  (= 0,7) stellt dabei den stochastischen Mittelwert der prozentualen Auslastung in Bezug auf den Nennbetrieb des Aggregates dar. Dieser Mittelwert wurde auf Basis des mittlerweile sehr umfangreichen Datenmaterials, aus bereits auf anderen Kläranlagen durchgeführten Energieanalysen, zu 70 % der Nennlast festgelegt. Das Ergebnis dieses 70 %-Mittelwertes wird in der Spalte „durchschnittliche Leistungsaufnahme errechnet aus Typenschild“ aufgelistet.

In der Spalte „maßgebende Leistungsaufnahme“ wird abschließend die ermittelte Leistung  $P_{\text{MESS}}$  oder, falls diese nicht ermittelt werden kann, die Durchschnittsleistung  $P_{\emptyset}$  für weitere Berechnungen verwendet.

In der Anlage 1 und der Anlage 2 sind die vollständigen Verbraucherlisten der Kläranlage Nordkanal zusammengestellt. Hier wurden hauptsächlich die Verbraucher, die eine Leistungsaufnahme größer 0,5 kW aufweisen, berücksichtigt. In den Bemerkungen/Zusatzangaben sind prozess- bzw. apparatetechnische Zusatzinformationen aufgeführt, die eine Beurteilung der Aggregate erleichtern sollen. Auch werden hier Angaben gemacht, wo und in welchem Umfang Annahmen getroffen werden mussten.

#### Ermittlung der Betriebsstunden:

Auf der Kläranlage werden die Betriebsstunden der meisten Aggregate über die Automatisierung in das Prozessleitsystem übertragen. Für Aggregate, deren Betriebsstunden nicht protokolliert werden, mussten die Laufzeiten in enger Abstimmung mit dem Betriebspersonal, teilweise auf Basis von bekannten Durchflussmengen, abgeschätzt werden. Diese abgeschätzten Betriebsstunden (ebenso wie andere Schätzwerte) sind in der Verbraucherliste „Ist-Zustand“ ROT dargestellt. Mit den Betriebsstunden und der Leistungsaufnahme ( $P_{\text{MESS}}$  oder  $P_{\emptyset}$ ) wird der tägliche und jährliche Energiebedarf der Verbraucher berechnet.

Je nach Betriebsweise des Aggregates und in Abhängigkeit der vorliegenden Datenbasis wurden unterschiedliche Vorgehensweisen angewandt, die nachfolgend erläutert werden.

#### Beschreibung des Messprogramms:

Zur Erfassung des elektrischen Verbrauches der Aggregate wurden seitens ITS manuelle Strom- und Leistungsmessungen unter Mitwirkung des Betriebspersonals durchge-

führt. Die manuellen Messungen hatten zum Ziel, die Leistungsangaben der Aggregat-hersteller im Betrieb zu überprüfen, da die Aggregate im Normalfall nicht mit der Nennleistung betrieben werden. Zu diesem Zweck wurden die Aggregate mittels Zangenamperemeter oder Leistungsmessgerät (Strom-, Spannungs- und  $\cos \varphi$ -Messung) unter betrieblichen Bedingungen manuell nachgemessen.

#### Ermittlung der Daten für direkt angetriebene Aggregate mit festem Betriebspunkt:

Der Leistungsbezug von unregulierten Aggregaten mit einem festen Betriebspunkt, wie zum Beispiel Rührwerken, kann mit einer einmaligen Messung genau ermittelt werden. Auch Tauchmotorpumpen mit einer festen Förderhöhe werden auf diese Art berechnet.

#### Ermittlung der Daten für frequenzgeregelte Aggregate (und Aggregate mit instationärem Betriebspunkt):

Bei frequenzgeregelten Aggregaten ist die Leistungsermittlung anhand eines Betriebspunktes nicht zulässig, da der Leistungsbezug stark von der Frequenz, mit der das Aggregat angesteuert wird, abhängt. Aus diesem Grund ist die Leistungsermittlung für mehrere Frequenzen vorzunehmen, und der Gesamtverbrauch ist aus diesen Leistungswerten und den jeweils zugehörigen Laufzeiten zu ermitteln. Alternativ kann ein Durchschnittsbezug über einen charakteristischen Zeitraum aufgezeichnet und für den gesamten Betrachtungszeitraum hochgerechnet werden.

Die Auswertung der Leistungsaufnahme nachstehender Aggregate

- Pumpwerk Korschenbroich
- Pumpwerk alter Standort
- Rezirkulationspumpen
- Gebläse
- Permeatpumpen

wurde anhand der Prozessleitsystemaufzeichnungen durchgeführt. Für diese Aggregate werden die Drehzahlen im Prozessleitsystem indirekt über Prozente des Regelbereiches des jeweiligen Aggregates protokolliert. So entspricht der Aufzeichnungsbereich von 0-100 % der Rezirkulationspumpen einem Regelbereich von 25-50 Hz, bei den Zulaufpumpen des alten Standortes entspricht dieser dem Regelbereich von 23-50 Hz. Die protokollierten Daten werden im 30-Sekunden-Raster abgelegt, sodass für jedes dieser Aggregate jeweils 1.051.200 Einzelwerte in einem Datensatz abgelegt werden.

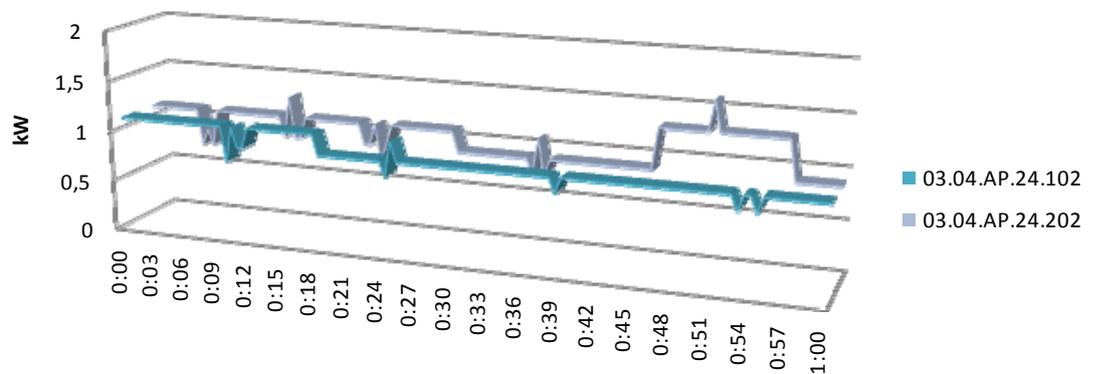
Um mit diesen Prozentwerten rechnen zu können, wurden, in Zusammenarbeit mit dem Betriebspersonal, Messungen bei verschiedenen Drehzahlen für diese Aggregate durchgeführt. Diese Messungen werden den Aufzeichnungen gegenübergestellt, sodass sich Stützpunkttabellen ergeben (s. Tabelle 2.7 für die Rezirkulationspumpen 1 und 2 in der Straße 1 der Membranbelebung und die Zulaufpumpen am alten Standort). Anhand solcher Stützpunkttabellen werden die aufgezeichneten Werte in Leistungsdaten umgerechnet (beispielhaft s. Abbildung 2.6 - Abbildung 2.9). Auf Basis dieser Leistungsda-

ten wird über die Summe der einzelnen Leistungen die Energieaufnahme des Betrachtungszeitraumes ermittelt. Diese Energieaufnahme wird in der Verbraucherliste über einen durchschnittlichen Leistungsbezug und die protokollierte Laufzeit dargestellt.

**Tabelle 2.7: Stützpunkttabellen beispielhaft für die Rezirkulationspumpen 1 und 2 der Belebungsstufe Straße 1 und die Zulaufpumpen 2-5 am alten Standort**

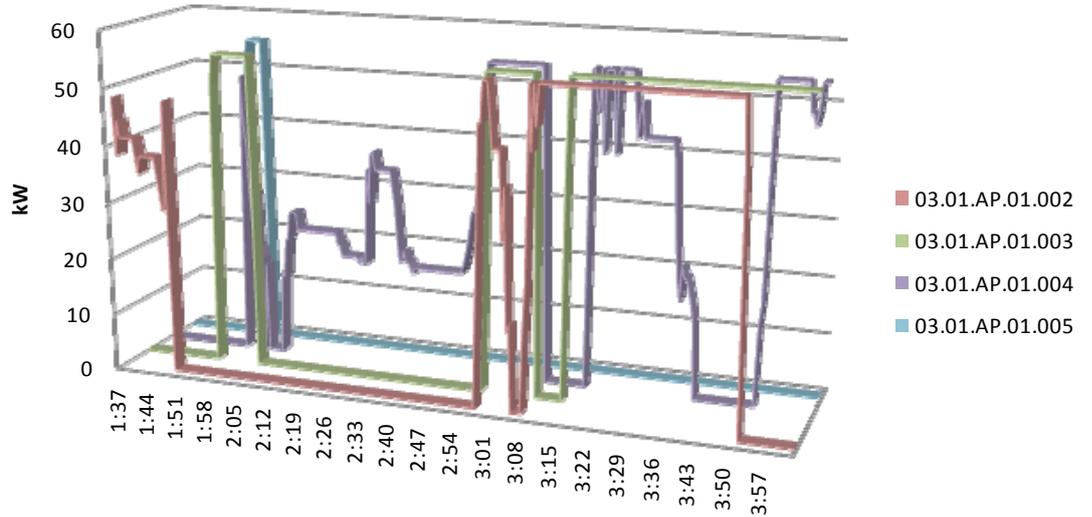
alter Standort			Rezirkulationspumpen	
%	Hz	kW	%	kW
0	0	0	0	0,53
33,0	32	14	10	0,65
37,0	33	15	20	0,75
40,0	34	16	40	0,90
44,0	35	17	60	1,10
48,0	36	18	80	1,30
51,0	37	19	100	1,60
55,0	38	21		
59,0	39	23		
62,0	40	26		
66,0	41	29		
74,0	43	32		
77,0	44	35		
81,0	45	38		
85,0	46	41		
88,0	47	44		
92,0	48	48		
96,0	49	50		
99,0	50	55		

**Rezirkulationspumpen**



**Abbildung 2.6: Leistungsaufnahme Rezirkulationspumpen (1.1.2007)**

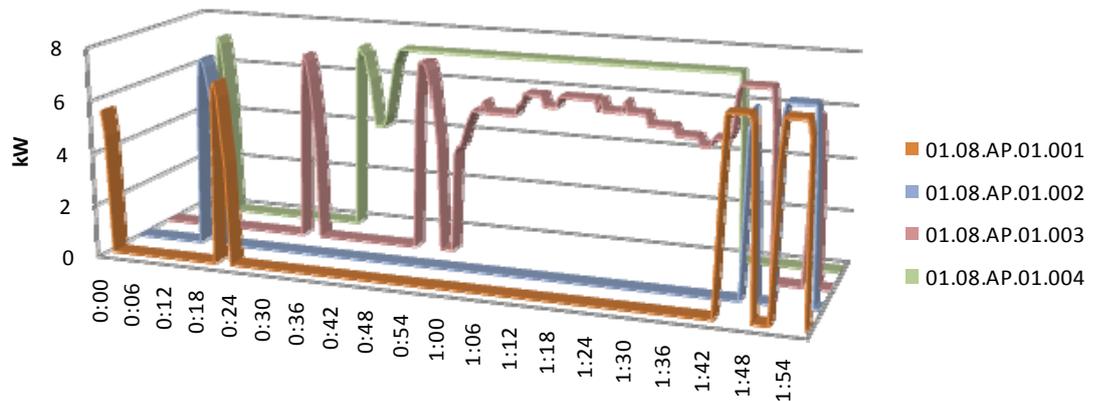
**Zulaufpumpwerk alter Standort**



**Abbildung 2.7: Leistungsaufnahme der Zulaufpumpen 2-5 am alten Standort (1.1.2007)**

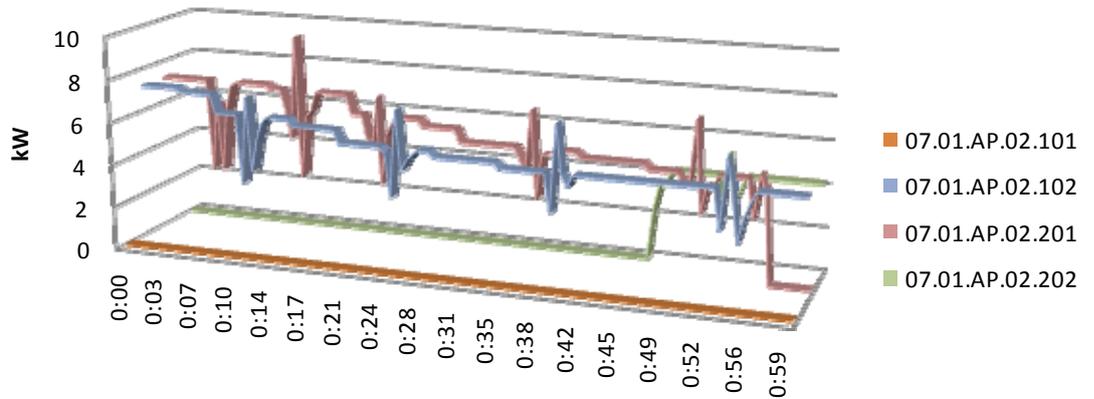
Die insgesamt resultierende Leistungsaufnahme des Zulaufpumpwerkes wurde aus den zur Verfügung gestellten 15-Minuten Mittelwerten des Energieversorgers ermittelt.

**Pumpwerk Korschenbroich**



**Abbildung 2.8: Leistungsaufnahme des Pumpwerkes Korschenbroich (1.1.2007)**

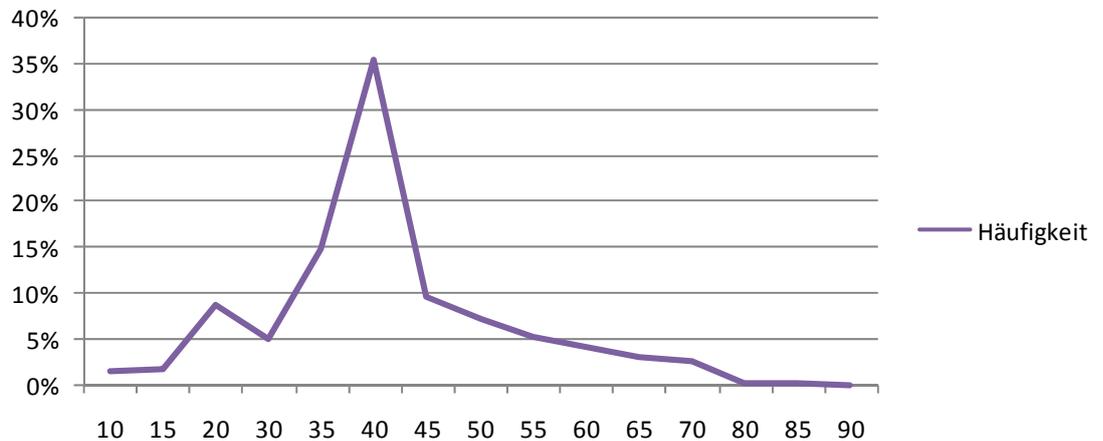
**Permeatpumpen**



**Abbildung 2.9: Leistungsaufnahme der Permeatabzugspumpen der Straßen 1 und 2 (1.1.2007)**

Für die Permeatabzugspumpen, die im Frequenzbereich von 30-63 Hz betrieben werden, wurde auch die Häufigkeitsverteilung ermittelt.

**Permeatpumpen: Ausnutzung des Regelbereiches 0- 100% (30-63Hz)**

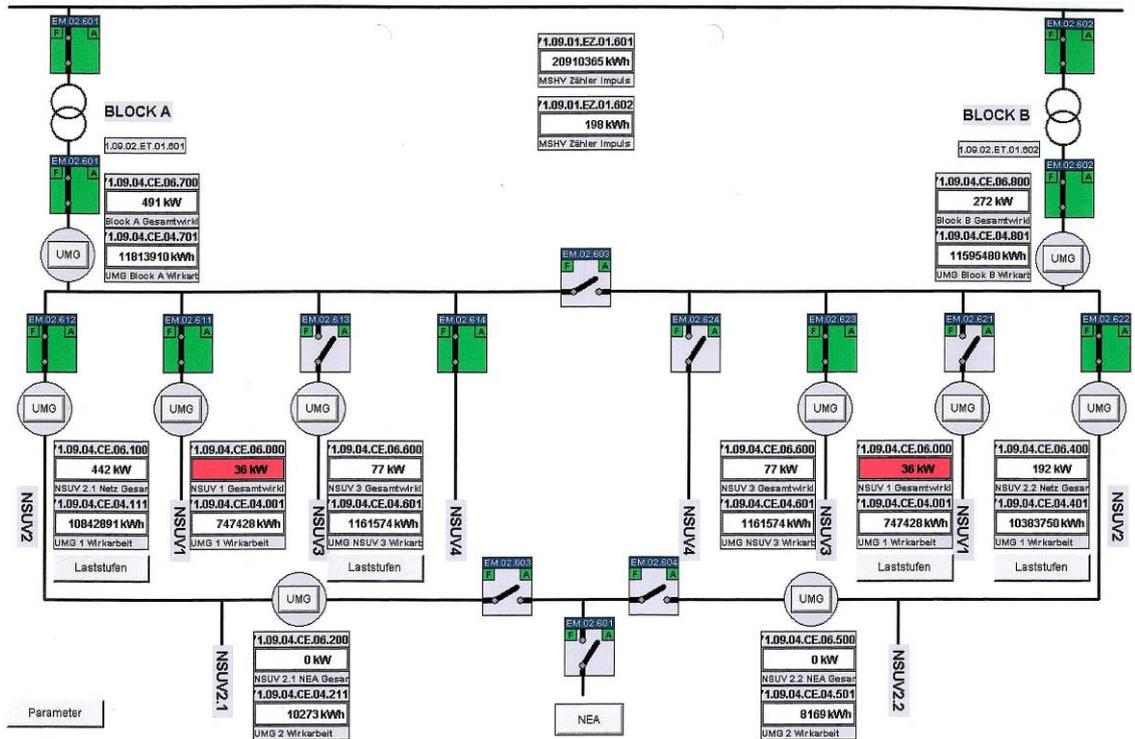


**Abbildung 2.10: Verteilungskurve des Regelbereiches der Permeatabzugspumpen**

Da die Permeatpumpen vom Betriebspersonal nicht manuell auf feste Werte eingestellt werden können, musste zur Ermittlung der Stützpunkttabelle ein Datenlogger eingesetzt werden. Mit Hilfe der Aufzeichnung im Zeitraum vom 25.09.08 bis 30.09.08, wurden Energiedaten ermittelt, die den Aufzeichnungen des Prozessleitsystems gegenübergestellt werden konnten. Durch den Vergleich der Aufzeichnungen wurden die Stützpunkte zur Umrechnung von %-Angaben des Prozessleitsystems in kW-Angaben nach dem gleichen Muster der anderen geregelten Aggregate ermittelt. Die Darstellung in obiger

Abbildung zeigt, dass die Permeatpumpen vorwiegend bei ca. 40 %, das entspricht ca. 43 Hz, betrieben werden.

Sicherlich kann das hier durchgeführte Messprogramm nur einen Ausschnitt zeigen; es ist jedoch durchaus geeignet, eine zeitgleiche Gegenüberstellung der Einzelverbraucher zu ermöglichen. Verschiebungen der prozentualen Leistungsaufnahmen vom Sommer zum Winterbetrieb und umgekehrt sind zu erwarten und sollten gegebenenfalls überprüft werden.



**Abbildung 2.11: Energieverteilungsanzeige im Prozessleitsystem**

Um bei einer Anlage dieser Größe, mit einer Vielzahl von Aggregaten, die Plausibilität der Annahmen und Messungen zu überprüfen, wurden die ermittelten Verbrauchswerte mit den Verbrauchswerten der protokollierten Unterzählungen verglichen.

**Tabelle 2.8: Vergleich der ermittelten Verbrauchswerte mit den Unterzählungen**

<u>Summen Verteilungen</u> <u>aus MUNLV-Liste</u>		Referenz aus PLS	Abweichung
UV1	142.070	164.792	-13,8%
UV2.1	2.092.115	2.131.026	-1,8%
UV2.2	2.116.764	2.344.133	-9,7%
UV3	243.729	230.659	5,7%
alter Standort UV9	472.247	499.348	-5,4%
Summe	5.066.925	5.369.958	-5,6%

Zu diesem Zweck werden die Aggregate in der Verbraucherliste mit der jeweiligen Messung, auf der die jeweilige Zählung stattfindet, gekennzeichnet. Anhand dieser Kennzeichnung erfolgt eine verbrauchsgruppenzugehörige Summierung der Verbrauchsdaten. In obiger Tabelle sind die Gruppen und die zugehörigen Messungen aufgelistet. Darauf folgend sind die Summen der auf diese Gruppen aufgelegten Aggregate aufgelistet und den gemessenen Verbräuchen gegenübergestellt.

Die Energiedaten der Verteilungen UV1, UV2.1, UV2.2 und UV3 sowie die Erzeugung durch die Netzersatzanlage und die Abgänge der Transformatoren werden durch Multifunktionsmessgeräte erfasst und an das Prozessleitsystem übertragen (siehe Abbildung 2.11). Die Protokollierung erfolgt analog zu den analogen Daten der Verbraucher. Es stehen somit Energiedaten dieser Verteilungen im 30-Sekunden-Raster zur Verfügung und können mit den berechneten Werten der angeschlossenen Verbraucher verglichen werden.

Zusammengefasst ist festzustellen, dass Abweichungen in allen Verfahrensstufen zwischen den ermittelten Verbrauchsdaten und den zugehörigen Untermessungen vorliegen. Die prinzipielle Korrektheit der aufgeführten Untermessungen wurde mittels Kontrollmessung im Schaltschrank verifiziert. Außerdem ist festzustellen, dass die Summe der protokollierten Verbrauchsdaten der vier Verteilungen UV1, UV2.1, UV2.2 und UV3 mit ca. 4.870.610 kWh nur um -2,5 % unter dem EVU-Bezug von 4.988.222 kWh liegt. (Die Eigenerzeugung durch das Netzersatzaggregat belief sich im Betrachtungszeitraum auf 8.749 kWh und ist bei der prozentualen Abweichung vernachlässigbar). Die Summe der beiden Transformatorabgänge liegt mit 4.911.768 kWh sogar nur -1,7 % unter dem EVU-Bezug. Die Abweichung der niederspannungsseitigen Messungen gegenüber der EVU-Rechnung lassen sich aus den Transformatorverlusten begründen. Damit ist die Bilanzierung der Untermessungen als schlüssig zu betrachten.

**2.3.2 Wärmeverbraucher**

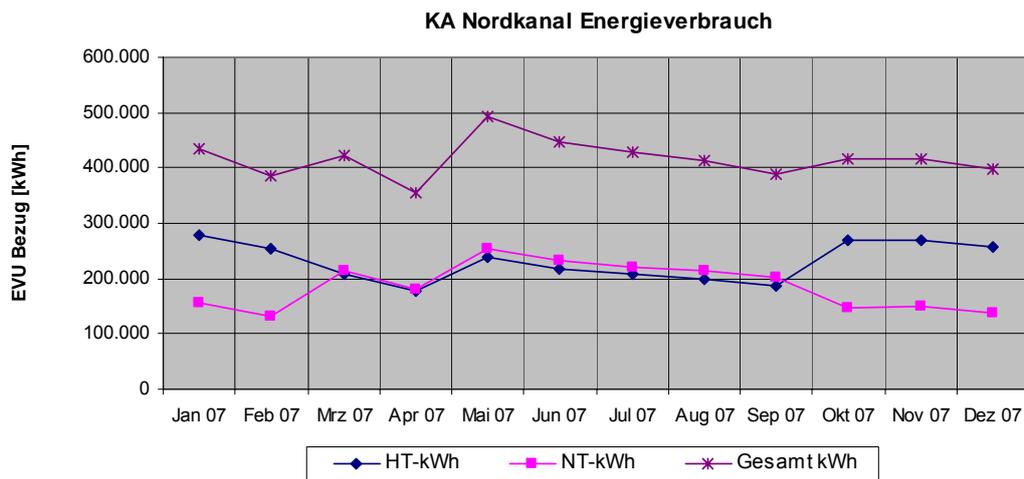
Da auf dem GWK Nordkanal aerobe Schlammstabilisierung stattfindet, steht zur Bereitstellung der benötigten Wärmeenergie kein Faulgas zur Verfügung. Der Wärmebedarf wird komplett über Heizöl und Elektroheizungen gedeckt.

Aufgrund der fehlenden Schlammbehandlung beschränkt sich der Wärmebedarf auf die Beheizung verschiedener Gebäude und die Warmwasseraufbereitung. Dabei wird das Betriebsgebäude über eine zentrale Ölheizung geheizt. Das Rechenhaus 1, die Polymeransatzstation sowie die Zentrifugenhalle werden mit Heizregistern beheizt.

**2.4 Energieverbrauch und Energiekosten**

Elektrische Energie:

Wie bereits erläutert, beträgt der Gesamtstrombezug der Kläranlage im Jahr 2007 laut Rechnung des EVU 4.988.222 kWh für die Kläranlage und 499.348 kWh für das Pumpwerk „Am Bauhof“. Den monatlichen Strombezug zeigt die Abbildung 2.12.



**Abbildung 2.12: Monatlicher Strombezug des GWK Nordkanal**

Im Jahr 2007 betragen die Kosten für die vom EVU bezogene Energie 526.216 € für die Kläranlage. Daraus errechnet sich ein spezifischer Mischpreis von 10,5 Cent/kWh.

Thermische Energie

Die Bilanzierung des Wärmeverbrauchs erfolgt auf Basis des Heizölverbrauchs. Laut der Zusammenstellung der Ölrechnung für das Jahr 2007 wurden insgesamt 6.020 l Heizöl bezogen. Die erste Lieferung erfolgte im Januar, die zweite Lieferung im September 2009. Die nächste Lieferung folgte Mitte Januar 2008, sodass man davon ausgehen kann, dass die im Jahr 2007 bezogene Menge auch der tatsächlich verbrauchten Menge im Jahr 2007 entspricht. Bei einem Heizwert von Heizöl von 9.96 kWh/l ergibt sich ein Heizenergiebedarf von 59.959 kWh/a. Dadurch entstanden Kosten von 3.249 €. Dies entspricht einem spezifischen Wärmebezugspreis von 5,4 Cent/kWh.

Alle Daten über den Energiebezug und die daraus resultierenden Kosten sind in den nachfolgenden Abbildungen noch einmal aufgeführt.

<b>Energieverbrauch</b>	Eigenproduktion	Einkauf	Gesamt
Elektrizität	0 MWh/a	4.998 MWh/a	4.998 MWh/a
Wärme	0 MWh/a	60 MWh/a	60 MWh/a
<b>Endenergieverbrauch gesamt</b>	<b>0 MWh/a</b>	<b>5.058 MWh/a</b>	<b>5.058 MWh/a</b>

**Abbildung 2.13: Energieverbrauch des GWK Nordkanal im Jahr 2007**

<b>Energieverbrauchs-kosten</b>	effektive Energiepreise	Energieverbrauchs-kosten	Anteil
Elektrizität (inkl. Leistung etc.)	10,5 Cent/kWh	579.709 €/a	99%
Wärme	5,4 Cent/kWh	3.249 €/a	1%
<b>Endenergiekosten gesamt</b>		<b>582.958 €/a</b>	<b>100%</b>

Da für das PW „Am Bauhof“ keine EVU-Rechnung vorlag, wurden die Energieverbrauchs-kosten Elektrizität aus der Stromrechnung für das GWK auf den Gesamtenergiebezug hochgerechnet.

**Abbildung 2.14: Energieverbrauchs-kosten des GWK Nordkanal im Jahr 2007**

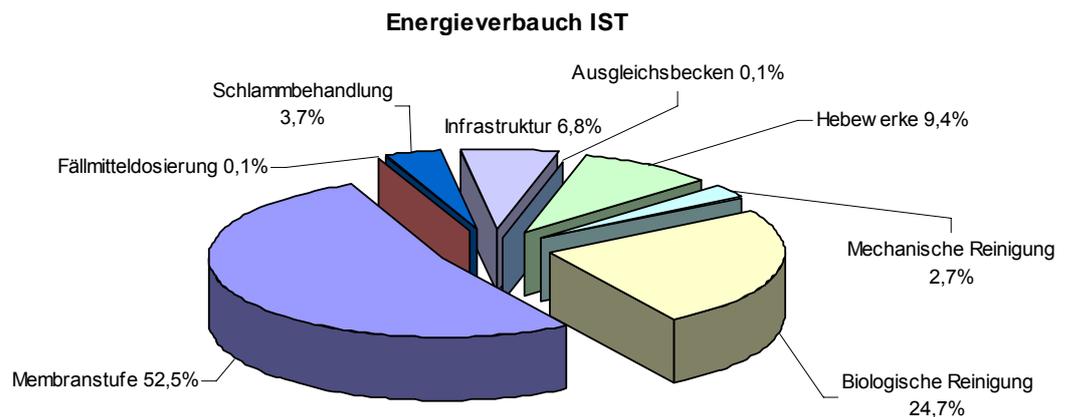
## 2.5 Energieverbraucher-matrix

Die Erfassung des Stromverbrauchs des GWK Nordkanal wurde oben bereits erläutert. Im Betrachtungszeitraum 2007 wurden insgesamt 5.497.570 kWh elektrischer Energie vom EVU bezogen. Zusätzlich wurden 8.749 kWh aus Diesel erzeugt.

Zur Beurteilung des Ist-Zustandes und zum Lokalisieren von Einsparpotenzialen wurde zunächst untersucht, wie sich der Energiebedarf auf die einzelnen Verfahrens-stufen und Verbrauchergruppen aufteilt. Die Aufteilung wird im Folgenden grafisch dargestellt und kommentiert. Der Rechengang und der Energieverbrauch jedes Verbrauchers sind der Anlage 1 und der Anlage 2 zu entnehmen. Die Bewertung des Stromverbrauchs der einzelnen Aggregate oder Aggregategruppen erfolgt im Kapitel 2.6.

Abbildung 2.15 zeigt in der Gesamtübersicht die Aufteilung der im Jahr 2007 benötigten elektrischen Energie auf die einzelnen Verfahrens-stufen. Erwartungsgemäß beansprucht die Membranstufe mit 52,5 % den größten Anteil des Elektrizitätsverbrauchs. Dies entspricht 2.658.611 kWh. Die Verfahrens-stufe mit dem zweitgrößten Energiebe-

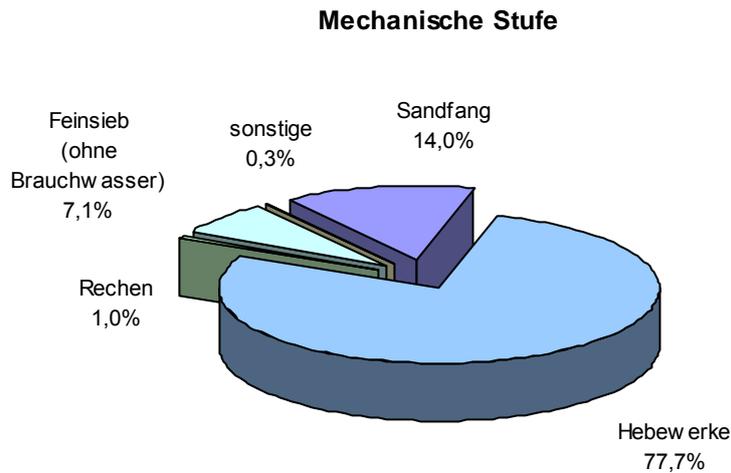
darf ist die biologische Reinigung mit 24,7 % des Gesamtbedarfs. Sie benötigt 1.253.463 kWh. Die Zulaufpumpwerke, hier unter der Kategorie Hebewerke erfasst, benötigen 9,4 % der gesamten elektrischen Energie. Dies entspricht 475.473 kWh. Die Verfahrensgruppe Infrastruktur ist der viertgrößte Verbraucher und benötigt mit 344.621 kWh im Jahr etwa 6,8 % der Gesamtenergie. Die mechanische Reinigungsstufe trägt mit 2,7 % bzw. 136.255 kWh zum Gesamtstromverbrauch bei. Auf die Fällmitteldosierung entfallen lediglich 7.283 kWh, was einem Anteil von 0,1 % entspricht. Der Strombedarf für die Ausgleichsbecken liegt mit ebenfalls 0,1 % in ähnlichen Größenordnungen.



**Abbildung 2.15: Prozentuale Verteilung des Stromverbrauchs im Ist-Zustand**

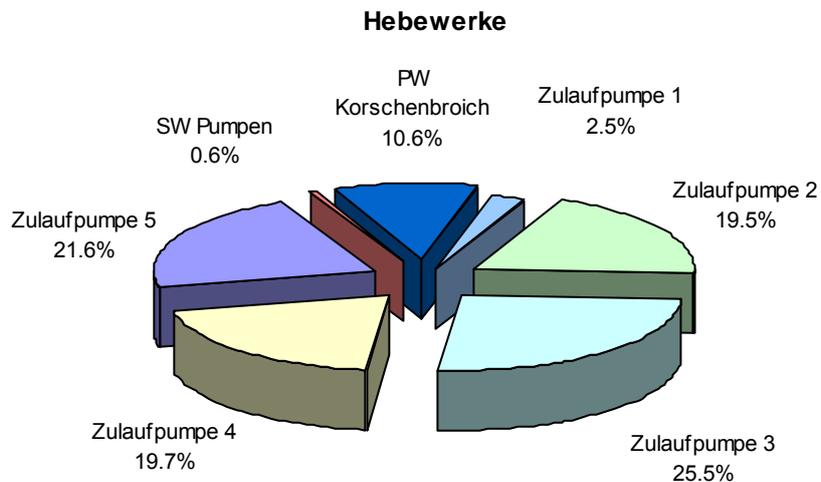
Im Folgenden werden die einzelnen Verfahrensstufen hinsichtlich ihres Energieverbrauches genauer betrachtet und bewertet. So zeigt Abbildung 2.16 die Aufteilung des Stromverbrauchs für die mechanische Stufe inklusive der Hebewerke. Im Fall des GWK Nordkanal fallen unter die Verfahrensgruppe der Hebewerke das Zulaufpumpwerk von Korschenbroich und das Pumpwerk „Am Bauhof“. Diese benötigen mit 457.473 kWh (77,7 %) den größten Anteil des Elektrizitätsverbrauchs in dieser Gruppe. Durch die Belüftung des Sandfangs werden 85.650 kWh verbraucht, was 14,0 % entspricht. Der Rechen (5.825 kWh) ist mit 1,0 % neben den sonstigen Aggregaten wie Dosier- und Fäkalpumpe (1.612 kWh und 0,3 %) der kleinste Verbraucher.

Der Betrieb des Feinsiebs benötigt auf den ersten Blick im Jahr nur 7,1 % der Energie dieser Verfahrensstufe und verbraucht umgerechnet 43.168 kWh. Hier sind der Energieverbrauch für den Betrieb der Feinsiebe, Siebgutförderer und Waschpresse sowie die Hochdruckpumpen zur Abreinigung der Siebe enthalten. Allerdings fehlt in dieser Betrachtung der Energieverbrauch, der für die Aufbereitung des Brauchwassers zur Abreinigung der Siebe notwendig ist. Die Brauchwasseraufbereitung fällt nach MUNLV-Struktur unter die Verfahrensstufe Infrastruktur und hier unter die Betriebsmittel (s. Abbildung 2.22 und Abbildung 2.24) und wird daher separat betrachtet. Aufgrund fehlender Wassermengenzähler kann jedoch keine Aufteilung der Brauchwassermengen und Zuordnung des entsprechenden Strombedarfs zu den jeweiligen Verbrauchern erfolgen. So kann auch für die Feinsiebe kein zusätzlicher spezifischer Energieverbrauch für die Brauchwasseraufbereitung ermittelt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Gesamtenergieverbrauch deutlich höher ist, als hier dargestellt werden kann.



**Abbildung 2.16: Verteilung des Strombedarfs der mechanischen Stufe inkl. Hebewerke**

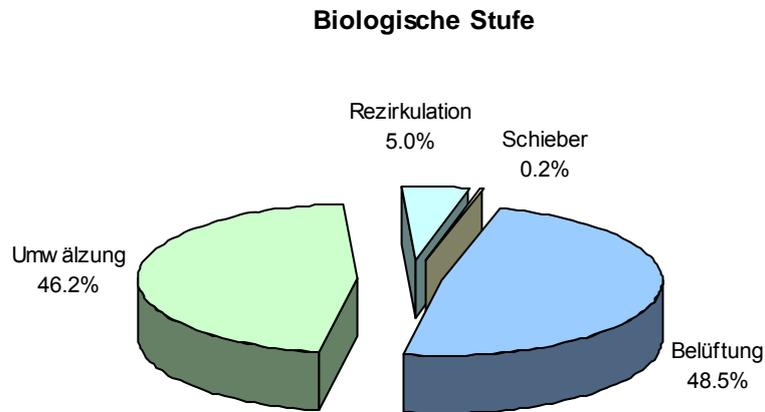
In Abbildung 2.17 ist der Anteil der einzelnen Pumpen im Zulaufpumpwerk am Stromverbrauch detaillierter dargestellt.



**Abbildung 2.17: Verteilung des Strombedarfs der Hebewerke**

So ist zu erkennen, dass die fünf Zulaufpumpen am „Am Bauhof“, wie zu erwarten, den Großteil der Hebewerke ausmachen. Insgesamt verbrauchen sie zusammen 88,8 % bzw. 422.242 kWh. Der Anteil des Pumpwerkes im Ortsteil Korschenbroich beträgt 10,6 % der Hebewerke, was 50.399 kWh entspricht. Die Schmutzwasserpumpen sind mit nur 0,6 % und 2.883 kWh der kleinste Verbraucher dieser Gruppe.

Für die biologische Verfahrensstufe sieht die Aufteilung des Stromverbrauchs folgendermaßen aus (Abbildung 2.18):

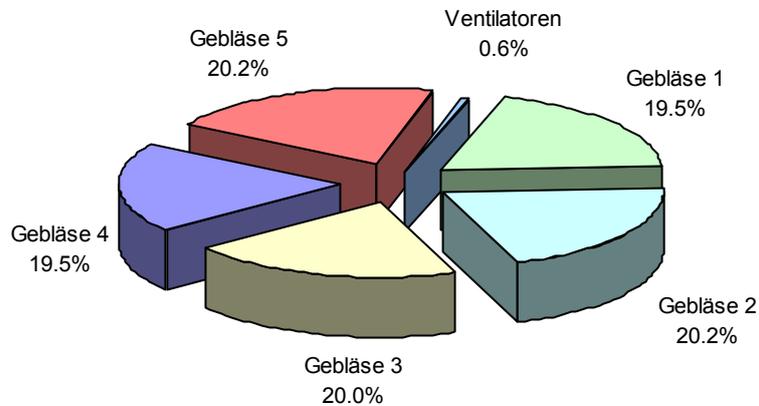


**Abbildung 2.18: Verteilung des Strombedarfs der biologischen Stufe**

Erwartungsgemäß entfällt der größte Stromverbrauch auf die Belüftung der Belebungsbecken. Hier werden mit 607.895 kWh 48,5 % der elektrischen Energie dieser Verfahrensstufe benötigt. Dies entspricht 12,0 % des Gesamtstrombedarfs der Kläranlage. Einen ebenfalls bedeutenden Anteil am Stromverbrauch der Biologie hat die Umwälzung (46,2 %). Sie ist mit 579.203 kWh auch der drittgrößte Verbraucher der Kläranlage und trägt mit 11,4 % zum Gesamtenergieverbrauch bei. Der Stromverbrauch der Rezirkulation in der Biologie liegt bei 63.291 kWh bzw. 5,0 %.

In Abbildung 2.19 ist der Stromverbrauch der Belüftung der Vollständigkeit halber noch einmal detaillierter dargestellt.

**Belüftung**

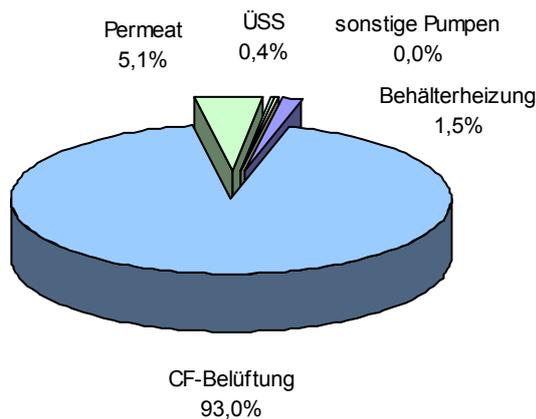


**Abbildung 2.19: Verteilung des Strombedarfs der Belüftung**

Wie sich erkennen lässt, verbrauchen die fünf Gebläse mit je ca. 20 % ungefähr gleich viel Energie, insgesamt 604.003 kWh (99,4 %). Der Anteil der Ventilatoren ist mit 0,6 % und 3.892 kWh vernachlässigbar.

Nach der biologischen Reinigung folgt die Membranstufe. Diese ist der Hauptverbraucher des GWK Nordkanal. Mit 2.658.611 kWh verbraucht die Membranstufe mehr als die Hälfte der gesamten Energie der Kläranlage (52,5 %).

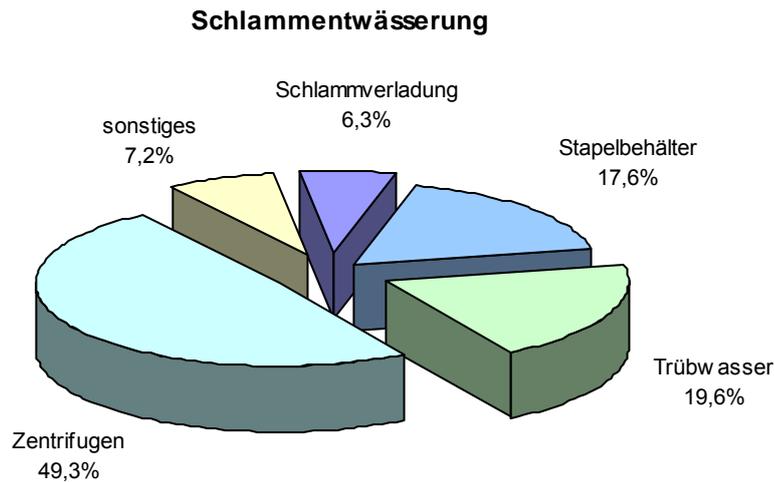
**Membranstufe**



**Abbildung 2.20: Verteilung des Strombedarfs der Membranstufe**

Innerhalb dieser Stufe hat die Belüftung der Membranfasern mit 93 % den größten Anteil am Energieverbrauch, dies entspricht 2.471.780 kWh. Der Permeatabzug ist mit 5,1 % der nächstgrößere Verbraucher. Im Jahr verbrauchen die Permeatpumpen 136.057 kWh an elektrischer Energie.

Abbildung 2.21 zeigt den Strombedarf der Schlammbehandlung auf dem GWK Nordkanal. Diese benötigt 3,7 % (188.391 kWh) der gesamten Energie der Kläranlage. Diese Menge setzt sich aus folgenden Verbrauchern zusammen:

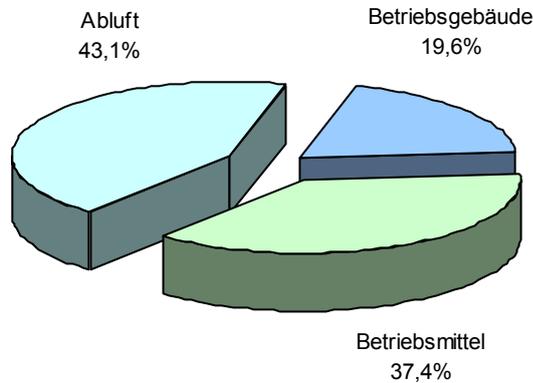


**Abbildung 2.21: Verteilung des Strombedarfs der Schlammwässerung**

Die Zentrifugen verbrauchen mit 92.803 kWh den größten Teil der Energie (49,3 %). Die Trübwasserbehandlung bildet den zweitgrößten Verbraucher der Schlammwässerung. Das Rührwerk und die Trübwasserpumpen verbrauchen zusammen 36.919 kWh und umgerechnet 19,6 % der Energie. Ebenfalls ein großer Verbraucher sind die Stapelbehälter. Mit den Rührwerken und dem Trübwasserabzug benötigen sie 33.209 kWh und 17,6 % der Energie. Die Schlammverladung (6,3 %) und sonstige Vorgänge (7,2 %), wie z.B. Mazeratoren und Dickschlamm-pumpen, verbrauchen zusammen im Jahr 25.460 kWh.

Abbildung 2.22 zeigt die Verteilung des Strombedarfs auf die einzelnen Verbrauchergruppen, die der Infrastruktur zugeordnet werden. Diese machen einen Anteil von etwa 6,8 % des Gesamtbedarfs der Kläranlage an elektrischer Energie aus. Davon entfallen 43,1 % bzw. 148.390 kWh auf die Abluftbehandlung und 37,4 % (128.821 kWh) auf die Betriebsmittel. Die Stromversorgung der Betriebsgebäude verbraucht im Jahr rund 67.410 kWh, was 19,6 % der Energie für Infrastruktur entspricht.

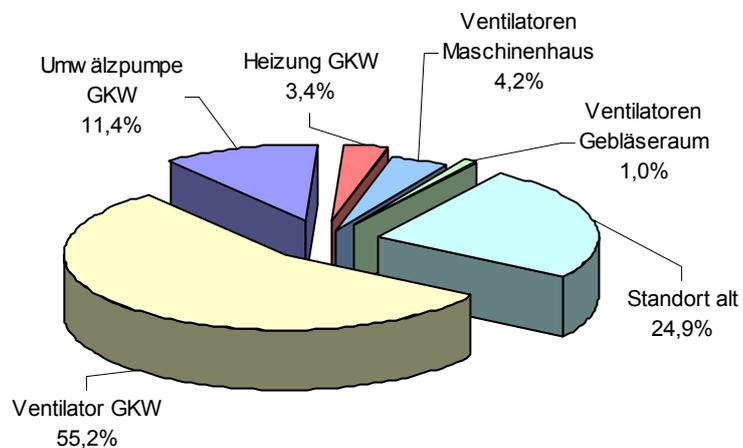
**Infrastruktur**



**Abbildung 2.22: Verteilung des Strombedarfs der Aggregate der Infrastruktur**

Da sowohl Abluftbehandlung und Lüftungssystem als auch die Betriebsmittel einen recht großen Anteil am Strombedarf der Infrastruktur ausmachen, werden diese Aggregategruppen noch einmal genauer betrachtet (Abbildung 2.23 und Abbildung 2.24).

**Abluft**



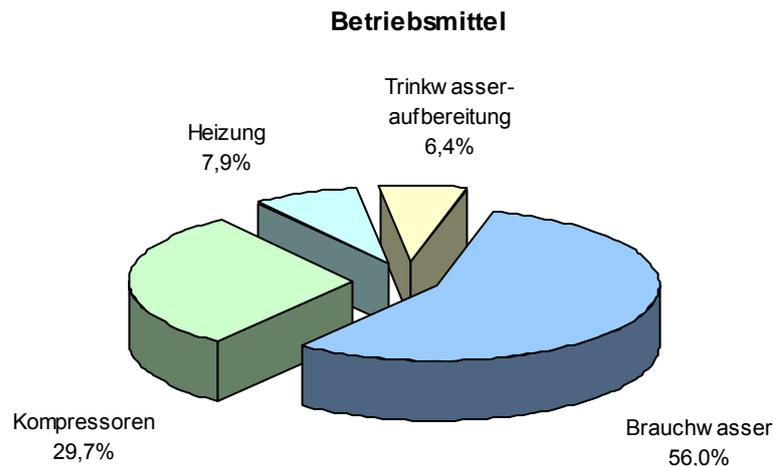
**Abbildung 2.23: Verteilung des Strombedarfs zur Abluftbehandlung / Lüftung**

Es fällt auf, dass der Ventilator zur Abluftbehandlung im GWK Nordkanal alleine bereits 55,2 % dieser Verfahrensgruppe ausmacht. Hier werden 81.872 kWh im Jahr verbraucht. Der Betrieb der Abluftanlage am alten Standort benötigt zusätzlich 36.900 kWh, was einem Anteil von 24,9 % entspricht. Die Umwälzpumpe der Abluftanlage im GWK verbraucht 19.926 kWh und ist damit mit 11,4 % der drittgrößte Verbrau-

cher dieser Gruppe. Der restliche Strombedarf verteilt sich auf die Heizung der Wasservorlage und des Pumpenraumes und die Ventilation des Gebläseraumes und des Maschinenhauses.

Auch der Energiebedarf für die sogenannten Betriebsmittel macht mit insgesamt 128.821 kWh einen nicht unbedeutenden Anteil des Gesamtstromverbrauchs des GWK Nordkanal aus. Unter Betriebsmittel sind die Verbraucher für die Brauchwasser- sowie die Trinkwasseraufbereitung, die Druckluftherzeugung für die pneumatisch betriebenen Aggregate (Kompressoren) und die Beheizung der Halle der maschinellen Schlamm-entwässerung, der UV1 und der Siebanlage enthalten.

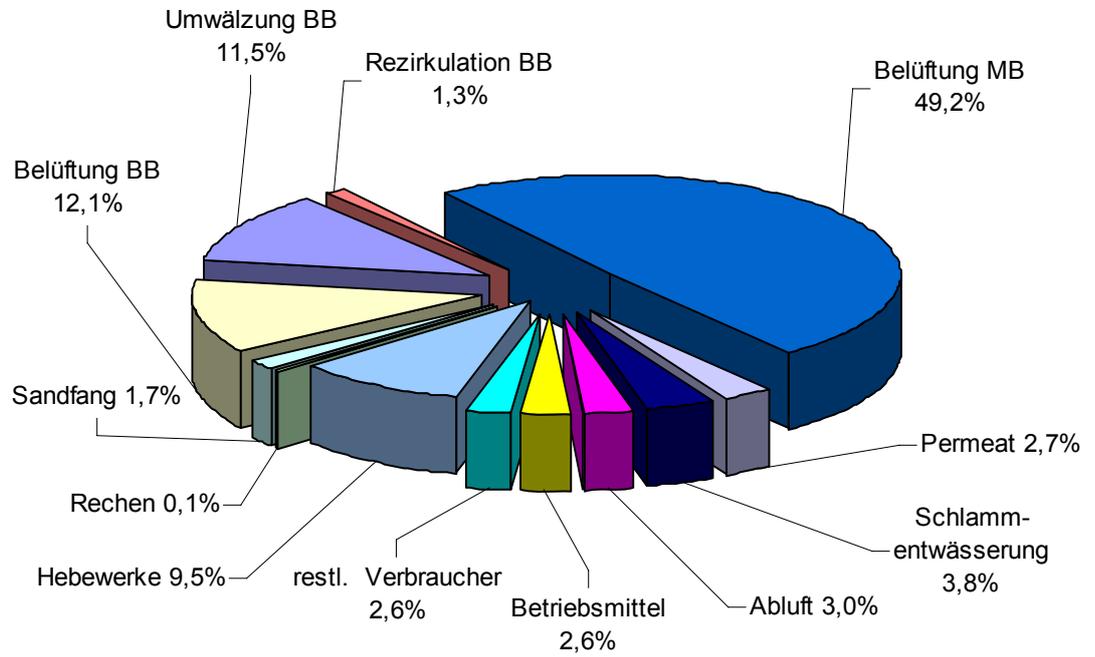
Mit 56 % des Energiebedarfs bzw. 72.173 kWh ist die Brauchwasseraufbereitung der größte Verbraucher im Bereich Betriebsmittel. Von den beiden Aufbereitungsstationen verbrauchte im Jahr 2007 Anlage I insgesamt 11.311 kWh und Anlage II 60.862 kWh. Es existieren keine Wassermengenzähler an den verschiedenen Wasserverbrauchsstellen, so dass nicht genau zugeordnet werden kann, wie viel Wasser und damit wie viel Energie für die Aufbereitung auf die einzelnen Verbraucher entfallen. Dies wäre vor allem für eine vollständige Bewertung der Feinsiebung interessant, deren spezifischer Stromverbrauch durch die Brauchwasseraufbereitung deutlich höher liegen sollte als in der Bewertung der mechanischen Vorreinigung dargestellt.



**Abbildung 2.24: Verteilung des Strombedarfs im Bereich Betriebsmittel**

Abschließend ist in Abbildung 2.25 die Verteilung des Strombedarfs auf die Hauptverbrauchergruppen, unabhängig von der Verfahrensstufe dargestellt. Wie bereits zuvor erläutert, fällt der größte Teil des Strombedarfs auf die Belüftung der Membranbelebung (48,8 %), die Belüftung (12,0 %) und Umwälzung des Belebungsbeckens (11,4 %). Die Hebewerke gehen mit 9,4 % in die Bilanz des GWK Nordkanal ein. Die anderen Hauptverbraucher haben verhältnismäßig geringe Anteile am Stromverbrauch. Die Schlamm-entwässerung und die Abluftbehandlung haben einen Anteil von jeweils 3,7 % bzw. 2,9 %. Die meisten anderen Verbrauchergruppen liegen zwischen 1,5 % und 3 %. Kleinere Verbrauchergruppen wurden unter „restliche Verbraucher“ zusammengefasst. Sie benötigen in Summe etwa 2,6 % des Gesamtstrombedarfs der Kläranlage.

**Hauptverbraucher**



**Abbildung 2.25: Verteilung des Strombedarfs auf die Hauptverbrauchergruppen**

### **3 AUSLEGUNG DER MODELLANLAGE UND ERMITTLUNG DES THEORETISCHEN ENERGIEBEDARFS**

Da für Membranbelebungsanlagen im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ bislang keine energetischen Vergleichswerte genannt sind, war es zur energetischen Beurteilung des Gruppenklärwerks Nordkanal zunächst 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.

Bei der Auslegung, der Bemessung und der Ermittlung des theoretischen Energiebedarfs der idealen Modellanlage wurde eng nach dem Handbuch „Energie in Kläranlagen“ vorgegangen. Dort 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 (diese werden im Folgenden erläutert) für einwohnerspezifische Wassermengen und Schmutzfrachten übernommen. Um aber auch einen direkten Vergleich der absoluten Zahlen zum GWK Nordkanal zu ermöglichen, wurde die MBR-Modellanlage für 80.000 EW konzipiert, während die konventionelle Modellanlage des Handbuchs von einer mittleren Anlagenbelastung von 100.000 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.

#### **3.1 Grundlagen**

##### Wassermengen

Im Handbuch werden mehrere Modellanlagen unterschiedlicher Ausbaugrößen vorgestellt. Um einen Abgleich zwischen Anlagen derselben Größenordnung zu ermöglichen, werden die Grundlagenansätze der auf 100.000 EW ausgelegten konventionellen Modellanlage übernommen. Die daraus folgenden Angaben für den spezifischen Schmutz- und Fremdwasseranfall (s. Tabelle 3.1) wurden nach Vorgaben des Handbuchs übertragen und angepasst, ebenso der errechnete maximale Mischwasserabfluss:

$$Q_M = 2 \cdot Q_s + Q_f \text{ [l/s]}$$

**Tabelle 3.1: Wassermengen für die Bemessung der Modellanlage**

<b><u>Einwohnerwerte</u></b>		<b>Bemessung</b>
Einwohnerwerte angeschlossen an KA	EW	80.000 [EW]
<b><u>Wassermengen</u></b>		
Schmutzwasseranfall	$q_s$	140 [l/(EW·d)]
Fremdwasseranfall	$q_f$	35 [l/(EW·d)]
Schmutzwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{S,aM}$	11.200 [m <sup>3</sup> /d]
Fremdwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{F,aM}$	2.800 [m <sup>3</sup> /d]
Schmutzwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{S,aM}$	129,63 [l/s]
Fremdwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{F,aM}$	32,41 [l/s]
Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	$Q_{T,aM}$	162,04 [l/s]
täglicher Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	$Q_{T,d,aM}$	14.000 [m <sup>3</sup> /d]
maximaler Trockenwetterabfluss als 2-Stunden-Mittel	$Q_{T,2h,max}$	254,63 [l/s]
maximaler Mischwasserabfluss	$Q_M$	476,85 [l/s]

Im Vergleich zu den Ist-Werten des GWK Nordkanal (Abbildung 2.1) zeigt sich, dass der tägliche Trockenwetterabfluss der Modellanlage deutlich höher liegt. Der maximale Mischwasserabfluss liegt jedoch unterhalb des Auslegungswerts des GWK Nordkanal.

#### Frachten und Konzentrationen

Die Werte der einwohnerspezifischen Frachten wurden gemäß den Vorgaben der ATV-DVWK-Arbeitsblattes 131 [ATV-DVWK, 2000] verwendet. Für die maßgebenden Schmutz- und Nährstoffparameter, außer dem aus energetischer Sicht untergeordneten Phosphor, decken sich diese mit den Ansätzen des Handbuchs.

Nach Errechnung der Frachten konnte über die tägliche Trockenwetterwassermenge die bemessungsrelevanten Konzentrationen errechnet werden (siehe folgende Tabelle). Für die Anteile von Ammonium-N und organisch N am TKN wurde ein für kommunale Kläranlagen typisches Verhältnis von 7,5/3,5 angesetzt.

Tabelle 3.2: Bemessungskonzentrationen und zugehörige Frachten

<b><u>Einwohnerwerte</u></b>		<b>Bemessung</b>
Einwohnerwerte angeschlossen an KA	EW	80.000 [EW]
<b><u>Wassermengen</u></b>		
Schmutzwasseranfall	$q_s$	140 [l/(EW·d)]
Fremdwasseranfall	$q_f$	35 [l/(EW·d)]
Schmutzwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{S,aM}$	11.200 [m <sup>3</sup> /d]
Fremdwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{F,aM}$	2.800 [m <sup>3</sup> /d]
Schmutzwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{S,aM}$	129,63 [l/s]
Fremdwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{F,aM}$	32,41 [l/s]
Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	$Q_{T,aM}$	162,04 [l/s]
täglicher Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	$Q_{T,d,aM}$	14.000 [m <sup>3</sup> /d]
maximaler Trockenwetterabfluss als 2-Stunden-Mittel	$Q_{T,2h,max}$	254,63 [l/s]
maximaler Mischwasserabfluss	$Q_M$	476,85 [l/s]
<b><u>Schmutzfrachten im Zulauf zur Kläranlage</u></b>		
einwohnerspezifische BSB <sub>5</sub> -Fracht	$B_{BSB,spez}$	60 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische CSB-Fracht	$B_{CSB,spez}$	120 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische TS-Fracht	$B_{TS,spez}$	70 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische TKN-Fracht	$B_{TKN,spez}$	11 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische P-Fracht	$B_{P,spez}$	1,8 [g/(EW·d)]
BSB <sub>5</sub> -Fracht im Zulauf zur KA	$B_{d,BSB,Z}$	4800 [kg/d]
CSB-Fracht im Zulauf zur KA	$B_{d,CSB,Z}$	9600 [kg/d]
TS-Fracht im Zulauf zur KA	$B_{d,TS,Z}$	5600 [kg/d]
TKN-Fracht im Zulauf zur KA	$B_{d,TKN,Z}$	880 [kg/d]
P-Fracht im Zulauf zur KA	$B_{d,P,Z}$	144 [kg/d]
<b><u>Konzentrationen im Zulauf zur Belebung</u></b>		
BSB <sub>5</sub> -Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{BSB,ZB}$	342,9 [mg/l]
CSB-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{CSB,ZB}$	685,7 [mg/l]
TS-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$X_{TS,ZB}$	400,0 [mg/l]
TKN-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{TKN,ZB}$	62,9 [mg/l]
NH <sub>4</sub> -N-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$S_{NH_4,ZB}$	42,9 [mg/l]
org. N-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$S_{orgN,ZB}$	20,0 [mg/l]
P-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{P,ZB}$	10,3 [mg/l]

Die gewählten Auslegungsfrachten liegen somit im Bereich zwischen den auf dem GWK Nordkanal gemessenen Mittelwerten und 85%-Quantilen. Aufgrund der höheren

Trockenwetterwassermenge liegen die errechneten Konzentrationen der Modellanlage im Vergleich zum GWK Nordkanal im unteren Bereich.

### Bemessung der biologischen Stufe

Wie auch im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ und nach Empfehlung des Handbuchs „Abwasserreinigung mit Membrantechnik“ [ISA, MUNLV, 2003], wurde das Volumen des Belebungsbeckens mittels Hochschulgruppenansatz berechnet [Böhnke et al., 1989; Dohmann et al., 1993]. Der TS Gehalt im Ablauf der Belebung wurde nach Literaturangaben [ISA, MUNLV, 2003] zu 10 g/l gewählt. Die Berechnungen zur Auslegung der Belebung beziehen sich auf eine Temperatur von 12°C. Die vollständigen Berechnungstabellen zum Hochschulgruppenansatz inkl. aller Berechnungsparameter befinden sich im Anhang 5. Als wesentlicher Unterschied zum Handbuch erfolgte die Auslegung der MBR-Modellanlage als Belebungsanlage mit aerober Stabilisierung und damit auf ein Schlammalter  $t_{TS} = 25$  d, da bislang nahezu alle Membranbelebungsanlagen in dieser Form konzipiert sind.

**Tabelle 3.3: Ergebnisse der Bemessung des erforderlichen Belebungsvolumens nach HSG**

<b><u>Berechnung der Beckenvolumina</u></b>		
zu nitrifizierende Stickstoffkonzentration	$N_{n,m}$	52,88 [mg/l]
Hilfsgröße P	P	338,33 [g/m <sup>3</sup> ]
Raumbeschickung	$q_R$	1,037 [m <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> *d)]
erforderliches Gesamtvolumen der Belebung	V	13.496 [m <sup>3</sup> ]
erforderliches aerobes Volumen der Belebung	$V_N$	8.302 [m <sup>3</sup> ]
erforderliches anoxisches Volumen der Belebung	$V_D$	5.195 [m <sup>3</sup> ]

Das gesamte Belebungsbecken teilt sich in eine Denitrifikations- und eine Nitrifikationszone auf. Analog zum GWK Nordkanal werden die Membranmodule in den Nitrifikationsbecken angeordnet. Es liegt also keine räumlich getrennte Betrachtung von Belebung und Membranfiltration vor. Das gesamte Volumen des Deni-Beckens ist aufteilbar in eine Deni-Zone und anschließende Vario-Zone, die sowohl aerob als auch anoxisch betrieben werden kann. Laut Literaturangaben [ISA, MUNLV, 2003] sollte die Größe des Vario-Beckens ca. 30 bis 50 % des Denitrifikationsbereichs ausmachen. Ebenfalls sollten bei Membranbelebungsanlagen die Beckengröße für Denitrifikation und für Nitrifikation in etwa dem Verhältnis 1:1 entsprechen. Da aber laut Hochschulgruppenansatz das Volumen des Membrantanks bereits  $V_M = 7.688$  m<sup>3</sup> betragen muss, wird das Nitrifikationsbecken dementsprechend größer gewählt.

$$V_{BB} = 14.000 \text{ m}^3$$

$$V_N = 8.000 \text{ m}^3$$

$$V_{DN} = 3.000 \text{ m}^3$$

$$V_{Vario} = 3.000 \text{ m}^3$$

Im Anschluss an die Berechnungen mit Hochschulgruppenansatz wurde dann die biologische Reinigung inklusive der Membranfiltration dimensioniert.

### Membrankassetten

Das GWK Nordkanal ist mit Hohlfasermembranen vom Hersteller GE Zenon ausgerüstet. Um die Modellanlage mit dem GWK Nordkanal vergleichen zu können, wurden auch hier für die Berechnung Hohlfasermodule vom Typ ZW 500C gewählt. Das Nachfolgemodell ZW 500D wäre energetisch sparsamer, ermöglicht aber zunächst nicht den direkten Vergleich der beiden Anlagen. Ein wichtiger Faktor zur Auslegung der Membrananlage ist der Fluss mit dem die Anlage betrieben wird. Der Netto Fluss wurde zur Vergleichbarkeit mit dem GWK Nordkanal nach Angaben des Erftverbandes zu  $20 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  gewählt. Er liegt damit unterhalb des Auslegungswertes von  $25 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , der im Handbuch „Membrantechnik für die Abwasserreinigung“ genannt wird. Ein zu hoch angesetzter Netto-Fluss könnte aber den spezifischen Energiebedarf der Modellanlage unrealistisch niedrig erscheinen lassen. Es wird daher der nach Erfahrungen des Betreibers bei regelmäßigen Reinigungen realistisch erreichbare Netto-Fluss angesetzt. Durch die nach Handbuch berechneten Wassermengen und die Angabe des Flusses kann nun die Membrananlage bemessen werden. Die Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt:

**Tabelle 3.4: Dimensionierung der Membranfiltration**

<b><u>Wassermengen</u></b>		
täglicher Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	$Q_{T,d,aM}$	14000 [m <sup>3</sup> /d]
maximaler Trockenwetterabfluss als 2-Stunden-Mittel	$Q_{T,2h,max}$	254,63 [l/s]
maximaler Mischwasserabfluss nach Ausgleichsbecken	$Q_M$	476,85 [l/s]
<b><u>Eingabedaten</u></b>		
Bemessungsfluss bei 10 °C (netto)	$v_{F,netto}$	20,0 [l/(m <sup>2</sup> ·h)]
Zuschlag für Reinigung etc. (für Brutto-Fläche)	F	1,00 [-]
Packungsdichte Module im eingebauten Zustand	$V_{Pack}$	11 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
spez. Luftbedarf Cross-Flow	$Q_{L,CF,s}$	0,55 [Nm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)]
<b><u>Bemessung Membran</u></b>		
erforderliche Membranfläche	$A_M$	85.833 [m <sup>2</sup> ]
erforderliches Volumen Membrantank	$V_M$	7688 [m <sup>3</sup> ]
Luftbedarf Cross-Flow	$Q_{L,CF}$	47.087 [Nm <sup>3</sup> /h]

Gewählt: Netto-Flux:  $v_{F, \text{netto}} = 20,0 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$

Dadurch lässt sich die erforderliche Membranfläche wie folgt ermitteln:

$$\begin{aligned} A_M &= Q_M \cdot 3.600 / v_{F, \text{netto}} \\ &= 476,85 \cdot 3.600 / 20,0 = 85.833 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Mit Hilfe von Modulinformationen zum ZeeWeed 500C, sogenannten Fact Sheets, die vom Hersteller zur Verfügung gestellt wurden, ist es nun möglich, die Anzahl der erforderlichen Membrankassetten zu bestimmen:

Gewählt: 176 Zenon ZeeWeed 500C Kassetten mit je 22 Modulen

Transmembrandruck:  $\Delta P_{TM} =$  - 0,55 bis + 0,55 bar

Trenngrenze: 0,04  $\mu\text{m}$

Membranfläche / Modul:  $A_{Mod} =$  23,2  $\text{m}^2$

Membranfläche gesamt:  $A_M =$  89.830,4  $\text{m}^2$

Luftbedarf pro Kassette: 280  $\text{Nm}^3/\text{h}$

Die 176 Kassetten wurden gewählt, da sie sowohl die geforderte Membranfläche decken, als auch symmetrisch und ähnlich des GWK Nordkanal in die Modellanlage eingebracht werden können. Gewählt wurden 4 Becken mit je 2 Straßen. In jeder Straße befinden sich somit 22 Kassetten mit Plattenmembranen.

### 3.2 Berechnung des Energieverbrauches

Zur Bestimmung des gesamten Energiebedarfs der Membranstufe werden die einzelnen Hauptverbraucher genauer betrachtet.

#### Crossflow-Gebläse

Die Belüftung der Membranmodule sorgt dafür, dass sich keine Ablagerungen an den Hohlfasern absetzen. Die Crossflow-Belüftung beseitigt durch Scherwirkung kleinste Partikel und verhindert so ein Verblocken und Verzopfen der Fasern. Energetisch betrachtet, bilden die Gebläse zur Crossflow-Belüftung den größten Teil des Energieverbrauches.

Während eines Filtrationszyklus wechseln sich Filtrations- und Rückspül- bzw. Relaxationsphasen zur Reinigung der Membranen ab. Die Anforderung und das Abschalten der verschiedenen Membranstraßen erfolgt in Abhängigkeit der Zulaufmenge. Ist eine Straße angefordert, erfolgt die Regelung des Permeatabzugs in Abhängigkeit des Höhenstandes im jeweiligen Becken. Es wird bis zum Erreichen eines definierten minimalen Wasserstandes filtriert, danach wird pausiert, bis bei Erreichen eines definierten maximalen Wasserspiegels der Filtrationszyklus erneut beginnt. Unmittelbar vor dem Starten und nach dem Ende des Filtrationszyklus erfolgt noch eine Vor- bzw. Nachbelüftung.

Ziel der Verfahrensgebung ist es, während der Filtrationszyklen mit einem möglichst hohen Fluss zu filtrieren, um die die Laufzeit der Crossflow-Gebläse zu minimieren.

Die Belüftung der Membranen kann auf unterschiedliche Weisen erfolgen. Es ist möglich, die gesamte Membranfläche während des Filtrationszyklus zu belüften, oder aber mittels Air-Cycling jeweils nur Teile der Membranfläche zu belüften. Dies kann in verschiedenen Rhythmen geschehen, beispielsweise in einem 10s/10s-Rhythmus, der bereits auf dem GWK Nordkanal praktiziert wird oder in einem 10s/30s-Rhythmus, der erst mit den Modulen der Generation Zenon ZeeWeed 500D realisierbar ist.

#### *Betrachtung ohne Air-Cycling:*

Zur Bestimmung des Energieverbrauches der Crossflow-Gebläse wurde zunächst der Fall der kontinuierlichen Membranbelüftung betrachtet. Im weiteren Verlauf wird aber auch die Möglichkeit der Einsparung des Lufteintrags durch Air-Cycling im Rhythmus 10s/10s dargestellt. Zu beachten ist zusätzlich, dass durch den Eintrag der Luft mittels Crossflow-Belüftung ein gewisser Anteil der erforderlichen Sauerstoffmenge für die Belebung gedeckt wird. Auf diesen Aspekt wird im weiteren Verlauf genauer eingegangen.

Nach Auskunft des Herstellers Zenon [Keutgen, 27.11.2008] und weiteren Literaturangaben [De Wever et al., 2008] beträgt der Luftbedarf für eine Kassette des ZeeWeed 500C unabhängig vom Fluss:

$$Q_{L,M} = 280 \text{ m}^3/\text{h}$$

Bezogen auf die Oberfläche einer Kassette beträgt die spezifische Luftmenge dann:

$$Q_{L,M, \text{spez}} = 280 / (22 \cdot 23,2) = 0,55 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$$

Dieser Wert lässt sich auch durch eine Veröffentlichung in der Fachzeitschrift Water Research [Verrecht et al., 2008] bestimmen und vergleichen:

$$Q_{L, \text{Verrecht}} = \text{SAD}_M \cdot A_M [\text{m}^3/\text{h}]$$

wobei  $\text{SAD}_M$  die spezifische benötigte Luftmenge, bezogen auf die Membranfläche, ist. Hierzu wird ein Wertebereich von 0,3 bis 1,0  $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  vorgegeben. Für einen mittleren Wert von 0,65 ergibt sich demnach:

$$Q_{L, \text{Verrecht}} = 0,65 \cdot 22 \cdot 23,2 = 331,76 \text{ m}^3/\text{h}$$

Wie erkennbar ist, liegen die Werte in der gleichen Größenordnung und decken die Angaben des Herstellers. In seiner Veröffentlichung rät Verrecht zusätzlich, die Intensität der Crossflow-Belüftung in Abhängigkeit des Flusses zu regulieren. So soll bei geringen Zuflüssen durch eine geringere Intensität der Crossflow-Belüftung Energie gespart werden. Dies stellt durchaus eine Option zur Energieeinsparung dar.

Unter Berücksichtigung der Herstellervorgaben für die meisten Membranmodule, die konkrete Luftmengen für einen gewährleistungsgemäßen Betrieb vorgeben, scheint eine solche Regelung aber nicht zweckmäßig, da ansonsten bei bestehenden Anlagen ggf. Gewährleistungsansprüche verloren gehen können. Hier ist weiterer Forschungsbedarf

vorhanden. Für die energetisch optimale Membrananlage wird daher, wie oben erläutert, das Konzept verfolgt, durch möglichst hohe Flüsse bei der vorgegeben Belüftungsintensität die Filtrationsdauer und damit die Laufzeit der Crossflow-Gebläse zu minimieren.

Für die weitere Berechnung wird daher der gegebene Herstellerwert von 280 m<sup>3</sup>/h angesetzt. Der Luftbedarf der Crossflow-Gebläse einer Straße kann somit ermittelt werden:

$$\begin{aligned} Q_{L,CF, str} &= Q_{L,M} \cdot 22 \\ &= 280 \cdot 22 = 6.160 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

Die Formel zur Berechnung der Gebläseleistung lautet nach dem Handbuch „Energie in Kläranlagen“ [MUNLV, 1999] wie folgt:

$$P = (Q_{L,CF, str} \cdot \Delta p) / (\eta_G \cdot 367)$$

Der Wirkungsgrad  $\eta_G$  wird nach Handbuchangaben zu 60 % gewählt. Die Einblastiefe, und somit das  $\Delta p$  ergibt sich aus den Angaben der Unterlagen des Zenon ZeeWeed Moduls. Die Einblastiefe beträgt:

$$\Delta p = 3,00 \text{ m}$$

Die Gebläseleistung einer Straße lässt sich demnach zu

$$P_{CF, str} = (6.160 \cdot 3,00) / (0,6 \cdot 367) = 83,92 \text{ kW}$$

bestimmen. Für die Belüftung der Membrane wurde für jede Straße ein Gebläse gewählt. Der Gesamtenergieverbrauch der Crossflow-Gebläse beträgt somit:

$$\begin{aligned} P_{CF} &= P_{CF, str} \cdot 8 \\ &= 83,92 \cdot 8 = 671,36 \text{ kW} \end{aligned}$$

Die Filtrationsdauer ist für die Energiebilanz der Membranbelebungen von großer Bedeutung. Um das Permeat filtrieren zu können, müssen die Membranen belüftet werden. Bei der Ermittlung der Gebläselaufzeit ist die Vor- und Nachbelüftungszeit (jeweils ca. 1 Minute) zu berücksichtigen. Welchen Einfluss diese hat, ist maßgeblich von der mittleren Filtrationsdauer abhängig, die aber theoretisch nicht zu ermitteln ist. Eine Auswertung der Betriebsdaten des GWK Nordkanal (siehe Kapitel 5 „Maßnahmen“) zeigte für einen Tag mit mittlerer hydraulischer Belastung eine durchschnittliche Dauer der Filtrationsintervalle in jeder Straße von ca. 30 min. Diese wird auch für die weiteren Betrachtungen angesetzt.

Wie im Folgenden noch gezeigt wird, ergeben sich für die energetischen Betrachtungen der Membranstufe wesentliche Unterschiede bei Trocken- und bei Regenwetter, da bei Regenwetter theoretisch der gesamte Sauerstoffbedarf der Belebungen aus den Crossflow-Gebläsen gedeckt wird. Generalisierte Aussagen zu den hydraulischen Belastungssituationen verschiedener bestehender MBR-Anlagen sind nur schwierig machbar. Die im Folgenden ermittelten Energiebedarfswerte beziehen sich daher immer auf Trockenwetterzustände. Im Regenwetterfall werden sich geringere spez. Energieverbräuche einstellen.

Die tägliche Laufzeit der Crossflow-Gebläse lässt sich unter den genannten Voraussetzungen anhand der Wassermenge und des Flusses wie folgt bestimmen:

$$t_{G,CF} = Q_{T,d,AM} / (A_M \cdot v_{F,netto} / 1.000) \cdot (1 + 30 + 1) / 30$$

$$t_{G,CF} = 14.000 / (89.830,4 \cdot 20 / 1.000) \cdot 32 / 30 = 8,31 \text{ h/d}$$

Durch die errechnete gesamte Gebläseleistung und die Gebläselaufzeit eines Tages ist es nun möglich den Jahresenergieverbrauch der Crossflow Gebläse zu berechnen:

$$E_{a,CF} = P_{CF} \cdot t_{G,CF} \cdot 365$$

$$= 671,38 \cdot 8,31 \cdot 365 = 2.036.396,25 \text{ kWh/a}$$

In Abhängigkeit von der Jahreswassermenge bei Trockenwetter ergibt sich der spezifische Energieverbrauch.

$$E_{spez,CF} = E_{a,CF} / (Q_{T,d,AM} \cdot 365)$$

$$= 2.036.396,25 / (14.000 \cdot 365) = 0,40 \text{ kWh/m}^3$$

#### *Betrachtung mit Air-Cycling:*

Werden die Membranmodule mit Air-Cycling betrieben, so werden nicht 100 % der vorhandenen Membranfläche belüftet, sondern nur ein gewisser Teil. Durch diese Methode kann die Luftmenge und demnach auch der Energieverbrauch reduziert werden. Für einen 10s/10s-Rhythmus bedeutet dies, dass im Wechsel von 10 s immer eine Hälfte der Kassette belüftet wird bzw. die Hälfte der gesamten Membranfläche einer Kassette. Für den Energiebedarf bedeutet das, dass über die gesamte Membranfläche nur die Hälfte der Luft für die Gebläseenergie angesetzt werden muss:

$$Q_{L,M,AC} = 140 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{L,CF,AC} = Q_{L,M,AC} \cdot 176 = 140 \cdot 176 = 24.640 \text{ m}^3/\text{h}$$

Bei sonst gleichen Angaben lassen sich die Gebläseleistung und der Energiebedarf wie folgt bestimmen:

$$P_{CF,AC} = (24.640 \cdot 3) / (0,6 \cdot 376) = 335,69 \text{ kW}$$

$$E_{a,CF,AC} = 335,69 \cdot 8,31 \cdot 365 = 1.018.198,12 \text{ kWh/a}$$

$$E_{spez,CF,AC} = 1.018.198,12 / (14.000 \cdot 365) = 0,20 \text{ kWh/m}^3$$

Es ist zu erkennen, dass sich durch das Betreiben der Anlagen mit 10s/10s-Air-Cycling die Hälfte der Energie der Crossflow-Gebläse einsparen lässt. Durch das für neue Module ebenfalls verfügbare 10s/30s-Air-Cycling lässt sich der Wert sogar auf 0,10 kWh/m<sup>3</sup> reduzieren.

Aufgrund des geringeren Lufteintrags durch die Crossflow-Belüftung darf somit aber auch weniger Sauerstoff für die Nitrifikation angerechnet werden. Das bedeutet, dass im

Gegenzug durch die feinblasige Belüftung mehr Sauerstoff zur Verfügung gestellt werden muss. An dieser Stelle wird sich der Energieverbrauch also erhöhen. Im folgenden Abschnitt wird darauf genauer eingegangen.

### Belüftung der Belebung

Der erforderliche Sauerstoffbedarf des Belebungsbeckens wird zum Teil bereits durch die Crossflow-Belüftung der Membranmodule gedeckt. Es muss also nicht mehr die gesamte Sauerstoffmenge durch die Belebungsgebläse gestellt werden, sondern die erforderliche Gesamtsauerstoffmenge abzüglich des anrechenbaren Sauerstoffs der Crossflow-Gebläse. Auch hier sind die unterschiedlichen Belüftungsstrategien der Membranmodule betrachten. Ohne Air-Cycling wird mehr Luft und damit mehr Sauerstoff in das Belebungsbecken eingetragen als mit. Somit ist auch ohne Air-Cycling die zusätzlich benötigte Luftmenge geringer.

#### *Betrachtung ohne Air-Cycling:*

Die von den 8 Crossflow-Gebläsen eingetragene Luftmenge eines Tages wird in Abhängigkeit der Gebläselaufzeit bestimmt zu:

$$Q_{L,d} = Q_{L,CF} \cdot t_G = 49.280 \cdot 8,31 = 409.516,80 \text{ m}^3/\text{d}$$

Laut Literaturangaben [Krause, 2005] beträgt der gemessene Sauerstoffeintrag der Crossflow-Belüftung eines MBR unter Betriebsbedingungen  $3,5 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  (für eine Temperatur von  $20^\circ\text{C}$ ). Mit diesem Wert lässt sich nun die Sauerstoffmenge bestimmen, die mit der Luftmenge über die Crossflow-Gebläse eingetragen wird.

In einer weiteren Literaturquelle [Verrecht et al., 2008] wird dieser Wert zum Sauerstoffeintrag ebenfalls berechnet. Mit den dort angegebenen Werten ergibt sich für die Modellanlage:

$$\begin{aligned} m_{\text{O}} &= \rho_{\text{Luft}} \cdot 0,025 \cdot \alpha \cdot 0,95 \cdot 1,024^T \cdot (\% \text{ O}_2 \text{ in Luft} / 100) \\ &= 1230 \cdot 0,025 \cdot 0,43 \cdot 0,95 \cdot 1,024^{20} \cdot (21 / 100) \\ &= 4,23 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{m}) \end{aligned}$$

$\alpha$  wird hier in Abhängigkeit vom TS Gehalt bestimmt. Für einen TS Gehalt von  $10 \text{ g/l}$  erhält man nach gegebener Formel [Verrecht et al., 2008]:

$$\alpha = e^{(-0,084 \cdot \text{TS})} = e^{(-0,084 \cdot 10)} = 0,43$$

Die beiden Werte zum Sauerstoffeintrag gleichen sich zwar nicht, liegen aber in etwa in einer Größenordnung, so dass der von Krause ermittelte Wert von  $3,5 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$  für die weitere Berechnung verwendet werden kann.

$$\alpha_{\text{OCL,h}} = 3,5 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{m})$$

Die Sauerstoffmenge der Crossflow-Belüftung eines Tages lässt sich anschließend berechnen zu:

$$\begin{aligned}\alpha\text{OC}_{\text{CF}} &= \alpha\text{OC}_{\text{L,h}} \cdot h \cdot Q_{\text{L,d}} / 1.000 \\ &= 3,5 \cdot 3 \cdot 409.516,80 / 1.000 = 4.299,93 \text{ kgO}_2/\text{d}\end{aligned}$$

Die mittlere täglich erforderliche Sauerstoffzufuhr für eine Temperatur von 20°C wurde nach ATV-DVWK A 131 berechnet zu (detaillierte Tabelle siehe Anhang):

$$\alpha\text{OC}_{\text{d}} = 9.633,00 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Betrachtet man nun den im Mittel stündlich benötigten Sauerstoff, so erhält man:

$$\alpha\text{OC}_{\text{h}} = 9.633,00 / 24 = 401,38 \text{ kgO}_2/\text{h}$$

Anhand der Filtrationsdauer von 8,31 Stunden am Tag und der Sauerstoffmenge der Crossflow-Belüftung lässt sich auch der stündliche Eintrag bestimmen:

$$\begin{aligned}\alpha\text{OC}_{\text{CF,h}} &= \text{OC}_{\text{CF}} / t_{\text{G,CF}} \\ &= 4.299,93 / 8,31 = 517,44 \text{ kgO}_2/\text{h}\end{aligned}$$

Wie erkennbar ist, wird durch die Crossflow-Belüftung pro Stunde mehr Sauerstoff eingetragen als eigentlich benötigt wird. Die überschüssige Menge Sauerstoff geht somit verloren und darf nicht angerechnet werden.

Die tatsächlich anrechenbare Sauerstoffmenge ist somit:

$$\alpha\text{OC}_{\text{CF,d}} = 401,38 \cdot 8,31 = 3.335,47 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

In das Belebungsbecken muss nun noch folgende Sauerstoffmenge eingetragen werden (sie ergibt sich aus der Differenz dieser zwei Werte):

$$\begin{aligned}\alpha\text{OC}_{\text{BB}} &= \alpha\text{OC}_{\text{d}} - \alpha\text{OC}_{\text{CF,d}} \\ &= 9.633,00 - 3.335,47 = 6.297,53 \text{ kgO}_2/\text{d}\end{aligned}$$

Im Handbuch "Biologische und weitergehende Abwasserreinigung" [ATV, 1997] ist ein Wert  $\alpha_{\text{BB}}$  zum Sauerstofftrag gegeben. Dieser allerdings bezieht sich auf die Sauerstoffmenge in Reinwasser. Um mit Hilfe dieses Wertes den Energieverbrauch der Belebungsgebläse berechnen zu können, muss zunächst die Sauerstoffmenge in Bezug auf Reinwasser umgerechnet werden. Diese Umrechnung geschieht mittels des Grenzflächenfaktors  $\alpha_{\text{BB}}$ .

Der Grenzflächenfaktor beträgt nach Angaben der ATV DVWK A 131 und dem Handbuch „Energie in Kläranlagen“ [MUNLV, 1999] 0,69. In Anbetracht des hohen TS-Gehaltes wird dieser Wert mittels eines Diagramms [MUNLV, 2003] abgemindert.

$$\alpha_{\text{BB}} = 0,65$$

Die auf Mischwasser bezogene Sauerstoffmenge ergibt sich somit zu:

$$\text{OC}_{\text{R}} = \alpha\text{OC}_{\text{BB}} / \alpha_{\text{BB}} = 6.297,53 / 0,65 = 9.688,51 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Im Handbuch "Biologische und weitergehende Abwasserreinigung" [ATV, 1997] wird dieser Sauerstofftrag bestimmt zu:

$$OP = 3,90 \text{ kg/kWh}$$

Mittels dieser Angabe ist der spezifische Energieverbrauch der Belebungsgebläse bestimmbar.

$$\begin{aligned} E_{a, BB} &= OC_R / OP \cdot 365 \\ &= 9.688,51 / 3,90 \cdot 365 = 906.745,17 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

$$E_{\text{spez}, BB} = 906.745,17 / (14.000 \cdot 365) = 0,18 \text{ kWh/m}^3$$

*Mit Air Cycling (10/10):*

Der Luftbedarf der Crossflow-Gebläse beträgt bei Air-Cycling und einem 10s/10s-Rhythmus nur noch die Hälfte der zuvor berechneten Menge:

$$\begin{aligned} Q_{L, CF, AC} &= Q_{L, CF} \cdot 0,5 \\ &= 49.280 \cdot 0,5 = 24.640 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} OC_{CF, AC} &= OC_{CF} \cdot 0,5 \\ &= 4.299,93 \cdot 0,5 = 2.149,96 \text{ kgO}_2/\text{d} \end{aligned}$$

Bei geringerer Crossflow-Belüftung verringert sich folglich auch die eingebrachte Sauerstoffmenge im Belebungsbecken. Da in diesem Fall der benötigte Luftbedarf pro Stunde im Belebungsbecken zu keiner Zeit durch den stündlichen Eintrag des Sauerstoffs aus Crossflow vollständig gedeckt werden kann, kann der Sauerstoffeintrag aus der Crossflow-Belüftung komplett angesetzt werden. Analog zu der obigen Rechnung lassen sich der noch zusätzlich benötigte Sauerstoff und die spezifische Energie der Belebungsgebläse bestimmen.

$$\begin{aligned} OC_{BB, AC} &= \alpha OC_d - Q_{L, CF, AC} \\ &= 9.633,00 - 2.149,96 = 7.483,04 \text{ kgO}_2/\text{d} \end{aligned}$$

$$E_{a, BB, AC} = 11.512,36 / 3,90 \cdot 365 = 1.077.438,82 \text{ kWh/a}$$

$$E_{\text{spez}, BB, AC} = 1.077.438,82 / (14.000 \cdot 365) = 0,21 \text{ kWh/m}^3$$

Wie erwartet ist der Energieverbrauch der Belebungsgebläse mit Air-Cycling deutlich höher als ohne Air-Cycling. Aufgrund der überwiegenden Energieeinsparung bei den Crossflow-Gebläsen stellt der Air-Cycling-Betrieb dennoch die energetisch günstigere Betriebsweise dar.

Rezirkulation:

Die Auslegung der Rezirkulationspumpen erfolgt in Abhängigkeit der Trockenwetterwassermenge.

Jahreswassermenge bei Trockenwetter:

$$Q_a = 14.000 \cdot 365 = 5.110.000 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$h = 0,4 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\eta_G = 50 \%$$

Zur Begrenzung des TS-Gradienten innerhalb der Anlage und um unnötig hohe TS-Gehalte im Membranbelebungsbecken zu vermeiden, wird ein für Membranbelebungsanlagen übliches Rezirkulationsverhältnis von 6 der energetischen Beurteilung zu Grunde gelegt. Die Rezirkulationsmenge lässt sich somit bestimmen.

$$RZ = 6$$

$$Q_{a,RZ} = Q_a \cdot RZ = 5.110.000 \cdot 6 = 30.660.000 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$\begin{aligned} Q_{RZ} &= Q_{a,RZ} / (365 \cdot 24 \cdot 3.600) \\ &= 30.660.000 / (365 \cdot 24 \cdot 3.600) \\ &= 0,97 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Daraus lässt sich die benötigte Leistung berechnen zu

$$\begin{aligned} P_{,RZ} &= (h \cdot Q_{RZ} \cdot g) / \eta_G \\ &= (0,4 \cdot 0,97 \cdot 9,81) / 0,5 = 7,6 \text{ kW} \end{aligned}$$

und anschließend umwandeln in die benötigte Energie

$$E_{a,RZ} = 8.760 \cdot 7,6 = 66.576 \text{ kWh/a}$$

$$E_{\text{spez},RZ} = 66.576 / 5.110.000 = 0,013 \text{ kWh/m}^3$$

### Permeatpumpen

Die Betrachtung der Permeatpumpen der Modellanlage wird unterteilt in die Arbeitsschritte Filtrieren und Rückspülen. Der Energieverbrauch jedes Vorganges wird zunächst einzeln berechnet und im Anschluss addiert.

Um die Leistung und anschließend die Energieaufnahme der Permeatpumpen bestimmen zu können, wird zuerst das Verhältnis von Brutto- zu Netto-Fluss genauer betrachtet. Eine Filtrationsphase der Membranstufe wird gemäß Herstellerangaben zu 800 Sekunden gewählt, die Rückspülphase zu 50 Sekunden.

#### *Ermittlung des Brutto/Netto-Verhältnisses:*

Der Netto-Fluss ist mit  $v_{F,\text{netto}} = 20,0 \text{ l}/(\text{m}^2\text{h})$  gegeben. Das Rückspülverhältnis wird wie üblich für Module des Herstellers Zenon zu 1,5 gewählt.

$$V_{F,netto} = 20,0 \text{ l/(m}^2\text{h)} = 0,33 \text{ l/(m}^2\text{min)}$$

$$RSV = 1,5$$

$$t_F = 800 / 60 = 13,33 \text{ min}$$

$$t_{RS} = 50 / 60 = 0,83 \text{ min}$$

Zur Berechnung des Brutto/Netto-Verhältnisses wird folgende Formel verwendet:

$$V_{F,brutto} / V_{F,netto} = (t_{RS} + t_F) / (t_F - t_{RS} \cdot RSV)$$

Bei gegebenem Netto Fluss lässt sich die Formel umstellen nach

$$V_{F,brutto} = (t_{RS} + t_F) \cdot V_{F,netto} / (t_F - t_{RS} \cdot RSV)$$

$$\begin{aligned} V_{F,brutto} &= (0,83 + 13,33) \cdot 0,33 / (13,33 - 0,83 \cdot 1,5) \\ &= 0,39 \text{ l/(m}^2\text{min)} \end{aligned}$$

$$V_{F,brutto} = 23,4 \text{ l/(m}^2\text{h)}$$

Das Verhältnis Brutto-Netto Fluss beträgt somit:

$$V_{F,brutto} / V_{F,netto} = 23,4 / 20 = 1,17$$

Aus diesen Angaben lässt sich zunächst der Rückspülfluss bestimmen

$$V_{F,RS} = V_{F,brutto} \cdot RSV$$

$$V_{F,RS} = 0,39 \cdot 1,5 = 0,59 \text{ l/(m}^2\text{min)}$$

Durch Angabe der Brutto- und Netto-Flüsse sowie der Filtrations- und Rückspülzeiten lassen sich weiterhin auch die während eines Filtrationszyklus pro Flächeneinheit filtrierte Wassermengen berechnen:

$$\begin{aligned} V_{netto} &= v_{F,netto} \cdot (t_{RS} + t_F) \\ &= 0,33 \cdot (0,83 + 13,33) = 4,67 \text{ l/(m}^2) \end{aligned}$$

Die Durchflussmenge während der Filtrationsphase beträgt:

$$V_F = V_{F,brutto} \cdot t_F = 0,39 \cdot 13,33 = 5,20 \text{ l/(m}^2)$$

Die Durchflussmenge während der Rückspülphase beträgt:

$$V_{RS} = V_{F,RS} \cdot t_{RS}$$

$$V_{RS} = 0,59 \cdot 0,83 = 0,49 \text{ l/(m}^2)$$

**Anmerkung:** Bei den hier bestimmten Filtrations- und Rückspülzeiten und den darauf basierenden Flüssen handelt es sich um theoretische Werte, die zur Abbildung einer ide-

alen Modellanlage herangezogen wurden. In der Realität können diese Werte aufgrund von Verzögerungen durch Schaltvorgänge (Schieber, Anlaufzeiten Pumpen etc.) nicht erreicht werden. Je nach Anlagenkonfiguration und Komplexität verkürzen sich damit die Intervalle in denen effektiv filtriert oder rückgespült wird, bzw. wird das volle Rückspülverhältnis von 1,5 gar nicht erreicht. Diese Parameter sind also in höchstem Maße von der jeweiligen Anlagenauslegung abhängig und können in der theoretischen Modellanlage nur sehr schwer bzw. gar nicht abgebildet werden. Die hier ermittelten Werte sind als **Optimalwerte** zu verstehen, die in der Realität höchstwahrscheinlich nicht erreicht werden können sondern nur als Orientierung zu verstehen sind.

#### *Ermittlung des Energieverbrauchs:*

##### Filtrieren:

Um den Energieverbrauch der Permeatpumpen während des Abzugvorgangs zu bestimmen, muss zunächst der Durchfluss, bezogen auf die Trockenwetterwassermenge im Jahresmittel, bestimmt werden. Durch das Brutto/Netto-Verhältnis lässt sich die veränderte Wassermenge berechnen

$$Q_{\text{BNV}} = Q_{\text{T,d,AM}} \cdot 365 \cdot \text{BNV}$$

$$Q_{\text{BNV}} = 14.000 \cdot 365 \cdot 1,17 = 5.978.700 \text{ m}^3/\text{a}$$

$$Q_{\text{F,BNV}} = Q_{\text{BNV}} / (365 \cdot 24 \cdot 3.600)$$

$$Q_{\text{F,BNV}} = 5.978.700 / (365 \cdot 24 \cdot 3.600) = 0,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

Der Saugdruck der Permeatpumpen beträgt auf dem realen GWK Nordkanal ca.:

$$\Delta p_s = 0,12 \text{ bar} = 1,20 \text{ m}$$

Da die Anlage dort aus hydraulischer Sicht als durchaus vergleichbare Anlage angesehen kann, wird dieser Wert auch für die Modellanlage herangezogen. Auch auf den vorhandenen Fact Sheets des Herstellers Zenon wird der Druck zu -55 bis 55 kPa angegeben, was -0,55 bis 0,55 bar entspricht. Innerhalb dieses Wertebereichs befindet sich auch der gewählte Saugdruck.

Der Gesamtwirkungsgrad wird hier zu 60 % gewählt. Durch diese Angaben lassen sich nun die erforderliche Leistung und Energie des Abpumpvorganges bestimmen:

$$P_{\text{PP}} = (\Delta p_s \cdot Q_{\text{F,BNV}} \cdot g) / \eta_G$$

$$P_{\text{PP,1}} = (1,20 \cdot 0,19 \cdot 9,81) / 0,6 = 3,73 \text{ kW}$$

$$E_{\text{a,PP,1}} = 8.760 \cdot P_{\text{PP,1}} = 8.760 \cdot 3,73 = 32.674,8 \text{ kWh/a}$$

$$E_{\text{spez,PP,1}} = 32.587,2 / 5.110.000 = 0,006 \text{ kWh/m}^3$$

##### Rückspülen:

Für den Vorgang des Rückspülens muss speziell das Rückspülverhältnis bestimmt werden. Dazu berechnet man den Quotienten aus Rückspülwassermenge und Netto-Wassermenge.

Betrachtet man einen Zyklus aus Filtrieren und Rückspülen, wie unter Ermittlung des Brutto-Netto-Verhältnisses dargestellt wurde, so lässt sich daraus das Rückspülverhältnis eines Zyklus bestimmen:

$$\text{RSV} = V_{\text{RS}} / V_{\text{netto}}$$

$$\text{RSV} = 0,49 / 4,67 = 0,105$$

Die reduzierte Jahreswassermenge der Rückspülzyklen beträgt somit:

$$Q_{\text{RSV}} = Q_{\text{T,d,AM}} \cdot 365 \cdot \text{RSV}$$

$$Q_{\text{RSV}} = 14.000 \cdot 365 \cdot 0,105 = 536.550 \text{ m}^3/\text{a},$$

der Durchfluss somit

$$Q_{\text{F,RSV}} = Q_{\text{RV}} / (365 \cdot 24 \cdot 3.600)$$

$$Q_{\text{F,RSV}} = 536.550 / (365 \cdot 24 \cdot 3.600) = 0,017 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Der Spüldruck während der Rückspülphase liegt deutlich über dem mittleren Saugdruck:

$$\Delta p_{\text{sp}} = 0,25 \text{ bar} = 2,50 \text{ m}$$

$$P_{\text{PP},2} = (\Delta p_s \cdot Q_{\text{F,BNV}} \cdot g) / \eta_G$$

$$P_{\text{PP},2} = (2,50 \cdot 0,017 \cdot 9,81) / 0,6 = 0,695 \text{ kW}$$

$$E_{\text{a,PP},2} = 8.760 \cdot L_{\text{PP},2} \cdot 0,695 = 6.088,2 \text{ kWh/a}$$

$$E_{\text{spez,PP},2} = 6.088,2 / 5.110.000 = 0,001 \text{ kWh/m}^3$$

Der gesamte Energieverbrauch der Permeatpumpen setzt sich nun als Summe der einzelnen spezifischen Energien aus Filtrieren und Rückspülen zusammen:

$$E_{\text{spez,PP}} = E_{\text{spez,PP},1} + E_{\text{spez,PP},2}$$

$$= 0,006 + 0,001 = 0,007 \text{ kWh/m}^3$$

### Rührwerke

Die Auslegung der Rührwerke erfolgt in Abhängigkeit des Beckenvolumens. Grob gerundet ergibt das Volumen des gesamten Belebungsbeckens nach Berechnung mit Hochschulgruppenansatz:

$$V_{\text{BB}} = 14.000 \text{ m}^3$$

Im Handbuch "Energie in Kläranlagen" [MUNLV, 1999] wird für den Energiebedarf der Rührwerke ein Wert zwischen 1,5 und 2 Watt pro m<sup>3</sup> Volumen bei optimalen Beckenabmessungen angegeben. Inzwischen wird dieser Wert laut verschiedenen Herstellern auch unterschritten (ca. 1,2 W/m<sup>3</sup>). Im Hinblick auf die Modellanlage gilt es aber folgende Punkte zu beachten:

Die Werte gelten für den Anwendungsfall, ein Sedimentieren des Belebtschlamm zu verhindern. Eine vollständige Durchmischung eines Beckens, bspw. um das Abwasser-Belebtschlamm-Gemisch auf alle Membranmodule im Nitrifikations-Membranbecken auch gegen die evt. in Betrieb befindliche feinblasige Druckbelüftung gleichmäßig zu verteilen, sind höhere Energieeintragswerte erforderlich. Zur genauen Bestimmung sind dabei aber 3D-Strömungssimulationen durchzuführen. Die Ergebnisse sind in jedem Fall sehr von der Beckengeometrie abhängig. Zum anderen sind die genannten Werte für TS-Gehalte konventioneller Belebungsanlagen zu verstehen. Der erforderliche Energieeintrag wird gemäß Herstellerangaben aber durch die höheren TS-Gehalte einer MBR-Anlage nicht signifikant erhöht.

Es ist somit davon auszugehen, dass bei geometrisch optimaler Beckengestaltung in den Denitrifikations- und Variozonen ein Energieeintrag < 2 W/m<sup>3</sup> ausreichend ist, während er im Membranbecken darüber liegt. Im Mittel wird daher der Wert von 2 Watt/m<sup>3</sup> angesetzt. Weiterhin wird davon ausgegangen, dass die Variozonen über das gesamte Jahr ohne Belüftung betrieben werden, da gemäß Bemessung ausreichen Nitrifikationsvolumen vorhanden ist. Dies bestätigt auch der Betrieb der realen Anlage Nordkanal:

$$E_{d,RW} = V_{BB} \cdot 2 = 14.000 \cdot 2 = 28.000 \text{ W/d}$$

Auf ein ganzes Jahr hochgerechnet ergibt sich somit ein Wert von:

$$E_{a,RW} = E_{d,RW} \cdot 365 = 28.000 \cdot 8.760 / 1000 = 24.528 \text{ kWh/a}$$

Der spezifische Energieverbrauch der Rührwerke errechnet sich zu:

$$\begin{aligned} E_{\text{spez,RW}} &= E_{a,RW} / Q_{T,d,AM} \\ &= 24.528 / (14.000 \cdot 365) \\ &= 0,048 \text{ kWh/m}^3 \end{aligned}$$

#### Bestimmung des gesamten Energieverbrauchs der Membranstufe:

Der gesamte Energieverbrauch der Belebungs- und der Membranfiltrationsstufe der Modellanlage ergibt sich aus der Summe der Energiewerte der einzelnen Verbraucher. Zusätzlich erfolgt ein prozentualer Aufschlag auf den Gesamtverbrauch für den Überschussschlammabzug und die Reinigung. Aufgrund des im absoluten geringen Energieverbrauchs dieser Verfahrensstufen, werden hier die tatsächlich auf dem GWK Nordkanal gemessenen prozentualen Werte übernommen.

Nach Auswertung der Daten des GWK Nordkanal beträgt der Energieverbrauch für Überschussschlammabzug ca. 1,05 % und der der Reinigung 0,25 % des Gesamtenergieverbrauchs der Membranstufe.

*Betrachtung ohne Air-Cycling:*

$$\begin{aligned} E_{\text{ges}} &= E_{\text{spez,CF}} + E_{\text{spez,BB}} + E_{\text{spez,PP}} + E_{\text{spez,RZ}} + E_{\text{spez,RW}} \\ &= 0,40 + 0,14 + 0,007 + 0,013 + 0,048 \\ &= 0,60 \text{ kWh/m}^3 \end{aligned}$$

$$E_{\text{ÜSS}} = 0,0105 \cdot 0,6 = 0,006 \text{ kWh/m}^3$$

$$E_{\text{Rein}} = 0,0025 \cdot 0,6 = 0,0015 \text{ kWh/m}^3$$

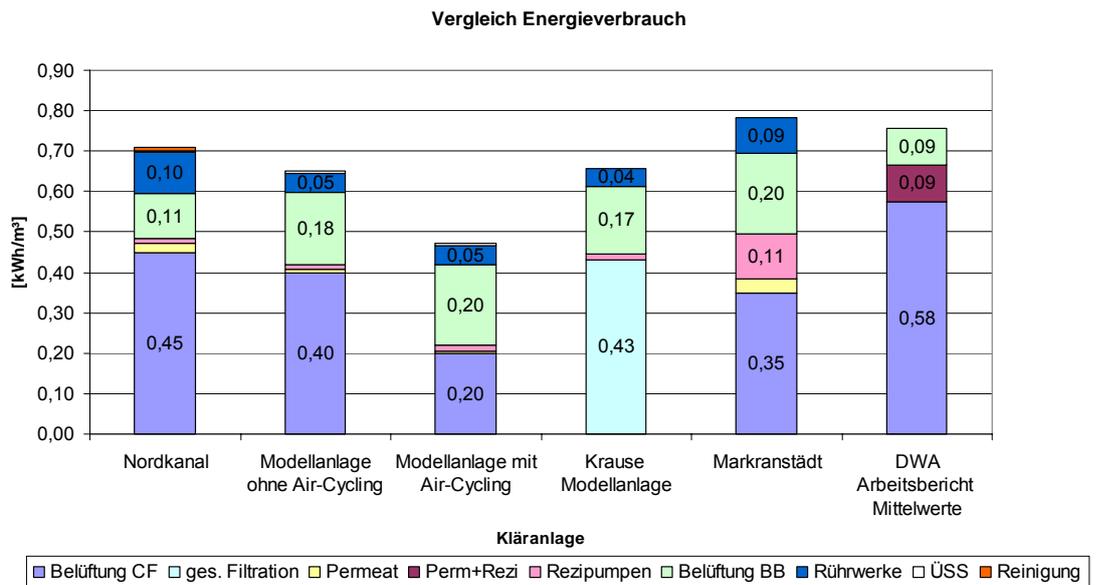
$$\begin{aligned} E_{\text{ges}} &= E_{\text{ges}} + E_{\text{ÜSS}} + E_{\text{Rein}} \\ &= 0,6 + 0,006 + 0,0015 \\ &= 0,61 \text{ kWh/m}^3 \end{aligned}$$

*Betrachtung mit Air-Cycling (10s/10s):*

$$\begin{aligned} E_{\text{ges,AC}} &= E_{\text{spez,CF,AC}} + E_{\text{spez,BB}} + E_{\text{spez,PP}} + E_{\text{spez,RZ}} + E_{\text{spez,RW}} + E_{\text{ÜSS}} + \\ &\quad E_{\text{Rein}} \\ &= 0,20 + 0,14 + 0,20 + 0,013 + 0,048 + 0,006 + 0,0015 \\ &= 0,48 \text{ kWh/m}^3 \end{aligned}$$

Vergleich der berechneten Werte mit bekannten Werten anderer Kläranlagen

Um die nun ermittelten Idealwerte der erstellten Modelanlage hinsichtlich ihrer Plausibilität einschätzen und verifizieren zu können, werden die ermittelten Daten denen von anderen Membranbelebungsanlagen gegenüber gestellt. Neben den bekannten Daten des GWK Nordkanal wurden durch Literaturrecherche zusätzlich unterschiedliche Kläranlagen ausgewählt. So wurde bereits in einer Dissertation der TU Darmstadt eine ähnlich aufgebaute Modelanlage (ohne Air-Cycling) entwickelt [Krause, 2005]. Des Weiteren waren Daten der Kläranlage Markranstädt und Mittelwerte in einem DWA-Arbeitsbericht [DWA, 2005] zu finden. Aufgrund der nicht immer gleichen Datengrundlage werden in manchen Fällen in der Modelanlage einzeln betrachtete Verfahrensschritte energetisch zusammengefasst, z. B. Permeat- und Rezirkulationspumpen. Abbildung 3.1 stellt die einzelnen Ergebnisse einander gegenüber:



**Abbildung 3.1: Gegenüberstellung Energieverbrauch realer MBR-Anlagen und verschiedener theoretischer Modelle**

Die theoretisch ermittelten Werte für die Modellanlage ohne Air-Cycling stimmen mit den bereits zuvor von KRAUSE ermittelten Werten sehr gut überein. Diese Werte sind unter normalem Betrieb und oft nicht idealen Gegebenheiten nicht einzuhalten. Alle realen betriebswerte liegen darüber. Die ermittelten Werte sind daher im Sinne des Handbuchs „Energie in Kläranlagen“ als Ideal- und nicht als Richtwerte zu verstehen. Dies erklärt sich auch aus der theoretischen Herleitung.

Es wird deutlich, dass durch eine Air-Cycling Betrieb der Energieverbrauch weiter reduziert werden kann. Selbst wenn sich der Energieverbrauch der Belebung erhöht, so bleibt der Energieverbrauch in der Summe immer noch deutlich unter dem Verbrauch bei Betrieb ohne Air-Cycling. Eine erfolgreiche Umsetzung des 30s/10s-Rhythmus würde weitere Einsparungen bringen.

Betrachtung der mechanischen Vorreinigung

Zur Elimination größerer Bestandteile wird der Abwasserstrom zunächst mechanisch behandelt. Absetzbare Stoffe werden hier entfernt. Bei einer konventionellen Kläranlage geschieht dies meist zunächst durch die Hintereinanderschaltung von Rechen und Sandfang mit nachfolgendem Vorklärbecken. Bei einer Kläranlage mit Membranfiltration muss das Wasser möglichst frei von Feststoffen sein, damit die Funktionstüchtigkeit der Membrane gewährleistet wird. Befinden sich zu viele grobe Bestandteile im Abwasser, so kommt es zu Verblockungen und Verzopfungen der Membranen. Die Filtrationsleistung wird deutlich verringert. Aus diesem Grund ist es für Kläranlagen mit Hohlfasermembranen von enormer Wichtigkeit, das Abwasser bereits in der mechanischen Vorreinigung weitestgehend von allen Feststoffen zu befreien. Dies wird umgesetzt, indem zunächst ein Feinrechen alle größeren Bestandteile des Wassers abfängt, das Abwasser anschließend einen Sand- und Fettfang durchfließt und in Folge dann durch Feinsiebe mit Maschen oder Spaltweiten von ca. 1 mm noch einmal gereinigt wird. Diese zusätzliche Komponente der mechanischen Vorreinigung ist notwendig, um die Filtrationslei-

tung der Membranen zu garantieren. Durch den Betrieb der Feinsiebe entsteht aber auch ein etwas höherer Energieverbrauch, als es bei konventionellen Anlagen der Fall ist.

Im Folgenden ist dargestellt, wie sich der Energiebedarf einer ideal gedachten mechanischen Vorreinigung zusammensetzt. Im Vergleich dazu werden anschließend die Werte vom GWK Nordkanal und die Werte von Krause verglichen.

#### Hebewerke:

Das ankommende Abwasser muss zunächst häufig aus topografischen Gründen angehoben werden. Für Abwasserhebewerke im Zulauf der Kläranlage wird im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ [MUNLV, 1999] bereits eine Aussage zum Energieverbrauch getroffen. Für eine dort angenommene Förderhöhe von 3 m ergibt sich:

$$E_{\text{spez,H}} = 13,9 \text{ Wh/m}^3$$

Zum Vergleich berechnen wir den Energieverbrauch des Hebewerks nach gegebener Formel [Krause, 2006].

Die allgemeine Gleichung zu Ermittlung des Leistungsbedarfs von Pumpen lautet

$$P = (\rho \cdot g \cdot Q \cdot h) / \eta,$$

wobei die Wasserdichte zu  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  und die Erdbeschleunigung  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  bekannt sind. Als Wassermenge betrachten wir die gegebene Jahreswassermenge

$$Q_a = 5.110.000 \text{ m}^3/\text{a}$$

Die Förderhöhe wird an dieser Stelle nach Angaben im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ [MUNLV, 1999] zu 3 m gewählt:

$$h = 3 \text{ m.}$$

Beim GWK Nordkanal liegen etwas andere topografische Gegebenheiten vor. Dort wird das Abwasser über eine Druckrohrleitung vom alten Standort mehrere Kilometer bis vor den Rechen gepumpt. Aus diesem Grund lässt sich auch bereits an dieser Stelle darauf schließen, dass der Energieverbrauch im Nordkanal deutlich höher sein wird als der im Modell errechnete.

Der Gesamtwirkungsgrad des Hebewerkes wird zu 70 % angesetzt. Somit ergibt sich für den Energieverbrauch des Hebewerkes:

$$\begin{aligned} P &= (1.000 \cdot 9,81 \cdot 5.110.000 \cdot 3) / 0,7 \text{ J} \\ &= 59.677,50 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

Dies bezogen auf die Wassermenge ergibt:

$$E_{\text{spez,H}} = 11,68 \text{ Wh/m}^3$$

Für die weitere Rechnung verwenden wir aber den etwas höheren Wert des Handbuchs.

### Rechen und Sandfang:

Für Rechen und Sandfang finden sich im Handbuch "Energie in Kläranlagen" [MUNLV, 1999] bereits errechnete spezifische Energieverbräuche. Diese können übernommen und in die Mengenermittlung mit einbezogen werden.

Für eine Rechenanlage inklusive Räumern, Rechenguttransport, -entwässerung und -wäsche ergibt sich ein Wert von:

$$E_{\text{spez,R}} = 1,5 \text{ Wh/m}^3$$

Ein belüfteter Sandfang inklusive Gebläse, Räumern, Entnahmepumpe und Wäsche verbraucht laut Handbuch:

$$E_{\text{spez,SF}} = 5,5 \text{ Wh/m}^3$$

### Feinsieb:

Das Feinsieb ist nun die Komponente der mechanischen Vorreinigung, die zusätzlich bei Membrananlagen mit Hohlfasermodulen zur Eliminierung von kleinen Partikeln eingesetzt wird. In konventionellen Kläranlagen ist sie für gewöhnlich nicht zu finden. Aus diesem Grunde finden sich im Handbuch "Energie in Kläranlagen" [MUNLV, 1999] auch keine Angaben zum Energieverbrauch. Die Feinsiebe im GWK Nordkanal sind Bauteile der Firma Huber. Um vergleichen zu können, wird für die Modellanlage auch dieser Hersteller gewählt. Nach Herstellerangaben [Reber, 2004] verbraucht ein Feinsieb:

$$E_{\text{spez,FS}} = 3 \text{ Wh/m}^3$$

Zusätzlich werden Querförderer und Waschpresse abhängig vom Siebgutanfall betrieben.

Angaben zum Anfall des Siebgutes bei Feinrechen sind in Abhängigkeit der Durchgangsweite in der ATV-DVWK-M 369 [ATV-DVWK, 2005] zu finden. Weiterhin gibt es aber auch Messungen zur spezifischen Siebgutmenge von Huber. Für ein Maschensieb mit 1 mm Maschenweite ergibt sich demnach:

$$\begin{aligned} SG_{\text{spez,1mm}} &= 22,72 \text{ l/(E}\cdot\text{a)} \\ &= 4,98 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

Da aber zuvor bereits Rechengut am Rechen mit ca. 6 mm Maschenweite anfällt, müssen wir die zuvor entstandene Siebgutmenge abziehen. Auch hier existieren spezifische Werte für den Rechengutanfall [[http://www.dgmt.org/kassel\\_dez06/frommann.pdf](http://www.dgmt.org/kassel_dez06/frommann.pdf)]:

$$\begin{aligned} SG_{\text{spez,6mm}} &= 7,9 \text{ l/(E}\cdot\text{a)} \\ &= 1,73 \text{ m}^3/\text{d.} \end{aligned}$$

Daraus folgt dann für die zu betrachtende Menge:

$$\begin{aligned} SG_{\text{spez}} &= SG_{\text{spez},1\text{mm}} - SG_{\text{spez},6\text{mm}} \\ &= 4,98 - 1,73 = 3,25 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

Der Querförderer wird nun aus Erfahrungswerten mit 1,5 kW und einer Laufzeit von 2 Stunden täglich dimensioniert. Daraus ergibt sich die spezifische Energie:

$$\begin{aligned} E_{\text{spez,QF}} &= 1,5 \cdot 2 \text{ kWh/d} \\ &= 0,21 \text{ Wh/m}^3 \end{aligned}$$

Ebenso wird die Waschpresse des Feinsiebs bemessen. Mit einer gewählten Leistung von 2,5 kW und einer Betriebszeit von 2 Stunden am Tag verbraucht er diese spezifische Energie im Jahr:

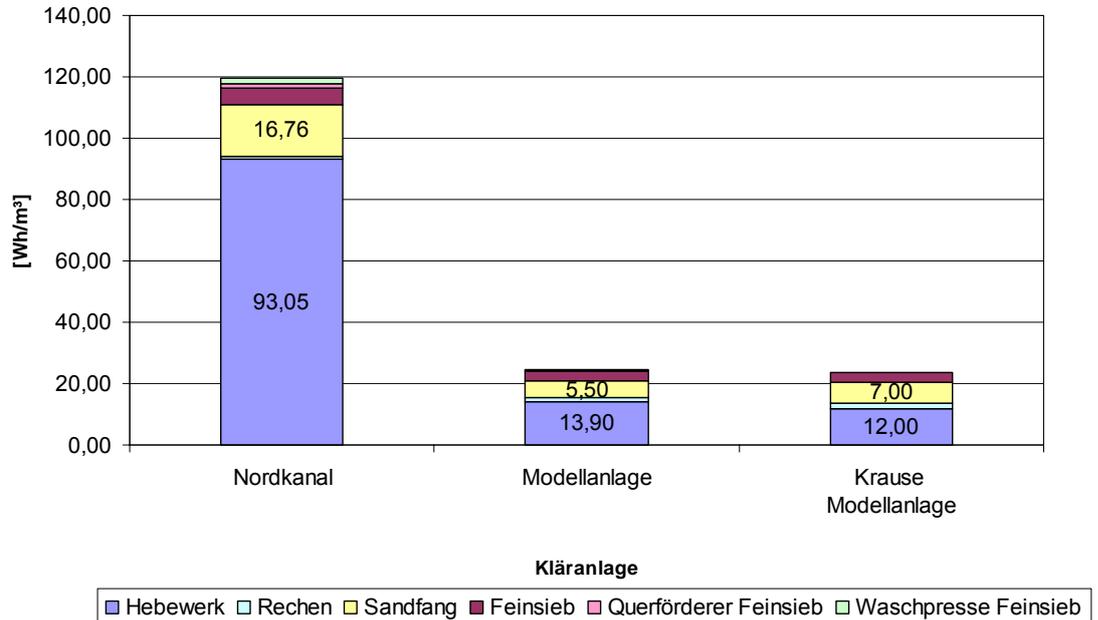
$$\begin{aligned} E_{\text{spez,WP}} &= 2,5 \cdot 2 \text{ kWh/d} \\ &= 0,36 \text{ Wh/m}^3 \end{aligned}$$

Zur Betrachtung des Bereichs der gesamten mechanischen Vorreinigung addiert man alle spezifischen Verbräuche der einzelnen Verfahrensstufen. Daraus ergibt sich:

$$\begin{aligned} E_{\text{spez,mV}} &= E_{\text{spez,H}} + E_{\text{spez,R}} + E_{\text{spez,SF}} + E_{\text{spez,FS}} + E_{\text{spez,QF}} + E_{\text{spez,WP}} \\ &= 13,9 + 1,5 + 7 + 3 + 0,21 + 0,36 \\ &= 25,97 \text{ Wh/m}^3 \\ &= 0,02597 \text{ kWh/m}^3 \end{aligned}$$

Folgendes Diagramm stellt die Verbräuche der mechanischen Vorreinigung der Modellanlage, des GWK Nordkanal und der Modellanlage von Krause gegenüber:

**Vergleich Energieverbrauch mechanische Vorreinigung**



**Abbildung 3.2: Gegenüberstellung Energieverbrauch für mechanische Vorreinigung des GWK Nordkanal und für zwei Modellanlagen**

Wiederum ist die gute Vergleichbarkeit zwischen den beiden Modellanlagen erkennbar, sodass die Werte als sehr plausibel angesehen werden können. Wie erkennbar ist, verbrauchen die Hebewerke des GWK Nordkanal wesentlich mehr Energie als die beiden Modellanlagen. Dies ist dadurch begründet, dass ca. 80% des Abwassers über eine mehrere Kilometer lange Druckrohrleitung vom alten Standort und vom Pumpwerk Korschenbroich bis direkt vor den Rechen gehoben wird. Die erforderliche manometrische Druckhöhe liegt deutlich über der für die Modellanlage angesetzten Förderhöhe von 3 m. Wie erkennbar ist, weist der Sandfang des GWK Nordkanal einen deutlich höheren Wert auf als die beiden Modellanlagen.

Schlammbehandlung und Infrastruktur

Auch die Verfahrensstufen Schlammbehandlung und Infrastruktur tragen zum gesamten Energieverbrauch der Kläranlage bei. Zwar ist ihr Anteil im Vergleich zur Membranstufe relativ gering, dennoch werden sie in die Endsumme mit einbezogen. Da diese Stufen auch in einer konventionellen Anlage vorhanden sind, kann hier wieder nach dem Handbuch “Energie in Kläranlagen” vorgegangen werden.

In den entsprechenden Kapiteln finden sich Angaben zur Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs. Diese wurden für die Modellanlage übertragen und angewendet.

*Schlammbehandlung*

Für eine vorhandene statische Voreindickung wird laut Handbuch kein Energieverbrauch angerechnet. Die Beschickung der statischen Voreindickung ist im Überschussschlammabzug beinhaltet. Somit wird für die Modellanlage lediglich die Eindickung mittels Zentrifuge energetisch betrachtet.

Für Hochleistungsentwässerungszentrifugen erster und zweiter Generation werden auf den Zulauf bezogene schlammsspezifische Stromverbräuche zwischen 1,98 und 1,19 kWh/m<sup>3</sup> angegeben. Für die ideale Modellanlage wählen wir das energetisch sparsamste Aggregat und erhalten damit

$$E_{\text{spez,Sch}} = 1,19 \text{ kWh/m}^3$$

Diese Angabe bezieht sich nicht auf die Wassermenge, sondern die vorhandene Schlammmenge. Nach Literaturangaben [Imhoff, 1999] kann mit einem TS-Gehalt von 50 g/(E·d) nun die anfallende Schlammmenge der Modellanlage berechnet werden:

$$\ddot{U}_S = 50 \cdot 80.000/1.000 = 4.000 \text{ kg/d.}$$

Um diese Schlammmenge nun auf die Jahreswassermenge zu beziehen und somit auch in den spezifische Gesamtenergiebedarf einbeziehen zu können, wird die Schlammmenge in einen Volumenstrom umgerechnet.

Nach IMHOFF besitzt der Schlamm im Zulauf zur Zentrifuge einen Trockenrückstand von 2,5 %:

$$TR = 2,5 \text{ \%}.$$

Als Volumenstrom betrachtet ergibt sich demnach:

$$\begin{aligned} Q_S &= \ddot{U}_S / TR \\ &= 4.000 / (2,5/100) = 160.000 \text{ l/d} \\ &= 160 \text{ m}^3/\text{d} \end{aligned}$$

Mit dem laut Handbuch gegebenen Energieverbrauch der Hochleistungsentwässerungszentrifuge ergibt dies umgerechnet auf ein Jahr

$$\begin{aligned} E_{\text{Sch}} &= E_{\text{spez,Sch}} \cdot Q_S \cdot 365 \\ &= 1,19 \cdot 160 \cdot 365 = 69.496 \text{ kWh/a} \end{aligned}$$

Folglich lässt sich nun auch der Energieverbrauch, bezogen auf die Jahreswassermenge, bestimmen, um ihn mit den anderen Energieangaben vergleichen zu können.

$$\begin{aligned} E_{\text{spez,SS}} &= E_{\text{Sch}} / (14.000 \cdot 365) \\ &= 69.496 / (14.000 \cdot 365) = 0,0136 \text{ kWh/m}^3 \end{aligned}$$

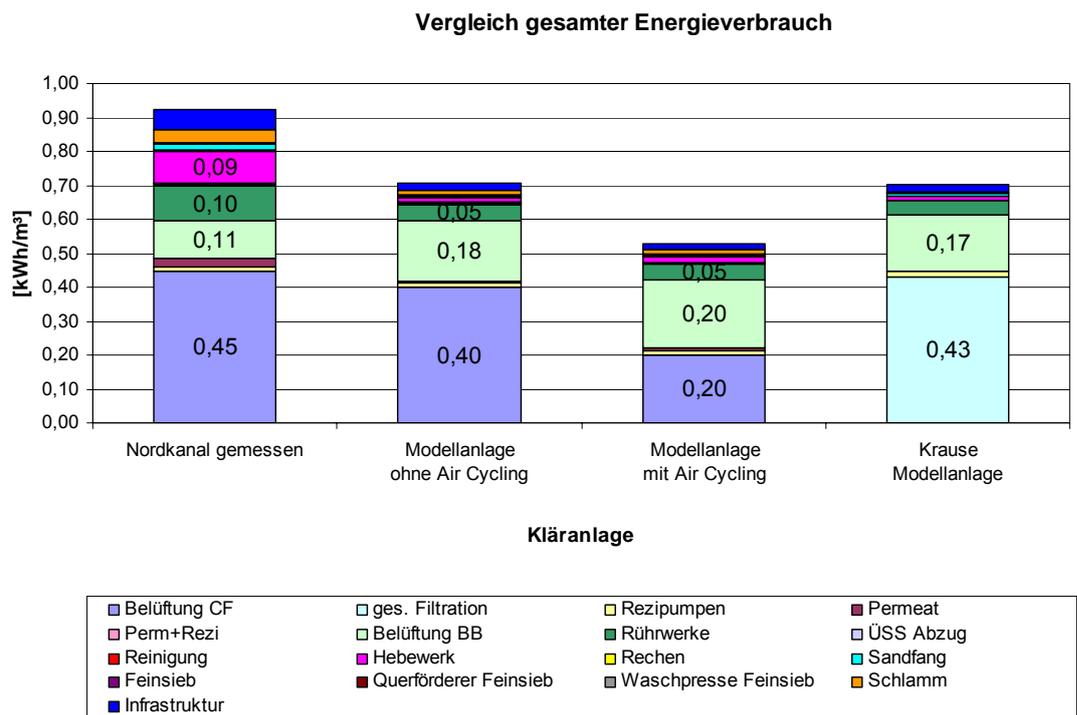
*Infrastruktur*

Der Energiebedarf für die Infrastruktur der konventionellen Modellanlage, die in ihrer Größenordnung auch mit der MBR-Modellanlage vergleichbar ist, wird im Handbuch "Energie in Kläranlagen" [MUNLV, 1999] zu 1,1 kWh/(EW·a) bestimmt. In diesem Wert sind die Energieverbräuche für Licht, Werkstatt, Labor, Trink- und Brauchwasserversorgung, Heizung, Lüftung und Abluftbehandlung enthalten. Dies entspricht somit einem spezifischen Energieverbrauch von

$$E_{\text{spez,Inf}} = 0,017 \text{ kWh/m}^3$$

Betrachtung des gesamten Energieverbrauchs

Nachdem nun alle relevanten Verbraucher energetisch betrachtet und berechnet wurden, lässt sich der gesamte Energiebedarf der Modellanlage bestimmen. Dies geschieht durch Aufsummierung der einzelnen Verfahrensstufen. Das Ergebnis dieser Betrachtung liefert das folgende Diagramm. Um die Modellanlage energetisch vergleichen und bewerten zu können, dienen die Beispiele des GWK Nordkanal und der Modellanlage von Krause. Weiterhin wurde die Modellanlage separat dargestellt für den Betrieb mit und ohne Air-Cycling.



**Abbildung 3.3: Gegenüberstellung Gesamtenergieverbrauch GWK Nordkanal und verschiedene Modellanlagen bei Trockenwetter**

Die gute Übereinstimmung zwischen den Modellanlagen ist erneut erkennbar. Der Gesamtenergieverbrauch für die Modellanlagen ohne Air-Cycling bei Trockenwetter liegt bei 0,70 kWh/m³. Bei KRAUSE wurde die Schlammbehandlung allerdings nicht berücksichtigt. Mit einem Air-Cycling im Rhythmus 10s/10s kann der Wert sogar auf

0,53 kWh/m<sup>3</sup> reduziert werden. Vergleicht man diesen jedoch mit dem Idealwert der konventionellen Kläranlage inkl. einer Filtration aus dem Handbuch „Energie in Kläranlagen“ von 0,28 kWh/m<sup>3</sup> erkennt man, dass konventionelle Kläranlagen energetisch immer noch günstiger sind als Membranbelebungsanlagen.

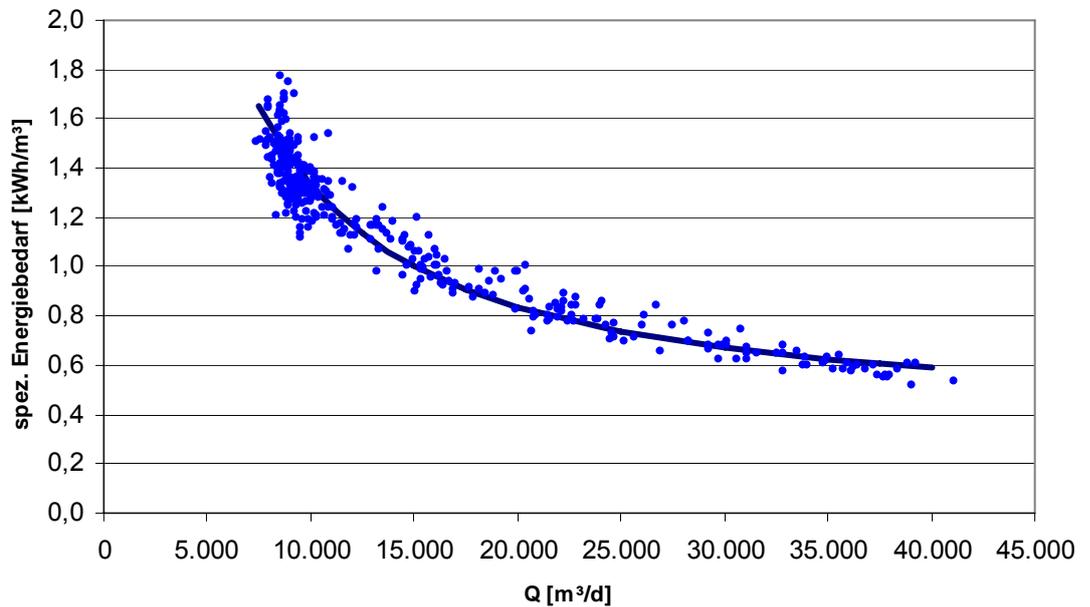
**Tabelle 3.5: Energieverbrauch der einzelnen Verfahrensstufen für das GWK Nordkanal und verschiedene Modellanlagen**

Verbraucher	Nordkanal gemessen [kWh/m <sup>3</sup> ]	Modellanlage ohne Air Cycling [kWh/m <sup>3</sup> ]	Modellanlage mit Air Cycling [kWh/m <sup>3</sup> ]	Krause Modellanlage [kWh/m <sup>3</sup> ]
Belüftung CF	0,45	0,40	0,20	0,00
ges. Filtration	0,00	0,00	0,00	0,43
Rezipumpen	0,01	0,01	0,01	0,02
Permeat	0,02	0,01	0,01	0,00
Perm+Rezi	0,00	0,00	0,00	0,00
Belüftung BB	0,11	0,18	0,20	0,17
Rührwerke	0,10	0,05	0,05	0,04
ÜSS Abzug	0,00	0,01	0,01	0,00
Reinigung	0,01	0,00	0,00	0,00
Hebewerk	0,09	0,01	0,01	0,01
Rechen	0,00	0,00	0,00	0,00
Sandfang	0,02	0,01	0,01	0,01
Feinsieb	0,01	0,00	0,00	0,00
Querförderer Feinsieb	0,00	0,00	0,00	0,00
Waschpresse Feinsieb	0,00	0,00	0,00	0,00
Schlamm	0,03	0,01	0,01	0,00
Infrastruktur	0,06	0,02	0,02	0,02
<b>Summe:</b>	<b>0,92</b>	<b>0,70</b>	<b>0,53</b>	<b>0,70</b>

### 3.3 Betrachtung des Energieverbrauchs für mittleren Mischwasserzufluss

Bisher wurde die Modellanlage für den Trockenwetterzulauf betrachtet, während die auf dem GWK Nordkanal tatsächlich gemessenen Daten sich auf die mittlere jährliche Abwassermenge beziehen. Aufgrund der höhenstandsabhängigen Regelung des Permeatabzugs ergeben sich an Trockenwettertagen deutlich kürzere Filtrationsdauern als an Tagen mit Mischwasserabfluss. Es wird daher weniger Luft durch die Crossflow-Gebläse eingetragen, und die Laufzeit der Belebungsgebläse erhöht sich. Darüber hinaus ist bspw. die absolute Energieaufnahme der Rührwerke unabhängig von der Zuflussmenge. Bei den höheren Zuflussmengen bei Mischwasserabfluss verbrauchen daher bspw. die Rührwerke spezifisch gesehen weniger Energie. Aufgrund dessen ist der spezifische Energieverbrauch an Trockenwettertagen höher als unter Mischwasserzufluss. Die folgende Abbildung verdeutlicht dies in Abhängigkeit der tatsächlichen Verbrauchswerte des GWK Nordkanal:

**Spez. Energiebedarf bezogen auf Q**



**Abbildung 3.4: Spezifischer Energieverbrauch bezogen auf die Wassermenge**

Es ist zu erkennen, dass bei Trockenwetterabflussmengen unter 10.000 m<sup>3</sup>/d sogar spezifische Energieverbrauchswerte zwischen 1,2 und 1,8 kWh/m<sup>3</sup> erreicht werden. Bei hohen Mischwasserabflüssen von über 35.000 m<sup>3</sup>/d werden spezifische Energieverbrauchswerte < 0,60 kWh/m<sup>3</sup> erreicht. Der genannte mittlere spezifische Energieverbrauch von 0,92 kWh/m<sup>3</sup> bezieht sich auf den Abfluss im Jahresmittel von gut 15.000 m<sup>3</sup>/d. Um eine optimale Vergleichbarkeit zu gewährleisten, sollte daher auch der Energiebedarf der Modellanlage bei mittlerem Mischwasserabfluss betrachtet werden.

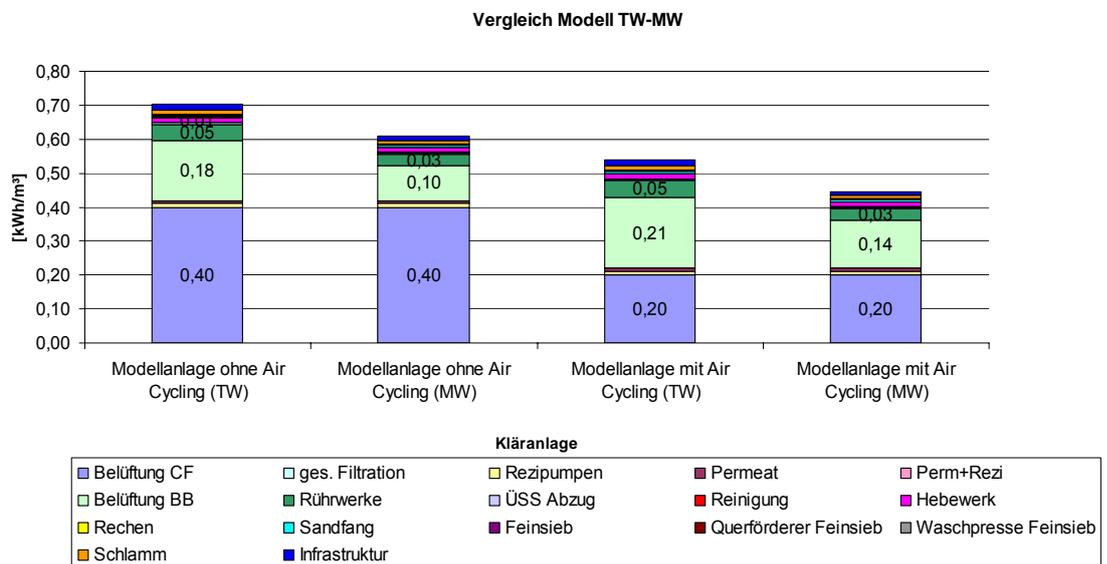
Das Verhältnis von Trockenwetter- und Mischwasserabfluss ist auf jeder Kläranlage individuell und wird im Wesentlichen durch die Charakteristik des Einzugsgebiets (Größe, Versiegelungsgrad, Kanalnetz, Niederschlagsmengen etc.) bestimmt. Generalisierte übertragbare Aussagen sind daher nur schwer möglich. Dennoch wird im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ [MUNLV, 1999] versucht, übertragbare Werte für den mittleren jährlichen Mischwasserabfluss herzuleiten, mit denen auf den jährlichen Gesamtabfluss bezogene Betrachtungen möglich sind.

Im Handbuch „Energie in Kläranlagen“ wird im Jahresmittel zusätzlich zu Schmutz- und Fremdwasser ein Regenwasseranfall von 70 l/(EW·d) angesetzt. Insgesamt ergibt sich somit ein mittlerer Mischwasserzufluss von 245 l/(EW·d). Die von Krause erstellte Modellanlage ist auf einen spezifischen Wasserzufluss von 200 l/(EW·d) ausgelegt.

Aus den oben genannten Ansätzen ergibt sich für die Modellanlage ein zusätzlicher Regenwetterabfluss von 5.600 m<sup>3</sup>/d. Der tägliche Abfluss im Jahresmittel ergibt sich demnach zu 19.600 m<sup>3</sup>/d.

Dieser Wert lässt sich auch im Vergleich mit den realen Zulaufwerten des GWK Nordkanal bestätigen. Nach Betrachtung der Daten aus 2007 (siehe Abbildung 2.1: Jahresgang der täglichen Abwassermenge im Zulauf des GWK Nordkanal) beträgt der Basisabfluss zum GWK Nordkanal bei Trockenwetter ca. 9.000 m<sup>3</sup>/d. Im Vergleich mit dem Abwasserabfluss im Jahresmittel von gut 15.000 m<sup>3</sup>/d ergibt sich hier ein mittlerer zusätzlicher Regenwetterabfluss von ca. 6.000 m<sup>3</sup>/d.

Auf Basis der genannten Abwassermenge im Jahresmittel von 19.600 m<sup>3</sup>/d wurden die Energieverbräuche der einzelnen Verfahrensstufen der Modellanlage auf Basis der o. g. Modellansätze und Berechnungsgänge neu berechnet. Die Größe der einzelnen Becken resultierte aus der Bemessung nach HSG wurde beibehalten, da für die Auslegung immer der tägliche Trockenwetterzufluss im Jahresmittel maßgebend ist. Die Ergebnisse sind im nachfolgenden Diagramm dargestellt.

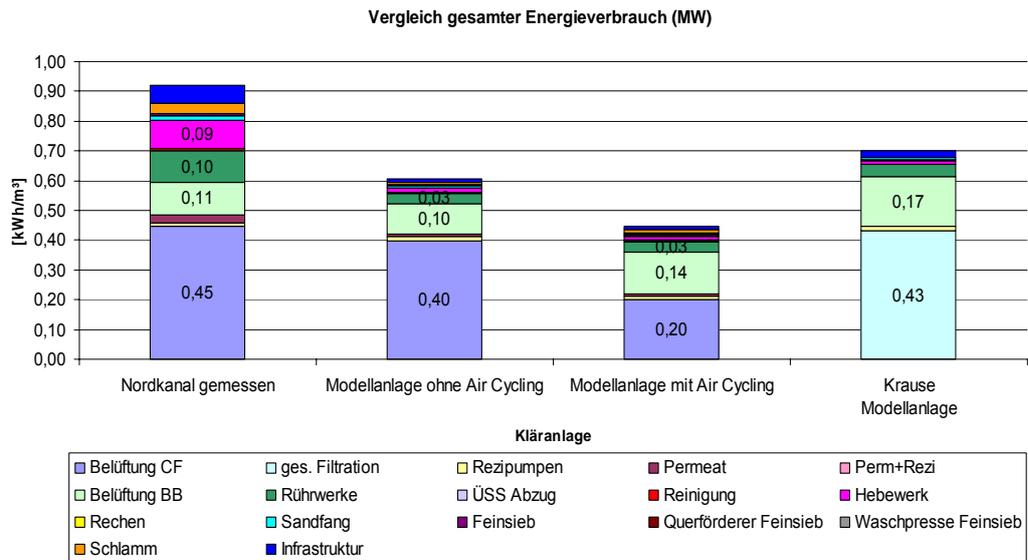


**Abbildung 3.5 Vergleich Energieverbrauch der Modellanlage bei Trockenwetter- und Mischwasserzufluss.**

Das Diagramm zeigt deutlich, dass der spezifische Energiebedarf der Modellanlage bei mittlerem Mischwasserabfluss (mit Air-Cycling 0,45 kWh/m<sup>3</sup>) deutlich unter dem Wert für Trockenwetter (mit Air-Cycling 0,54 kWh/m<sup>3</sup>) liegt. Wie erwartet, liegen die maßgebenden Einsparungen bei den spezifischen Werten für die Belüftung der Belebung (ca. - 0,07 kWh/m<sup>3</sup>) und der Rührwerke (ca. -0,02 kWh/m<sup>3</sup>).

#### 4 BEWERTUNG IST-ZUSTAND

Zunächst erfolgt zur Beurteilung der membranspezifischen Anlagenteile eine Gegenüberstellung der mittels der Modellanlage theoretisch ermittelten Werte mit den Ist-Werten des Klärwerks Nordkanal. Da es sich bei dem auf dem GWK Nordkanal gemessenen Wert um einen Wert handelt, der sich auf die Jahresabwassermenge inkl. Niederschlagswasser bezieht, 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 GWK Nordkanal und verschiedene Modellanlagen**

**Tabelle 4.1: Gegenüberstellung Gesamtenergieverbrauch GWK Nordkanal und verschiedene Modellanlagen**

Verbraucher	Nordkanal gemessen [kWh/m <sup>3</sup> ]	Modellanlage ohne Air Cycling [kWh/m <sup>3</sup> ]	Modellanlage mit Air Cycling [kWh/m <sup>3</sup> ]	Krause Modellanlage [kWh/m <sup>3</sup> ]
Belüftung CF	0,45	0,40	0,20	0,00
ges. Filtration	0,00	0,00	0,00	0,43
Rezipumpen	0,01	0,01	0,01	0,02
Permeat	0,02	0,01	0,01	0,00
Perm+Rezi	0,00	0,00	0,00	0,00
Belüftung BB	0,11	0,10	0,14	0,17
Rührwerke	0,10	0,03	0,03	0,04
ÜSS Abzug	0,00	0,01	0,01	0,00
Reinigung	0,01	0,00	0,00	0,00
Hebwerk	0,09	0,01	0,01	0,01
Rechen	0,00	0,00	0,00	0,00
Sandfang	0,02	0,01	0,01	0,01
Feinsieb	0,01	0,00	0,00	0,00
Querförderer Feinsieb	0,00	0,00	0,00	0,00
Waschpresse Feinsieb	0,00	0,00	0,00	0,00
Schlamm	0,03	0,01	0,01	0,00
Infrastruktur	0,06	0,01	0,01	0,02
<b>Summe:</b>	<b>0,92</b>	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>	<b>0,70</b>

Wie erkennbar ist, liegt der Verbrauch der Modellanlage mit Air-Cycling deutlich niedriger als die tatsächlich gemessenen Werte im GWK Nordkanal, wo ebenfalls ein Air-Cycling-Betrieb realisiert wurde. Wie bereits erwähnt, ist der erhöhte Energieverbrauch im GWK Nordkanal gerade im Bereich der Hebwerke damit zu begründen, dass das Abwasser über eine lange Druckrohrleitung vom alten Standort bis vor den Rechen gepumpt wird. Bereinigt man den realen Wert des GWK Nordkanal um die überschüssige Pumpenergie ergibt sich ein spezifischer Energieverbrauch von 0,84 kWh/m<sup>3</sup>. Dieser liegt immer noch ca. 58% über dem berechneten Idealwert. Ein maßgebender Punkt dafür ist der erhöhte Energiebedarf der Crossflow-Belüftung. Dieser liegt 0,25 kWh/m<sup>3</sup> über dem theoretisch berechneten Idealwert. Auch der spezifische Wert der Rührwerke ist deutlich erhöht. Für beide Verfahrensstufen werden im Folgenden Energiesparmaßnahmen erarbeitet. Auch im Bereich der mechanischen Vorreinigung, Schlammbehandlung und Infrastruktur sind erhöhte Energieverbrauchswerte zu erkennen.

Die Bewertung des energetischen Ist-Zustandes der Kläranlage wird für die nicht-membranspezifischen Verfahrensstufen durch den Vergleich des Energieverbrauchs der einzelnen Verfahrensstufen mit den Hilfwerten 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.

In Abbildung 4.2 ist der Energienachweis nach MUNLV für das GWK Nordkanal zusammengefasst.

Energienachweis	IST-Zustand	Richtwert	Idealwert
gesamter spez. Elektrizitätsverbrauch pro EW BSB	84 kWh/EW a	39 kWh/EW a	25 kWh/EW a
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung pro EW BSB	19 kWh/EW a	23 kWh/EW a	18 kWh/EW a
Grad der gesamten Faulgasnutzung	0 %	98 %	99 %
Grad der Faulgasumwandlung in Kraft/Elektrizität	0 %	30 %	31 %
spez. Faulgasproduktion pro kg oTR eingetragen	0 l/kg oTR	450 l/kg oTR	475 l/kg oTR
Eigenversorgungsgrad	Wärme	0 %	97 %
	Elektrizität	0 %	50 %

**Abbildung 4.2: Spezifischer Energieverbrauch und Vergleichswerte nach MUNLV für das GWK Nordkanal**

Der spezifische Energieverbrauch liegt mit 84 kWh/(EW·a) für die Gesamtanlage aufgrund des hohen Energiebedarfs der Membranfiltration sehr hoch. Dies ist in den Richt- und Idealwerten natürlich nicht berücksichtigt. Der Richtwert wurde manuell um den spezifischen Energieverbrauch der Pumpwerke „Am Bauhof“ und Korschenbroich erhöht ( $472.590 \text{ kWh/a} / 65.700 \text{ EW} = 7,19 \text{ kWh/(EW·a)}$ ) um in diesem speziellen Fall dem erhöhten Energiebedarf durch das Überpumpen der Wassermengen Rechnung zu tragen.

Betrachtet man allein die Belebung, liegt diese in ihrem spezifischen Energieverbrauch mit 19 kWh/(EW·a) sehr günstig. Der Richtwert liegt bei Kläranlagen dieser Größenordnung bei 23 kWh/(EW·a) und der Idealwert bei 18 kWh/(EW·a). Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Aggregate der Membranfiltration der Verfahrensgruppe der Nachklärung zugeordnet wurden, also auch die Crossflow-Gebälse. Diese tragen jedoch auch einen Teil zur Deckung des Sauerstoffbedarfs der Belebung bei und müssten anteilig der Belebung zugeordnet werden. Die Betrachtung nach MUNLV macht für die Gesamtanlage an dieser Stelle also wenig Sinn sondern sollte sich auf die einzelnen nicht membranspezifischen Verfahrensschritte beschränken.

Entsprechend detaillierte Tabellen finden sich in der Anlage 4. Dabei werden der Stromverbrauch der Abwasserreinigung auf die angeschlossenen Einwohnerwerte und der Stromverbrauch der Schlammbehandlung auf das Volumen des behandelten Schlammes bezogen. Die Software des MUNLV rechnet dabei standardmäßig mit der in Abbildung 2.4 (s. S. 23) angegebenen Schlammmenge (in diesem Fall der Überschussschlamm aus der Belebung / Membranfiltration). Die in den einzelnen Verfahrensstufen behandelten Schlammengen weichen aber aufgrund der unterschiedlichen Behandlungswege davon ab. Daher wurde im Rahmen dieser Analyse analog zum Handbuch der spezifische Stromverbrauch der Schlammbehandlung auf die der jeweiligen Verfahrensstufe zufließenden Schlammengen bezogen (Tabelle 4.2). Die Schlammengen ergeben sich aus den Betriebsdaten für das Jahr 2007.

**Tabelle 4.2: Schlammengen im Zulauf der einzelnen Behandlungsstufen**

Pos.	Verfahren	Schlammmenge [m <sup>3</sup> /a]
11.1	Zulauf Schlammstapelbehälter	124.464
11.3	Zulauf Zentrifuge	41.047
	Ablauf Zentrifuge / Entsorgung	4.741

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

In der nachfolgenden Tabelle 4.3 sind die Verfahrensstufen mit den genauen Werten aufgelistet, deren spezifischer Energieverbrauch wesentlich von den Hilfwerten des MUNLV. Hierbei wurden die auf Verfahrensgruppen bezogenen Hilfwerte als Mittelwerte der dem Handbuch beiliegenden Software des MUNLV zu entnehmenden Hilfwerte angesetzt. Die vollständige Tabelle mit allen spezifischen Energieverbräuchen findet sich in Anlage 1. Die Abwasserhebwerke sind aufgrund der bereits erläuterten besonderen Situation nicht weiter aufgeführt.

**Tabelle 4.3: Verfahrensstufen mit erhöhtem Energiebedarf nach MUNLV**

Pos.	Verfahren	Verbrauch [kWh/EW]	Hilfwert [kWh/EW]		Abweichung auf Ø des Hilfs- wertes bezogen [%]
			Von	bis	
4.1	Längssandfang	1,30	0,50	1,00	73%
8.1	Fällmitteldosierung	0,11	0,04	0,08	83%
13.3	Hochentwässerungszentrifuge	3,90	1,30	2,60	100%
15.1	Licht, Labor, Werkstatt	1,03	0,18	0,36	281%
16.2	Brauchwasser	1,10	0,26	0,52	182%
16.3	Druckluft	0,58	0,06	0,20	346%
17.1	Abluftreinigung	2,14	0,58	1,16	146%
* Energiebedarf, bezogen auf m <sup>3</sup> Schlamm statt EW					

Nachfolgend werden die in Tabelle 4.3 vorliegenden Werte kurz kommentiert und bewertet.

### Crossflow-Belüftung

Für den erhöhten spez. Energieverbrauchswert liegen mehrere Gründe vor. Die Modellanlage mit Air-Cycling wurde mit einem spezifischen Luftbedarf für die Crossflow-Belüftung von  $0,28 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  berechnet. Auf dem GWK Nordkanal ist pro Straße ein Crossflow-Gebläse mit einer Leistung von  $4.250 \text{ Nm}^3/\text{h}$  installiert. Damit werden spezifisch ca.  $0,40 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  Luft unter den Membranmodulen eingetragen. Da es sich noch um relativ neue Aggregate handelt, erscheint ein Austausch der Gebläse nicht zielführend. Zudem werden die Herstellerangaben seitens des Betriebes für zu niedrig erachtet, sodass ein Austausch nicht vorgeschlagen wird.

Weiterhin weist aber die derzeitige Steuerungslogik einige Probleme auf. So wird scheinbar teilw. auch in Filtrationspausen mit den Crossflow-Gebläsen belüftet. Hier werden im Folgenden Maßnahmen erarbeitet, in denen die Zusammenhänge auch detailliert beschrieben sind. Zudem kann durch Optimierungen im Filtrationsbereich (Relaxation statt Rückspülung) der Netto-Fluss gesteigert und somit die Filtrationszeit und damit die Laufzeit der Crossflow-Gebläse reduziert werden.

### Längssandfang

Bei dem Sandfang handelt es sich um einen belüfteten Längssandfang mit zwei Gerinnen. Eine Überprüfung des spezifischen Lufteintrags ergibt einen deutlich erhöhten Wert. Eine genauere Beschreibung und Lösungsvorschlag folgen in Kapitel 5.

### Rührwerke

Die vorhandenen Rührwerke weisen insbesondere in den Vario-Becken einen unnötig hohen Energieeintrag auf. Mögliche Energieeinsparungsmaßnahmen werden im folgenden Kapitel erarbeitet.

### Fällmitteldosierung

Die Fällmitteldosierung liegt 83 % über dem spezifischen Energieverbrauch des Handbuchs. Da diese jedoch eine eher geringe absolute Energieaufnahme aufweist und insgesamt nur mit 0,1 % am Energiebedarf der Kläranlage beteiligt ist, erfolgt an dieser Stelle keine genauere Betrachtung.

### Hochentwässerungszentrifuge

Unter dem Verfahrensschritt der Schlammwässerung muss der Hochentwässerungszentrifuge die umfangreiche Peripherie wie Mazerator, Pumpen, Schlammkonditionierung, Verladung etc. zugeordnet werden. Dazu kommen die Rührwerke in den Trübwasserbehältern, die in der Struktur nach MUNLV nicht berücksichtigt sind. Betrachtet man die Zentrifuge allein, so liegen die Verbrauchswerte mit  $2,26 \text{ kWh/m}^3$  noch im Rahmen der vom MUNLV vorgegebenen Hilfswerte. Eine weitere Betrachtung erfolgt im Rahmen dieser Studie daher nicht.

### Licht, Labor, Werkstatt

Die Installationen, die unter Licht, Labor und Werkstatt zusammengefasst werden, weisen einen deutlich erhöhten Stromverbrauch gegenüber den spezifischen Werten des



den Biofilter behandelt. Möglichkeiten zur alternativen Abluftbehandlung sind Abschnitt 5.4.1 zu entnehmen.

## 5 MAßNAHMEN

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 unterteilt:

- Sofortmaßnahmen (S) sind sehr rentabel, erfordern geringe Investitionen und können aufgrund der technischen und betrieblichen Randbedingungen sofort realisiert werden.  
Realisierungshorizont: 0 - 2 Jahre Kapitel 5.1
- Kurzfristige Maßnahmen (K) sind in der Regel insgesamt wirtschaftlich, sie sind aber mit entsprechenden Investitionen verknüpft und müssen in einer Ausführungsplanung präzisiert werden.  
Realisierungshorizont: 2 - 5 Jahre Kapitel 5.2
- Abhängige Maßnahmen (A) sind an bestimmte Bedingungen geknüpft. So kann z. B. ein hocheffizienter Motor in der Regel erst nach alters-bedingtem Ersatz des alten Motors, d. h. nach Ablauf der Nutzungsdauer, eingesetzt werden. Abhängige Maßnahmen können vielfach erst mittel- bis langfristig realisiert werden.  
Realisierungshorizont: 1 - 10 Jahre Kapitel 5.3

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

Die Wirtschaftlichkeit der vorgeschlagenen Maßnahmen wird dabei mit einer Genauigkeit von ca. 20 – 25 % überschlägig berechnet. Genauere Angaben würden den Rahmen und die Möglichkeiten einer Feinanalyse überschreiten und müssen in anschließenden Ausführungsplanungen aufgezeigt werden.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnungen beruhen auf der Kosten-/Nutzenmethode gemäß dem Handbuch „Energie in Kläranlagen“. Dabei werden die gesamten jährlichen Kosten (Kapitaldienst und eventuelle zusätzliche Betriebskosten) durch den gesamten jährlichen Nutzen (Einsparung an Energiekosten und eventueller weiterer Betriebskosten) dividiert. Ein Kosten-/ Nutzenverhältnis unter 1,0 ist wirtschaftlich.

Für die Kapitalkosten wird ein Zinssatz von 7 % angesetzt. Dies ist der Standardzinssatz für die Berechnungen nach MUNLV. Real liegen die Zinssätze jedoch meist günstiger. Die elektrischen Energiekosten basieren auf den Strompreisen, welche das GWK Nordkanal während des Betrachtungszeitraumes im Mittel effektiv bezahlte. Für den Bezug

von Heizöl werden die angegebenen Kosten des Jahres 2007 zu Grunde gelegt. Eventuelle Tarifänderungen werden bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Energiesparmaßnahmen nicht berücksichtigt, da zum derzeitigen Zeitpunkt über den Umfang von Tarifänderungen über die gesamte Laufzeit der Maßnahmen keine Aussage getroffen werden kann. Da in nächster Zeit jedoch eher mit einem Anstieg der Energiekosten zu rechnen ist, liegt die Berechnung der Wirtschaftlichkeit auf der sicheren Seite.

Es sollte jedoch auch bedacht werden, dass die Energieoptimierung neben dem betriebswirtschaftlichen Zweck der Kostenreduktion auch volkswirtschaftliche und nicht zuletzt ökologische Ziele verfolgt. Will man diesen Zielen folgen, so kann es sinnvoll sein, nicht rentable Einzelmaßnahmen in einem insgesamt rentablen Maßnahmenpaket mit zu realisieren. Diese Vorgehensweise ist jedoch mit einer Minderung des Kosteneinsparungspotenzials zugunsten des ökologischen Gedankenansatzes verbunden.

## 5.1 Sofortmaßnahmen

### 5.1.1 Betrieb der Sandfanggebläse in kleiner Polstufe – S1

Zur Sandabscheidung steht auf dem GWK Nordkanal ein aus insgesamt 2 Gerinnen bestehender belüfteter Langsandfang zur Verfügung. Die Belüftung kann durch insgesamt 2 Drehkolbengebläse des Ausrüsters „Aerzen“ des Typs GM 7 L in zwei Polstufen erfolgen. Die Nennleistung der Gebläseantriebe beträgt in den jeweiligen Polstufen 9,5 kW bzw. 11,0 kW.

Gegenwärtig erfolgt der Lufteintrag täglich alternierend über eines der Gebläse in hoher Polstufe. Das Gebläse hat laut Angaben der Betriebsführung in hoher Polstufe eine Förderleistung 8,63 m<sup>3</sup>/min bzw. 518 m<sup>3</sup>/h. Die Förderleistung in niedriger Polstufe kann zu etwa 220 m<sup>3</sup>/h ermittelt werden.

Im Rahmen der Messkampagne zur Energieanalyse wurde eine Leistungsaufnahme der Aggregate bei Betrieb in hoher Polstufe von 10,13 kW gemessen. Im Vergleich zu der zu erwartenden Leistungsaufnahme liegt dieser Wert hoch und ist bei den eingesetzten Aggregaten bei der mitgeteilten Förderleistung nur durch einen betrieblichen Gegendruck von etwa 500 mbar zu erklären. Vermutlich ist der Gegendruck durch den Anschluss weiterer Abnehmer von Prozessluft (Fettfangbelüftung und Siebgutverflüssigung) an die Gebläse zu erklären. Entsprechend der genannten Leistungsaufnahme kann die Leistungsaufnahme in niedriger Polstufe zu rund 4,95 kW abgeschätzt werden.

Das Sandfangvolumen beträgt je Gerinne etwa 165 m<sup>3</sup> bei einer durchflossenen Querschnittsfläche von rund 6,7 m<sup>2</sup>. Nach gängigen Literaturangaben [ATV; 1997] wird für Sandfänge mit der gegebenen Querschnittsfläche ein Lufteintrag in Bereichen von 0,5 bis 1,3 m<sup>3</sup>/(m<sup>3</sup>·h) empfohlen. Eine Überprüfung des volumenspezifischen Lufteintrags ergibt im Ist-Zustand des Betrachtungszeitraumes folgendes Ergebnis:

$$Q_{\text{Luft, spez.}} = \frac{518 \text{ m}^3 / \text{h}}{330 \text{ m}^3} = 1,7 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \cdot \text{h}}$$

Aus dem Vergleich der spezifisch eingetragenen Luftmenge mit der empfohlenen Luftmenge wird deutlich, dass sich der Lufteintrag oberhalb der empfohlenen Werte bewegt.

Hierbei muss darauf hingewiesen werden, dass die an weitere Abnehmer (Siebgutverflüssigung und Fettfangbelüftung) abgegebene Prozessluft quantitativ nicht ermittelt werden konnte und daher nicht berücksichtigt werden kann.

Das Handbuch „Energie in Kläranlagen“ empfiehlt einen Betrieb von belüfteten Sandfängen mit einem spezifischen Lufteintrag von nicht über  $0,5 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$ . Dies entspricht im konkreten Fall einem Lufteintrag von rund  $165 \text{ m}^3/\text{h}$ . Der spezifische Lufteintrag bei Betrieb der Drehkolbengebläse in niedriger Polstufe ( $Q_{\text{Luft}} = 220 \text{ m}^3/\text{h}$ ) ergibt sich zu:

$$Q_{\text{Luft, spez.}} = \frac{220 \text{ m}^3 / \text{h}}{330 \text{ m}^3} = 1,3 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \cdot \text{h}}$$

Man erkennt, dass die Empfehlungen nach Handbuch „Energie in Kläranlagen“ auch bei Betrieb der Gebläse in niedriger Polstufe überschritten werden. Es ist durch die Betriebsführung zu klären, inwiefern der hier ausgewiesene spezifische Lufteintrag durch den genannten Anschluss weiterer Prozessluftabnehmer relativiert wird. Bei dauerhaftem Betrieb der Aggregate in niedriger Polstufe kann der elektrische Energiebedarf der Aggregate im Vergleich zum Betrachtungszeitraum der vorliegenden Analyse um etwa  $41.440 \text{ kWh/a}$  gesenkt werden.

Grundsätzlich ist es weiterhin möglich, die Förderleistung der Drehkolbengebläse durch Ersatz der Antriebsriemenscheibe weiter zu reduzieren und hierdurch einen optimalen Lufteintrag zu erreichen. Eine untere Begrenzung ist jedoch durch die Wurf- oder Fliehkraftschmierung der Antriebswelle der Gebläsestufe gegeben. Um einen störungslosen Betriebsablauf gewährleisten zu können, sollte eine minimale Drehzahl von rund  $33 \%$  der Gebläsedrehzahl im Auslegungszustand nicht unterschritten werden.

Im konkreten Fall wird der nach Handbuch „Energie in Kläranlagen“ empfohlene Lufteintrag ( $330 \text{ m}^3/\text{h}$ ) durch eine Reduzierung der Gebläsedrehzahl von  $4.770 \text{ U/min}$  auf etwa  $1800 \text{ U/min}$  erreicht. Die kritische untere Begrenzung der Gebläsedrehzahl wird hierdurch nicht unterschritten. Ein Ersatz der Antriebsriemenscheibe wird hier jedoch nicht empfohlen, da in dieser Betriebsweise der Anschluss weiterer Prozessluftabnehmer nicht erfolgen sollte.

Es wird im Rahmen dieser Maßnahme daher empfohlen, den Lufteintrag zum Sandfang durch Betrieb eines Drehkolbengebläses nicht wie bisher in hoher Polstufe, sondern in niedriger Polstufe zu realisieren.

### **Einsparpotenzial**

Durch die reduzierte Leistungsaufnahme der Drehkolbengebläse bei Betrieb in niedriger Polstufe reduziert sich der für das Jahr 2007 ermittelte Energiebedarf in Höhe von etwa  $81.032 \text{ kWh/a}$  um  $41.440 \text{ kWh/a}$  auf rund  $39.600 \text{ kWh/a}$  nach Umsetzung der Maßnahme. Das monetäre Potenzial beträgt, bezogen auf den elektrischen Energiepreis des Jahres 2007 in Höhe von rund  $10,5 \text{ Cent/kWh}$ , rund  $4.350 \text{ €/a}$ . Hierbei muss darauf hingewiesen werden, dass die Potenziale der Maßnahme unter Ansatz der für das Jahr 2007 ermittelten Betriebszeit der Drehkolbengebläse (je  $4.000 \text{ h/a}$ ) angegeben werden.

### Investitionskosten

Zur Umsetzung der Maßnahme fallen keine Investitionskosten an, da lediglich die Betriebsweise der vorhandenen Gebläse angepasst werden muss.

## 5.2 Kurzfristige Maßnahmen

### 5.2.1 Anpassung der Steuerung der Crossflow-Gebläse – K1

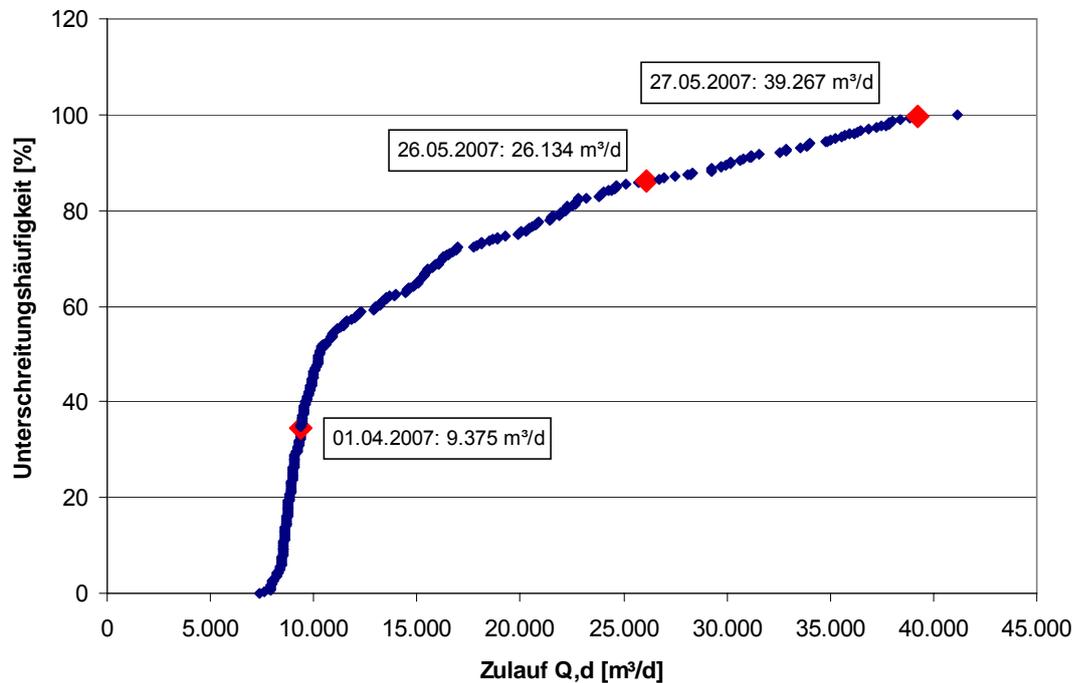
Die Steuerung der Crossflow-Gebläse sieht eine Vorlauf- und eine Rücklaufzeit von je einer Minute zu jedem Filtrationsintervall vor. Während der Rückspülphasen wird ebenfalls belüftet. Daher muss die Anzahl der Betriebsstunden der Crossflow Gebläse etwas höher liegen als die der Permeatpumpen. Bei der Prüfung der Betriebsstunden fiel auf, dass die Crossflow-Gebläse jedoch deutlich höhere Betriebszeiten aufweisen als die Permeatpumpen. Insgesamt liegt das Verhältnis der Betriebsstunden für die Crossflow-Gebläse zu den Betriebsstunden der Permeatpumpen bei 128 % (s. Tabelle 5.1).

**Tabelle 5.1: Laufzeiten und Energieverbrauch der CF-Gebläse und Permeatpumpen**

	<b>Betriebsstunden</b> [h/a]	<b>Energieverbrauch</b> [kWh/a]	<b>Leistungsaufnahme</b> [kW]
Gebläse gesamt	37.259	2.457.989	65,97
Permeatpumpen gesamt inkl. Rücksp.	29.119	136.057	4,67

Dieser Wert erscheint selbst für Tage mit geringerem Zufluss und daher häufigeren und kürzeren Filtrationsintervallen relativ hoch. Zur Kontrolle wurde eine Auswertung der Zuläufe für den Betrachtungszeitraum durchgeführt und die Filtrationsintervalle für drei repräsentative Tage genauer untersucht. Abbildung 5.1 zeigt die Summenhäufigkeit der Zuläufe zum GWK Nordkanal.

**Summenhäufigkeit Zulauf GWK Nordkanal**



**Abbildung 5.1: Auswertung der Zulaufmengen zum GWK Nordkanal**

Die Verteilung macht deutlich, dass die Zulaufmengen zum GWK Nordkanal stark schwanken. Es wurden drei Tage mit unterschiedlichen Zulaufcharakteristiken hinsichtlich der Filtrationssteuerung genauer betrachtet. Dies sind der 01.04.2007 mit einem Trockenwetterzufluss von  $9.375 \text{ m}^3/d$ , der 26.05.2007 mit einem mittleren Mischwasserzufluss von  $26.134 \text{ m}^3/d$  und der 27.05.2007 mit einem extrem hohen Mischwasserzufluss von  $39.267 \text{ m}^3/d$ . Für alle drei Tage wurden die Längen der Filtrationsintervalle für alle Membranstraßen bestimmt und die Mittelwerte gebildet. Anhand der Summenverteilung der Zuläufe wurde dann hochgerechnet, wie lange die Laufzeiten der Crossflow-Gebläse theoretisch sein sollten. Die Ergebnisse sind im Folgenden kurz dargestellt:

Trockenwetterzufluss ( $< 10.300 \text{ m}^3/d$ ):

Trockenwetterzufluss liegt etwa zu 50 % des Jahres vor. Mit einer mittleren Dauer eines Filtrationsintervalls von 942 s bzw. 15,7 min (am 01.04.2007) liegt das Verhältnis von Belüftungszeit (15,7 min + 2 min) zu Filtrationszeit bei 113 %.

Mittlerer Mischwasserzufluss ( $> 10.300 \text{ m}^3/d$  und  $< 35.000 \text{ m}^3/d$ ):

Zuläufe zwischen  $10.300 \text{ m}^3/d$  und  $35.000 \text{ m}^3/d$  kommen zu etwa 45 % des Jahres auf dem GWK Nordkanal an. Der 26.05.2007 liegt mit einem Zufluss von  $26.134 \text{ m}^3/d$  genau in diesem Bereich. An diesem Tag lag die mittlere Dauer eines Filtrationsintervalls bei etwa 1.842 s bzw. 30,7 min. Die theoretische Laufzeit der Crossflow-Gebläse liegt also bei 32,7 min und damit im Verhältnis bei 107 % der Laufzeit der Permeatpumpen.

### Maximaler Mischwasserzulauf (> 35.000 m<sup>3</sup>/d)

Ein Zulauf von mehr als 35.000 m<sup>3</sup>/d liegt zu 5 % der Tage im Jahr vor. Am 27.05.2007 lag der Zufluss bei 39.627 m<sup>3</sup>/d. Die mittlere Filtrationsdauer lag bei 25.716 s oder 428,6 min. Das Verhältnis von Belüftungszeit zu Filtrationszeit ist bei so langen Filtrationsintervallen nahezu 1:1.

Es wird deutlich, dass selbst bei häufigen kurzen Intervallen, das Verhältnis von Belüftungs- zu Filtrationszeit sehr viel niedriger liegt als im betrachteten Zeitraum. Je höher die Zuflüsse zur Kläranlage werden, desto weniger fallen die Vor- und Nachlaufzeiten der Gebläse ins Gewicht. Eine Überprüfung der Einschalthäufigkeiten der Filtration ergab, dass selbst bei kürzeren, häufigen Filtrationsintervallen die Permeatpumpen nicht häufiger als 4-mal pro Stunde anspringen. Diese Einschalthäufigkeit ist auch für die Drehkolbengebläse vertretbar. Hier ist keine Einschränkung der Funktionsfähigkeit aufgrund zu häufiger Schaltvorgänge zu erwarten.

Der Grund für die langen Betriebszeiten der Gebläse scheint in der Steuerung der Gebläse zu liegen. Die Auswahl der Filtrationsstraßen durch das PLS erfolgt zunächst über die Betriebstunden (die Straßen mit der geringsten Betriebszeit werden zuerst gewählt) und dann über den Wasserspiegel im jeweiligen Becken. Der Verdacht liegt nahe, dass, sobald eine Straße angewählt wurde und die Filtration gestartet wurde, die Crossflow-Gebläse auch dann noch laufen, wenn zwischendurch, aufgrund des gesunkenen Wasserspiegels, die Filtration abgeschaltet wird, bis der Wasserspiegel den Einschaltpunkt wieder erreicht hat. In diesen Filtrationspausen scheint weiterhin belüftet zu werden.

### **Einsparpotenzial**

Ausgehend von einer Gesamtlaufzeit der Permeatpumpen (29.119 h) wurde anteilig der Zeiträume, in denen Trockenwetter-, mittlerer und maximaler Mischwasserzufluss vorlagen, und den zugehörigen Filtrationszeiten inklusive Vor- und Rücklaufzeiten die theoretische Laufzeit der Gebläse berechnet. So liegt die theoretische Laufzeit der Gebläse bei Trockenwetterzufluss bei:

$$t_{G,TW} = 29.119h \cdot 50\% \cdot (15,7 \text{ min} + 2 \text{ min}) / 15,7 = 16.414h,$$

für mittleren Mischwasserzufluss bei:

$$t_{G,MW} = 29.119h \cdot 45\% \cdot (30,7 \text{ min} + 2 \text{ min}) / 30,7 = 13.957h$$

und für maximalen Mischwasserzufluss bei:

$$t_{G,Max} = 29.119h \cdot 5\% \cdot (428,6 \text{ min} + 2 \text{ min}) / 428,6 = 1.463h.$$

In der Summe liegt die theoretische Gesamtlaufzeit der Gebläse etwa bei 31.800 h/a. Mit der Laufzeit der Gebläse reduziert sich auch entsprechend die Laufzeit der zugehörigen Ventilatoren.

Die tatsächliche Laufzeit der Gebläse und damit auch die der Ventilatoren lag 2007 bei 37.259 h. Bei einer Leistungsaufnahme von 65,97 kW für die Gebläse und 0,37 kW für die Ventilatoren belüftet sich der tatsächliche Verbrauch auf 2.471.780 kWh elektrischer

Energie im Betrachtungszeitraum. Bei Anpassung der Gebläsesteuerung reduziert sich die Energieaufnahme aufgrund der niedrigeren Betriebszeiten auf 2.109.627 kWh. Dies bedeutet eine Reduktion um 362.153 kWh/a und damit bei einem effektiven Energiepreis von 10,5 Ct/kWh, eine Einsparung von knapp 38.000 €/a.

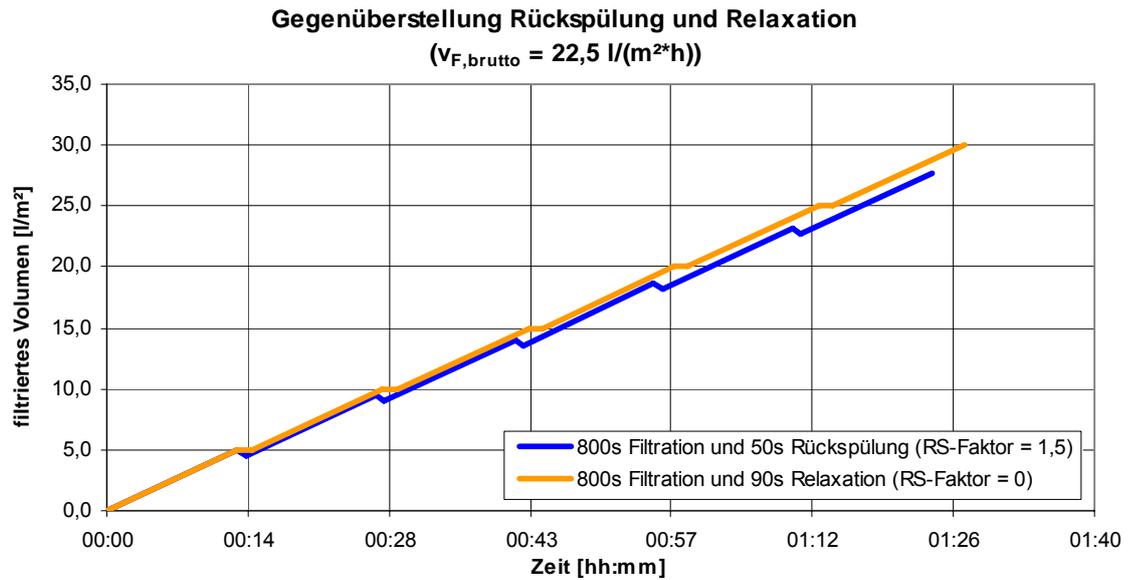
Weitere Einsparungen in diesem Bereich könnten durch ein Erhöhen des Flusses und einer damit einhergehenden weiteren Verkürzung der Filtrationszeit erreicht werden. Nach betrieblichen Erfahrungen ist bei einer solchen Erhöhung aber eine nachhaltige Verschlechterung der Performance der Membranen zu erwarten. Die dann deutlich erhöhten betrieblichen Aufwendungen würden den Nutzen mehr als übersteigen. Im schlimmsten Fall, könnte es zu einem Ausfall der Filtration kommen.

### **Investitionskosten**

Für die Anpassung der Steuerung fallen Kosten für die Programmierungsarbeiten in den entsprechenden SPS an. Da es sehr schwierig ist, den erforderlichen Programmieraufwand abzuschätzen, ohne die vorhandene Programmierung zu kennen, werden die Kosten hier vorsichtig pauschal mit 20.000 € angesetzt. Es ist sehr schwierig, hier realistische Kosten abzuschätzen, da nicht abgesehen werden kann, welche Parameter noch an der Programmierung hängen und sich gegenseitig beeinflussen. Da der Erftverband ohnehin größere Anpassungsarbeiten an den SPS des GWK Nordkanal plant, könnte im Zuge dieser Arbeiten auch die Gebläsesteuerung entsprechend geändert werden. Damit würden sich auch die Investitionskosten entsprechend verringern. Für eine konservative Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollen hier jedoch die 20.000 € angesetzt werden. Damit liegt der K/N-Faktor bei 0,06. Die Maßnahme ist sehr wirtschaftlich.

## **5.2.2 Relaxation statt Rückspülung – K2**

Maßgebender Parameter für den Betrieb einer Membranfiltration ist der Bruttofluss bzw. die filtrierte Menge ohne Rückspülung. Der Energieverbrauch der Membranfiltration wird jedoch durch den Nettofluss beeinflusst. Ziel ist es daher, den Nettofluss bei gleichbleibendem Bruttofluss zu erhöhen, also die Rückspülmenge zu reduzieren ohne die Permeabilität negativ zu beeinflussen. Um die Permeabilität zu erhalten, ggf. auch ganz auf Rückspülung verzichtet werden, wenn der Membran zwischen den Filtrationsphasen eine gewisse Zeit der Relaxation eingeräumt wird. In Abbildung 5.2 ist gegenübergestellt, wie sich der Nettofluss, also die über einen bestimmten Zeitraum filtrierte Menge, ändert, wenn mit der 1,5-fachen Menge des letzten Filtrationsflusses zurückgespült wird (blauer Graph) oder wenn bei gleicher Filtrationsdauer 90 s pausiert wird (Relaxation) (gelber Graph). Es ist erkennbar, dass bei Filtration mit anschließender Relaxation nach einem bestimmten Zeitraum das filtrierte Volumen höher ist als nach dem gleichen Zeitraum bei Filtration mit Rückspülung.



**Abbildung 5.2: Auswirkung von Rückspülung und Relaxation auf den Nettofluss**

**Einsparpotenzial**

Das Verhältnis von Brutto- zu Nettofluss kann folgendermaßen bestimmt werden:

$$\frac{v_{F,brutto}}{v_{F,netto}} = \frac{t_F + t_{RS}}{t_F - t_{RS} \cdot F_{RS}}$$

Mit:	$v_{F,brutto}$ :	filtriertes Volumen, brutto	[l/m <sup>2</sup> ]
	$v_{F,netto}$ :	filtriertes Volumen, netto	[l/m <sup>2</sup> ]
	$t_F$ :	Dauer Filtration	[s]
	$t_{RS}$ :	Dauer Rückspülung bzw. Relaxation	[s]
	$F_{RS}$ :	Rückspülfaktor	[-]

Bei einem Rückspülfaktor von 1,5, einer Filtrationsdauer von 800 s und einer Rückspüldauer von 50 s ergibt sich ein Verhältnis von Bruttofluss zu Nettofluss von  $v_{F,brutto}/v_{F,netto} = 1,17$ . Bei einem Rückspülfaktor von 0,0, einer Filtrationsdauer von 800 s und einer Relaxationsdauer von 90 s ergibt sich ein Verhältnis von Bruttofluss zu Nettofluss von  $v_{F,brutto}/v_{F,netto} = 1,11$ . Die Laufzeit der Crossflow-Gebläse würde sich entsprechend um 5,4 % verkürzen. Durch den Wegfall der Rückspülung verkürzt sich die Laufzeit der Permeatpumpen um weitere 5,9 %. Bei einem Gesamtverbrauch von 2.457.989 kWh/a für die Crossflow-Gebläse und 136.057 kWh für die Permeatpumpen ergibt sich ein Einsparpotenzial von

$$2.457.989 \text{ kWh/a} \cdot 0,054 + 136.057 \text{ kWh} \cdot 0,054 + 136.057 \text{ kWh} \cdot (1 - 0,054) \cdot 0,059 \approx 147.000 \text{ kWh/a bzw. knapp } 15.400 \text{ €/a.}$$

### **Investitionskosten**

Für die Anpassung der Steuerung fallen Kosten für die Programmierarbeiten in den entsprechenden SPS an. Da es sehr schwierig ist, den erforderlichen Programmieraufwand abzuschätzen, ohne die vorhandene Programmierung zu kennen, werden die Kosten auch hier vorsichtig pauschal mit 5.000 € angesetzt. Die Kosten werden für diese Maßnahme deutlich niedriger angesetzt als für die vorangegangene, da unseres Erachtens nach, die Umstellung der Programmierung einfacher durchzuführen sein sollte, als für die Maßnahme K1. Theoretisch müssen die Parameter Rückspülfaktor = 0 und Zeit, in der ursprünglich rückgespült wird und die nun als Relaxationszeit angesetzt werden soll, von 50 s auf 90 s gesetzt werden. Da der Erftverband ohnehin größere Anpassungsarbeiten an den SPS des GWK Nordkanal plant, könnte im Zuge dieser Arbeiten auch die Gebläsesteuerung entsprechend geändert werden. Damit würden sich auch die Investitionskosten entsprechend verringern. Für eine konservative Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sollen hier jedoch die 5.000 € angesetzt werden. Damit liegt der K/N-Faktor bei 0,04. Die Maßnahme ist wirtschaftlich.

### **5.2.3 Optimierung der Rührwerke der Denitrifikations- und Variozonen– K3**

Die vier symmetrischen Beckenstraßen des GWK Nordkanal bestehen jeweils aus einer Denitrifikations-, Vario- und je einer Nitrifikations- bzw. Filtrationszone. Das Gesamtvolumen der Denitrifikationszonen kann zu etwa 2.630 m<sup>3</sup>, also zu 657 m<sup>3</sup> je Straße angegeben werden, während das Gesamtvolumen der Variozonen rund 923 m<sup>3</sup>, also zu 231 m<sup>3</sup> je Straße beträgt.

Im Rahmen der vorliegenden Energieanalyse erfolgte eine Überprüfung und Bewertung des spezifischen Energieeintrags der in den Denitrifikations- und Variozonen eingesetzten Rührwerke.

Eine Überprüfung und Bewertung des spezifischen Energieeintrags durch Rührwerke in die Nitrifikations- bzw. Filtrationszonen wurde im Rahmen der vorliegenden Energieanalyse jedoch nicht durchgeführt, da zum einen die dort eingesetzten Rührwerke im Rahmen einer numerischen Strömungssimulation ausgelegt wurden und es wird davon ausgegangen das auch energetische Gesichtspunkte in die Bemessung eingeflossen sind. Zum anderen wurde keine Bewertung durchgeführt, da die vorhandenen Kriterien nur den Betrieb zur Vermeidung von ungewollten Sedimentationen berücksichtigen und nicht weiterhin den Betrieb von Rührwerken zur gleichmäßigen Beaufschlagung der vorhandenen Membranflächen.

Zur kontinuierlichen Umwälzung der insgesamt vier Denitrifikations- und Variozonen ist je ein Rührwerk installiert. Es handelt sich hierbei um Horizontalrührwerke des Ausrüsters Flygt. Eine Überprüfung des spezifischen Energieeintrags durch die eingesetzten Aggregate ergibt für die Denitrifikationszonen einen Energieeintrag von rund 2,54 W/m<sup>3</sup>. Der Energieeintrag in die Variozonen kann zu etwa 6,79 W/m<sup>3</sup> angegeben werden. Nach Angaben des Handbuchs „Energie in Kläranlagen“ reicht in der Regel ein spezifischer Energieeintrag von 1,5 W/m<sup>3</sup> bis 2,0 W/m<sup>3</sup> aus um, eine ungewollte Sedimentation von Feststoffen zu verhindern.

Im Rahmen der Überprüfung der weiteren Rührwerke zeigt sich jedoch, dass der spezifische Energieeintrag in die Denitrifikationszonen die im Handbuch gegebenen Empfeh-

lungen um etwa 27 % und der spezifische Energieeintrag in die Variozonen die Empfehlungen sogar um etwa 240 % überschreitet.

Um das energetische Potenzial im Bereich der vorhandenen Rührwerke abschätzen zu können, wurde durch die Ausrüsterfirma „Flygt“ eine Dimensionierung, von für die Umwälzung von Abwasser mit einem Feststoffgehalt von 12 g/l und die Beckengeometrie geeigneten Aggregaten, mit dem minimal möglichen elektrischen Energiebedarf vorgenommen.

Die nach Neuauslegung für die jeweiligen Beckenzonen empfohlenen Aggregate entsprechen hinsichtlich der einzusetzenden Propeller den schon heute installierten Aggregaten. In den Denitrifikationszonen sind Rührwerke des Typs „Flygt Banana SR 4410“ mit einem Propellerdurchmesser von 2.500 mm bei einer Drehzahl von 25 u/min installiert. In den Variozonen werden Aggregate desselben Typs mit einem Propellerdurchmesser von 1.700 mm bei ebenfalls einer Drehzahl von 25 u/min betrieben. Im Rahmen der Neuauslegung wird eine im Vergleich zu den vorhandenen Rührwerken geringere Drehzahl der jeweiligen Rührwerkspropeller empfohlen.

Nach der Auslegung des Ausrüsters reicht für die Umwälzung der Denitrifikationszonen ein spezifischer Energieeintrag von rund 1,2 W/m<sup>3</sup> aus, um ungewollte Sedimentationen sicher zu vermeiden. Empfohlen werden langsam laufende Horizontalrührwerke des Typs SR 4410 in zweiflügeliger Ausführung mit einem Propellerdurchmesser von 2.500 mm. Durch die Aggregate wird ein Schub von etwa 1.220 N bei einer Drehzahl von rund 21 u/min erreicht. Die hierzu nötige elektrische Leistung kann durch einen Antrieb der Nennleistung 0,9 kW bei einer betrieblichen Leistungsaufnahme von 0,98 kW sichergestellt werden.

Für die Umwälzung der Variozonen wird ein spezifischer Energieeintrag von rund 2,2 W/m<sup>3</sup> als ausreichend angegeben, um ungewollte Sedimentationen sicher zu vermeiden. Empfohlen werden wiederum langsam laufende Horizontalrührwerke des Typs SR 4410 in zweiflügeliger Ausführung mit einem Propellerdurchmesser von 1.700 mm. Durch diese Aggregate wird ein Schub von etwa 570 N bei einer Drehzahl von rund 21 u/min erreicht. Die hierzu nötige Leistung wird durch einen Antrieb der Nennleistung von 0,9 kW bei einer betrieblichen Leistungsaufnahme von 0,64 kW sichergestellt.

Grundsätzlich bestehen folgende Möglichkeiten den Energieeintrag an die gegebenen Empfehlungen anzupassen: Es ist der Ersatz der kompletten Rührwerke, der Tausch der Rührwerksgetriebe, der kompletten Antriebseinheit und die Ausrüstung der Rührwerke mit Frequenzumwandlern zu nennen. Im Folgenden werden die Möglichkeiten kurz hinsichtlich der Umsetzbarkeit und des wirtschaftlichen Nutzens untersucht.

#### Ersatz der Rührwerke

Nach Angaben des Ausrüsters kann bei Ersatz der vorhandenen Rührwerke mit Investitionskosten je Rührwerk von rund 11.065 € gerechnet werden. Unter Vorgriff auf die nachfolgend dargelegten Potenziale der Maßnahme wird der Ersatz der Rührwerke, besonders da sich die Aggregate erst seit etwa 5 Jahren im Einsatz befinden, nicht empfohlen.

#### Ersatz der Rührwerksgetriebe

Aus den vorangehenden Ausführungen wird deutlich, dass sich die nach energetischen Gesichtspunkten neu ausgelegten Aggregate nur hinsichtlich der Drehzahl unterscheiden. Theoretisch kann eine Reduzierung der Propellerdrehzahl durch Ersatz der vorhandenen Getriebe erreicht werden. Nach Angaben des Ausrüsters sollte der Getriebetausch jedoch nur in den Werkstätten des Ausrüsters vorgenommen werden. Daher wird ein Ersatz alleine der Getriebe aufgrund der hohen betrieblichen Beeinträchtigung und der hohen zu erwartenden Kosten nicht empfohlen.

#### Ersatz der Antriebseinheit

Einfacher zu realisieren ist der Ersatz der aus Antrieb und Getriebe bestehenden Einheit. Die Antriebseinheit wird bereits montiert und abgedichtet geliefert, und der Tausch ist relativ einfach zu bewerkstelligen. Die hierzu erforderlichen Arbeiten können durch interne Kräfte des Erftverbandes einfach vor Ort erledigt werden. Es kann ohne Ansatz der intern auflaufenden Kosten mit einem Investitionsaufwand von etwa 6.200 € je Antriebseinheit gerechnet werden.

#### Betrieb der Rührwerke mit Frequenzumwandlern

Aufgrund der geringen Standzeit der installierten Rührwerke erscheint der durch einen Frequenzumwandler in der Drehzahl reduzierte Betrieb der vorhandenen Aggregate als die wirtschaftlich sinnvollste Alternative, den elektrischen Energiebedarf zur Umwälzung der Denitrifikations- und Variozonen reduzieren zu können. Nach Rücksprache mit dem Ausrüster sind die verwendeten Antriebe für den Einsatz von Frequenzumwandlern geeignet. Für die Anschaffung der Frequenzumwandler sind Kosten je ausgestatteten Rührwerk von rund 2.000 € zu erwarten. Diese Kosten setzen sich zusammen aus etwa 1.000 € für den Frequenzumwandler und etwa 1.000 € für Änderungen der elektrotechnischen Leitungspläne und Dokumentationen.

#### **Einsparpotenzial**

Der elektrische Energiebedarf zur Umwälzung der vier Denitrifikationszonen kann bei annähernd kontinuierlichem Betrieb der Aggregate im Jahr 2007 zu rund 58.081 kWh/a ermittelt werden. Unter Ansatz der vom Ausrüster angegebenen betrieblichen Leistungsaufnahme der Rührwerke beträgt der zu erwartende Energiebedarf bei Ersatz der Aggregate oder der Antriebseinheit rund 34.132 kWh/a. Das energetische Potenzial bei Ersatz der kompletten Rührwerke oder Ersatz der Antriebseinheit im Bereich der vier Denitrifikationszonen kann also zu rund 23.949 kWh/a angegeben werden. Das monetäre Potenzial beträgt unter Ansatz des im Betrachtungsjahr der vorliegenden Analyse geltenden elektrischen Energiepreises von rund 10,5 Cent/kWh rund 2.500 €/a.

Um das energetische Potenzial bei Ausstattung der Rührwerke mit Frequenzumwandlern abbilden zu können, wird die hierdurch entstehende, zusätzliche Verlustleistung zu rund 5 % der durch den Ausrüster mitgeteilten betrieblichen Leistungsaufnahme abgeschätzt. Der zu erwartende elektrische Energiebedarf erhöht sich also auf 35.839 kWh/a. Das resultierende energetische Potenzial kann demnach mit 22.242 kWh/a, das resultierende monetäre Potenzial mit 2.300 €/a angegeben werden.

Der Energiebedarf zur Umwälzung der vier Variozonen kann für das Jahr 2007 zu etwa 54.045 kWh/a angegeben werden. Analog zu den vorangehend gemachten Ausführun-

gen kann der Energiebedarf bei Ersatz der kompletten Rührwerke oder Ersatz der Antriebseinheit zu rund 22.290 kWh/a ermittelt werden, sodass sich ein energetisches Potenzial im Bereich der vier Variozonen von rund 32.285 kWh/a und ein monetäres Potenzial von 3.400 €/a ergibt.

Wird die bei Ausstattung der Aggregate mit Frequenzumwandlern um etwa 5 % erhöhte betriebliche Leistungsaufnahme angesetzt, kann mit einem jährlichen Energiebedarf der vier Rührwerke im Bereich der Variozonen von rund 23.404 kWh/a ausgegangen werden. Das energetische Potenzial bei Betrieb der Aggregate mit Frequenzumwandlern kann demnach zu 31.171 kWh/a, das monetäre Potenzial zu rund 3.300 €/a angegeben werden.

### **Investitionskosten**

Im Bereich der vier Denitrifikationszonen entsteht ein jährlicher Nutzen aus elektrischer Energieeinsparung in Höhe von 2.300 €/a. Im Bereich der vier Variozonen beträgt die jährliche monetäre Einsparung etwa 3.300 €/a. Dem stehen Investitionskosten von rund 11.065 € (ohne weitere Teile zur Installation) je Rührwerk gegenüber.

Der Ersatz der kompletten Rührwerkseinheiten ist aufgrund der geringen Standzeit der eingesetzten Aggregate und der hohen Kosten aus wirtschaftlichen Gründen nicht zu empfehlen. Es wird deutlich, dass auch die durch einen Tausch der aus Getriebe und Antrieb bestehenden Einheit entstehenden Investitionskosten in Höhe von je 24.800 € für die Denitrifikations- und Variozonen den monetären Nutzen übersteigen und der Ersatz der Antriebseinheit unwirtschaftlich und damit nicht zu empfehlen ist.

Die durch die Ausstattung der Rührwerke mit Frequenzumwandlern entstehenden Kosten belaufen sich auf rund 2.000 € je Rührwerk, also je rund 8.000 € für die Denitrifikations- und Variozone. Man kann aus dem monetären Potential der Maßnahme im Bereich Denitrifikations- und Variozone ohne Ansatz von Kapitalkosten Amortisationszeiträume von rund 3,5 a bzw. 2,4 a angeben.

Betrachtet man die in Summe anfallenden Kosten in Höhe von 16.000 € für die Ausstattung aller betrachteten Rührwerke mit Frequenzumwandlern, ergibt sich bei dem in Summe anfallenden monetären Potenzial von 5.600 € eine Amortisationsdauer von 2,9 a. Der K/N-Faktor nach MUNLV kann zu 0,35 angegeben werden. Auch hieraus lässt sich der wirtschaftliche Nutzen der Maßnahme erkennen und es wird zu deren Umsetzung in der Form der Ausrüstung der Rührwerke mit Frequenzumwandlern geraten.

#### **5.2.4 Implementierung einer Gleitdruckregelung – K4**

Die grundlegende Steuerung der zum Sauerstoffeintrag in die Nitrifikationszonen und gegebenenfalls in die Variozonen betriebenen Drehkolbengebläse basiert auf einer ammoniumüberlagerten Sauerstoffregelung: Der Sauerstoffsollwert wird dabei in Abhängigkeit des aktuellen Ammoniumablaufwertes der Belebung vorgegeben. Bei hohen Ammoniumablaufwerten wird er erhöht, bei niedrigen herabgesetzt.

Die insgesamt fünf Prozessluftgebläse fördern auf eine Sammelleitung gegen einen gemeinsamen Druck. Über Öffnen bzw. Schließen der Blendenregulierschieber in den Luftleitungen der jeweiligen Becken wird der gemessene Sauerstoffgehalt auf den Sau-

erstoffollwert eingeregelt. In einem zweiten Regelkreis werden – bei nicht zulaufproportionaler Betriebsweise - die Gebläse über eine Druckkonstantregelung geregelt.

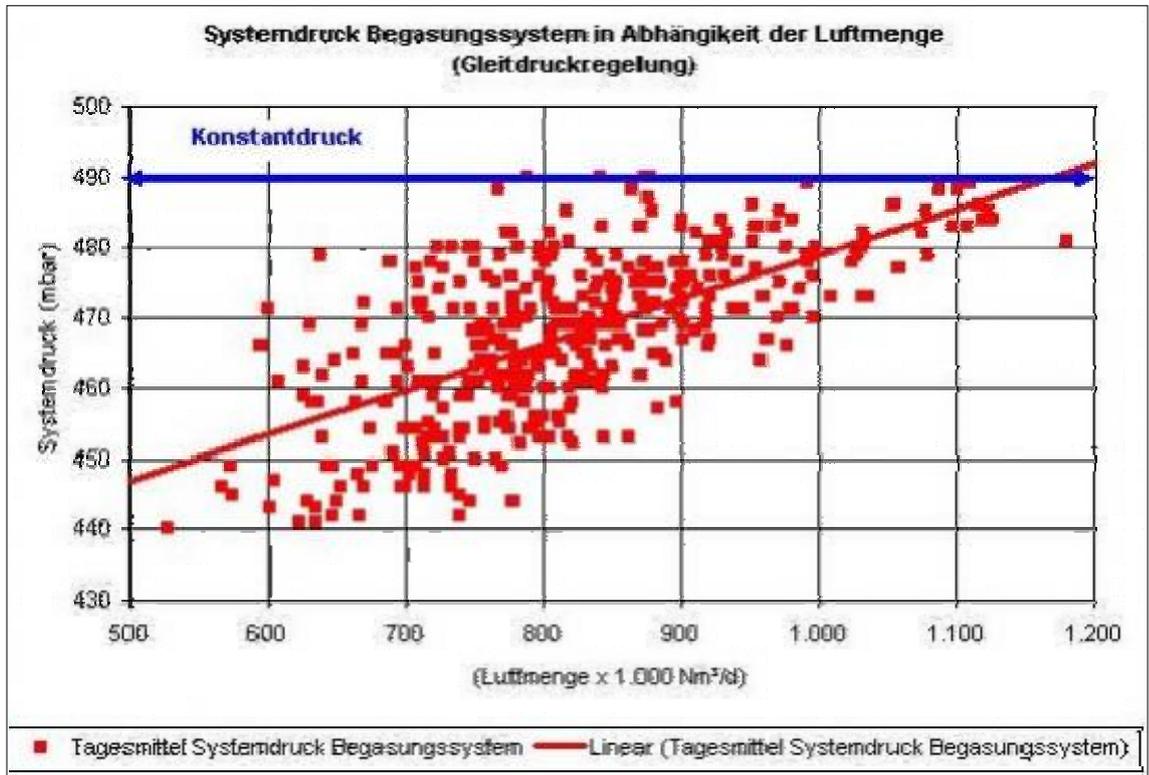
Ein optimiertes Regelkonzept stellt die sogenannte „Gleitdruckregelung“ dar. Durch eine Minimierung der Druckverluste in den Verteilerleitungen kann der energetische Aufwand zum Sauerstoffeintrag bei sicherer Reinigungsleistung nachhaltig verringert werden.

Bei einer konventionellen Druckkonstantregelung öffnet im Falle eines steigenden Sauerstoffbedarfs in einem der betriebenen Becken der entsprechende Blendenregulierschieber. Durch den verringerten Blendenverlust erhöht sich zunächst der Luftvolumenstrom für dieses Becken. Bedingt durch den dann verringerten Gesamtvolumenstrom zu den weiteren Becken sinkt der Druck in der Sammelleitung. Der Druckabfall wird durch einen Druckaufnehmer gemessen und im Zuge der Druckkonstantregelung über eine Steigerung der Luftmenge ausgeglichen.

Erfahrungen zeigen, dass die Blendenregulierschieber in solch konventionellen Systemen eher geschlossen arbeiten. Hierdurch werden die Gebläse konstant unter unnötigem Energieaufwand gegen einen hohen Druck betrieben. Schwankungen der Wasserspiegellage verstärken diese Effekte weiterhin negativ, da der konstante Gegendruck für die (in der Regel nur kurzfristig auftretende) maximal zu erwartende Wasserspiegellage in den betreffenden Becken definiert wird.

Durch eine Gleitdruckregelung hingegen wird permanent ein Drucksollwert gesucht, der den am weitesten geöffneten Blenderegulierschieber in einer zu definierenden maximal offenen Position hält. Dort wird am meisten Luftdurchsatz benötigt oder der Druckverlust ist dort am größten. In der Regel wird ein Öffnungsgrad von 80 % als Sollwert der maximal offenen Position des Regelschiebers empfohlen. Ist der Luftdurchsatz zu erhöhen wird der Systemdruck erhöht, eine Verringerung des Luftdurchsatz wird durch Reduzierung des Systemdrucks erreicht.

Die Einstellung des minimalen und maximalen Drucks der Gleitdruckregelung sowie die Begrenzungen des Regelschiebers richten sich im Wesentlichen nach den Herstellerangaben für die minimalen und maximalen Durchsätze der Belüfterelemente. Die einzelnen Regelkreise sind aufeinander abzustimmen, damit der Druck im Belüftungssystem immer den Erfordernissen entspricht. Folgende Abbildung verdeutlicht beispielhaft den sich im Rahmen einer Gleitdruckregelung einstellenden Systemdruck in Abhängigkeit des erforderlichen Luftvolumens.



**Abbildung 5.3: Beispielhafter Vergleich des Systemdruck einer Druckkonstant- und Gleitdruckregelung (Quelle: [www.klaerwerk.info](http://www.klaerwerk.info))**

Im Rahmen der Druckkonstantregelung erfolgt bei geringem Luftbedarf die Drosselung des Lufteintrags durch Schließen der Blendenregulierschieber und hierdurch die künstliche Aufrechterhaltung des hohen (konstanten) Systemdrucks. Man erkennt, dass der im Rahmen einer Druckkonstantregelung permanent vorhandene hohe Systemdruck durch eine Gleitdruckregelung nur bei maximalem Luftdurchsatz erreicht wird.

Folgende Abbildungen zeigen beispielhaft den Öffnungsgrad der Blendenregulierschieber, den Öffnungsgrad des jeweils am weitesten geöffneten Schiebers und den, im Rahmen einer Gleitdruckregelung zu definierenden, Sollwert des Öffnungsgrades des Regelschiebers für Tage verschiedener hydraulischer Belastungen des GKW Nordkanal:

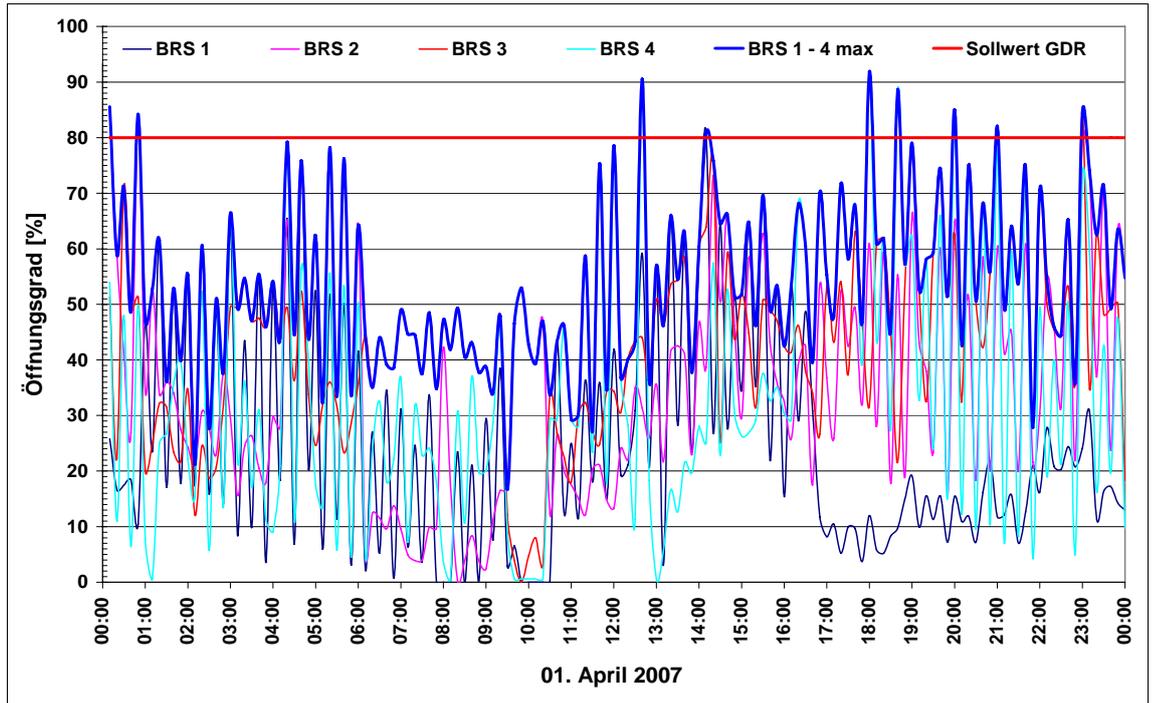


Abbildung 5.4: Öffnungsgrad der BRS am 01.04.07 (  $Q_d$  : 9.375 m<sup>3</sup>)

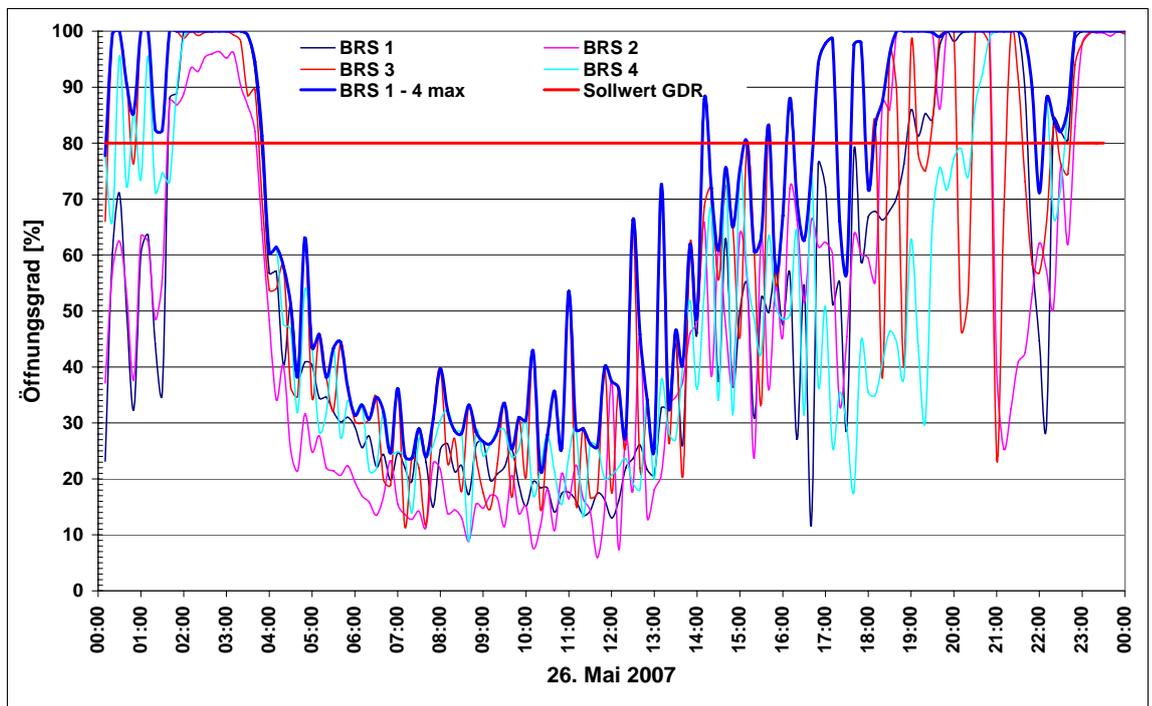
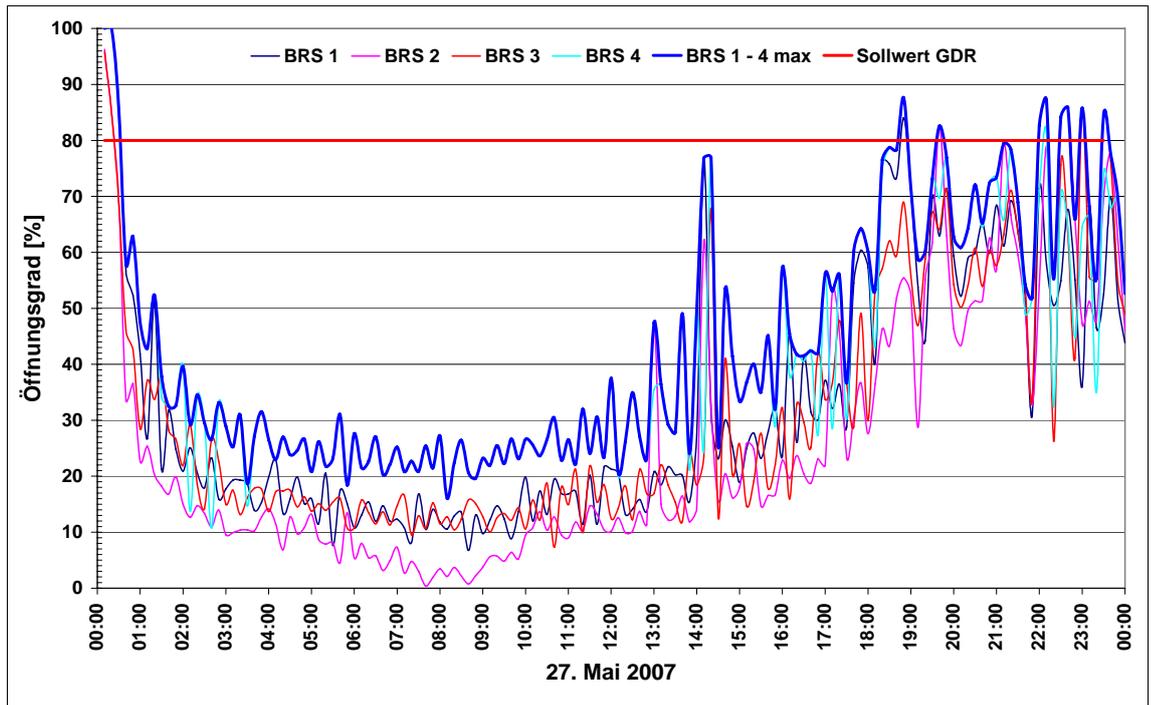


Abbildung 5.5: Öffnungsgrad der BRS am 26.05.07 (  $Q_d$  : 26.134 m<sup>3</sup>)



**Abbildung 5.6: Öffnungsgrad der BRS am 27.05.07 (  $Q_d$  : 39.276 m<sup>3</sup>)**

Es wird bei Betrachtung der Abbildungen deutlich, dass der maximale Öffnungsgrad am 01.04.2007 (vgl. Abbildung 5.4) nicht, am 26.05.2007 (vgl. Abbildung 5.5) nur temporär und 27.05.2007 ebenfalls nicht erreicht wird. (Der in Abbildung 5.6 zu erkennende hohe Öffnungsgrad am 27.05.2007 um etwa 0:30 h wird dem Regenereignis des Vortages zugeschrieben). In der Summe belegen die Abbildungen die eher geschlossene Arbeitsweise der Blendenregulierschieber mit den bereits angegebenen Konsequenzen für den elektrischen Energiebedarf der Drehkolbengebläse.

In folgender Tabelle 5.2 wird der Öffnungsgrad sowohl jedes einzelnen Blendenregulierschiebers und der Öffnungsgrad des jeweils am weitesten geöffneten Blendenregulierschieber (BRS 1-4 max) im Tagesmittel für die betrachteten Tage dargestellt. Schließlich wird der „zu erhöhender Öffnungsgrad“ in der letzten Spalte der Tabelle, als Differenz des maximalen Öffnungsgrades der vier Schieber (BRS 1-4 max) zu dem im Rahmen der Gleitdruckregelung definierten Sollwert des Öffnungsgrad von 80 % aufgeführt.

Es gilt hierbei zu beachten, dass die Summe der Spalten „BRS 1-4 max“ und des „zu erhöhenden“ Öffnungsgrades in dieser Betrachtung nicht exakt dem definierten maximalen Öffnungsgrad von 80 % entspricht, da bei der Auswertung des am jeweils weitesten geöffneten Schiebers Werte über dem Sollwert der Gleitdruckregelung (80 %) berücksichtigt werden.

**Tabelle 5.2: Auswertung des Öffnungsgrades der Blendenregulierschieber**

Datum	BRS 1	BRS 2	BRS 3	BRS 4	BRS 1-4 max	zu erhöhen
	[% - Ød]	[% - Ød]	[% - Ød]	[% - Ød]	[% als Ø-d]	[% als Ø-d]
01.04.2007	24,1	35,7	41,9	33,4	58,0	23,4
26.05.2007	54,4	50,3	61,0	54,2	71,3	16,7
27.05.2007	32,9	26,6	31,7	41,3	47,3	33,8

Der Öffnungsgrad der vier Blendenregulierschieber kann im Tagesdurchschnitt der betrachteten Tage in Bereichen von 24,1 % und 61,0 % angegeben werden. Es wird deutlich, dass die Blendenregulierschieber eher geschlossen arbeiten. Auch die Auswertung des Tagesdurchschnitts des maximalen Öffnungsgrades der vier Schieber (BRS 1-4 max) belegt mit Werten zwischen 47,3 % und 71,3 % dass die maximale Öffnungsstellung der Schieber im Tagesmittel nicht erreicht wird.

Bei Betrachtung des zu erhöhenden Öffnungsgrades wird schließlich deutlich, dass der Öffnungsgrad jedes Blendenregulierschiebers im Tagesdurchschnitt der betrachteten Tage in Bereichen von 16,7 % bis 33,8 % erhöht werden kann und die zur Prozessluftbereitstellung betriebenen Drehkolbengebläse im Rahmen der Druckkonstantregelung gegen einen unnötig hohen Systemdruck arbeiten.

### Einsparpotenzial

Die erreichbare elektrische Energieeinsparung durch die Implementierung der Gleitdruckregelung kann nach gängigen Literaturangaben [Holzenthal; 2003] in Bereichen von 1 bis 5 % des elektrischen Energiebedarfs der Belebungsgebläse angegeben werden. Hierbei resultiert die elektrische Energieeinsparung aus der geringeren Leistungsaufnahme der Drehkolbengebläse bei vermindertem betrieblichem Gegendruck. Es kann davon ausgegangen werden, dass je 10 mbar Druckreduzierung etwa 1 % des jährlichen elektrischen Energiebedarfs der Gebläse eingespart werden kann.

Das energetische Einsparpotenzial durch die geänderte Regelstrategie der Drehkolbengebläse kann nur abgeschätzt werden. Es wird zur Bewertung der Maßnahme eine Energieeinsparung von etwa 2,5 % des elektrischen Energiebedarfs des Jahres 2007 in Höhe von 604.003 kWh/a angenommen. Dies entspricht rund 15.100 kWh/a elektrischer Energie bzw. bei Ansatz des effektiven Strompreises des Jahres 2007 von 10,5 Cent/kWh einem monetären Potenzial von rund 1.600 €/a.

### Investitionskosten

Zur Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen fallen lediglich Kosten für die Implementierung der Gleitdruckregelung und der Steuerung der Drehkolbengebläse an. Es wird aufgrund der Vielzahl der zu verarbeitenden Signale mit aufwendigeren Programmierarbeiten gerechnet. Deren Kosten werden zu etwa 10.000 € abgeschätzt. Mit einem

K/N-Faktor von 0,77 ist auch diese Maßnahme noch rentabel. Die Investitionskosten haben sich nach etwa 6,3 Jahren amortisiert.

### 5.2.5 Ersatz der Sandfanggebläse – K5

Die grundlegende Betriebsweise des Langsandfangs und dessen Belüftung wurde in den vorangehenden Kapiteln des vorliegenden Berichtes und unter den Ausführungen zur Maßnahme „Betrieb der Sandfanggebläse in kleiner Polstufe“ unter Kapitel 5.1.1 dargestellt. Die Menge der zur Fettfangbelüftung und Siebgutverflüssigung benötigten Prozessluft konnte nicht ermittelt werden. Im Rahmen dieser Maßnahme soll das Einsparpotenzial elektrischer Energie bei Einsatz von auf die Sandfangbelüftung optimierter Gebläse untersucht werden.

Nach den Empfehlungen des Handbuchs „Energie in Kläranlagen“ soll der spezifische Lufteintrag zur Induktion der Rotation des Wasserkörpers nicht über  $0,5 \text{ m}^3/(\text{m}^3 \cdot \text{h})$  betragen. Dies entspricht bei den konkreten Abmessungen einem Lufteintrag von rund  $165 \text{ m}^3/\text{h}$  für beide bzw.  $82,5 \text{ m}^3/\text{h}$  je Sandfanggerinne. Unter Vorgriff auf die unter Kapitel 5.3.1 beschriebene Maßnahme „Außerbetriebnahme eines Sandfanggerinnes“ wird empfohlen die beiden vorhandenen Gerinne durch separate Gebläse mit Prozessluft zu beaufschlagen. Die erforderliche Leistungsaufnahme eines der beiden erforderlichen Drehkolbengebläse kann überschlägig nach folgender Formel berechnet werden:

$$P_{\text{erf}} [\text{kW}] = \frac{V_{\text{erf}} [\text{m}^3] \cdot \Delta P [\text{mWS}]}{\eta [-] \cdot 367 [-]}$$

Unter Ansatz einer erforderlichen Luftmenge von  $82,5 \text{ Nm}^3$  und einer Druckdifferenz von 350 mbar sowie einem Wirkungsgrad der Gebläse in Bereichen von 55 % bis 65 % kann die zu installierende Gebläseleistung zu rund 1,2 kW bei einem Wirkungsgrad von 65 % und zu rund 1,4 kW bei einem Wirkungsgrad von 55 % angegeben werden. Berücksichtigt man zudem einen Motorwirkungsgrad von etwa 95 %, kann die betriebliche Leistungsaufnahme bei den angesetzten Wirkungsgraden der Maschinen zu etwa 1,3 kW bis zu 1,5 kW ermittelt werden.

Nach einer durch das Auslegungsprogramm „AerzenBlower“ des Ausrüsters „Aerzen“ konkretisierten Auslegung kann ein Aggregat der Baureihe „GM 3 S“ das erforderliche Luftvolumen bei einer Kupplungsleistung von 1,5 kW unter Verwendung eines Antriebs der Nennleistung 2,2 kW bereitstellen. Da die durchgeführte Auslegung unvermeidbare Verluste im Bereich der Motorwicklung nicht berücksichtigt, wird die angegebene Kupplungsleistung der Aggregate in den folgenden Betrachtungen um 5 % erhöht, um Motorverluste zu berücksichtigen.

Hierbei muss darauf hingewiesen werden, dass eine Versorgung weiterer Abnehmer von Prozessluft durch die empfohlenen Aggregate nicht mehr erfolgen sollte.

### Einsparpotenzial

Der elektrische Energiebedarf zur Sandfangbelüftung beträgt bei gleichzeitigem Betrieb der beiden empfohlenen Aggregate und analog zu den für das Betrachtungsjahr der vorliegenden Analyse vorliegenden ermittelten Betriebszeiten von 8.000 h/a für jedes der

beiden empfohlenen Gebläse rund 25.600 kWh/a. Hierdurch reduziert sich der für das Jahr 2007 nachgewiesene Energiebedarf von rund 81.040 kWh/a um rund 55.440 kWh/a. Das monetäre Potenzial der Maßnahme kann bei Ansatz des für das Jahr 2007 geltenden elektrischen Energiepreises von rund 10,5 Cent/kWh zu rund 5.800 €/a angegeben werden.

Beachtet man jedoch den durch Umsetzung der unter Kapitel 5.1.1 beschriebenen Sofortmaßnahme „Betrieb der Sandfanggebläse in niedriger Polstufe“ bereits reduzierten Energiebedarf von 39.600 kWh/a, ergibt sich das verbleibende energetische Potenzial der Maßnahme zu rund 14.000 kWh/a, bzw. das monetäre Potenzial zu rund 1.338 €/a. Da zur Umsetzung der unter Kapitel 5.1.1 beschriebenen Sofortmaßnahme „Betrieb der Sandfanggebläse in niedriger Polstufe“ geraten wird, wird im Folgenden das auf den durch diese Maßnahme bereits reduzierten Energiebedarf ermittelte Einsparpotenzial angesetzt.

### **Investitionskosten**

Die Investitionskosten für die im Rahmen der Umsetzung dieser Maßnahme zu beschaffenden Drehkolbengebläse können zu etwa 3.000 € je Gebläse inklusive Antrieb, Schallhaube und weiterem Zubehör abgeschätzt werden. In der Summe betragen die erforderlichen Investitionen also rund 6.000 €, wobei hier eventuell erforderliche Investitionen und Betriebskosten; um die Fettfangbelüftung und die Siebgutverflüssigung weiterhin mit Prozessluft zu beaufschlagen; nicht berücksichtigt werden können.

Unter den gegebenen Randbedingungen kann der K/N-Faktor zu 0,5 angegeben werden. Es kann mit einer Amortisation binnen des zweiten Jahres nach Umsetzung der Maßnahme gerechnet werden. Es wird jedoch deutlich, dass vor Umsetzung genauere Daten über den Prozessluftbedarf zur Siebgutverflüssigung und Fettfangbelüftung erhoben werden sollten. Erst auf dieser Datengrundlage kann aus energetischer Sicht definitiv bewertet werden, ob die nach Umsetzung der unter Kapitel 5.1.1 beschriebenen Maßnahme optimierte Betriebsweise der Sandfangbelüftung beibehalten werden oder ein Ersatz der Sandfanggebläse erfolgen sollte.

## **5.3 Abhängige Maßnahmen**

### **5.3.1 Außerbetriebnahme eines Sandfangerinnes - A 1**

Zur Sandabscheidung wird auf dem GWK Nordkanal ein aus zwei Gerinnen bestehender Sandfang mit einem Gesamtvolumen von etwa 330 m<sup>3</sup> betrieben. Die hydraulische Aufenthaltszeit beträgt bei einem maximalen Mischwasserzufluss von 1.881 m<sup>3</sup>/h rund 10 Minuten und 32 Sekunden.

In neueren Veröffentlichungen [DWA, 2008] wird die Bemessungsempfehlung zur Auslegung von belüfteten Langsandfängen zu rund 5 Minuten bei maximalem Mischwasserzufluss angegeben. Bei einem auf diese hydraulische Aufenthaltszeit ausgelegten Sandfang kann ein sicherer Sandrückhalt erwartet werden. Durch eine hydraulische Aufenthaltszeit von 6 Minuten wird die vollständige Abtrennung der Kornfraktion 0,2 bis 0,25 mm erreicht.

Eine Nachrechnung der Aufenthaltszeiten bei Außerbetriebnahme eines der beiden vorhandenen Gerinne ergibt bei einem Bemessungszufluss  $Q_M$  von 523 l/s rund 5 Minuten und 15 Sekunden, bei einem Trockenwetterzufluss  $Q_{T,d}$  von 284 l/s rund 9 Minuten und 41 Sekunden. Man erkennt, dass bei dauerhafter Außerbetriebnahme eines der Gerinne die aktuelle Bemessungsempfehlung hinsichtlich der hydraulischen Aufenthaltszeit belüfteter Langsandfänge bei Bemessungszufluss von 5 Minuten geringfügig überschritten, die zur vollständigen Abtrennung der Kornfraktion 0,2 bis 0,25 mm empfohlene Aufenthaltszeit von 6 Minuten jedoch nicht erreicht wird.

Daher sollte durch die Betriebsführung geprüft werden, ob die dauerhafte Außerbetriebnahme eines Gerinne bei ausreichendem Sandrückhalt, jedoch unter der möglichen Inkaufnahme einer eventuellen unvollständigen Abtrennung der der Kornfraktion 0,2 bis 0,25 mm umgesetzt werden kann. Es sollte hierbei berücksichtigt werden, dass bei Betrieb von nur einem Gerinne die hydraulische Aufenthaltszeit bis zu einer Zuflusswassermenge von 458 l/s rund 6 Minuten beträgt und die vollständigen Abtrennung der Kornfraktion 0,2 bis 0,25 mm sichergestellt ist und höhere Zuflusswassermengen nur in seltenen Fällen erwartet werden müssen.

Zur Außerbetriebnahme ist durch Absenken der Zu- und Ablaufschieber sicherzustellen dass das betreffende Gerinne nicht mit zu behandelndem Abwasser beaufschlagt wird. Es wird unterstellt dass eine mobile Pumpe zur Räumung vorhanden ist.

Unter Kapitel 5.2.5 wurde der elektrische Energiebedarf zur Sandfangbelüftung bei Einsatz von für diesen Zweck optimal dimensionierten Gebläsen dargelegt. Die empfohlenen Aggregate wurden derart bemessen, dass die Förderleistung eines Gebläses genau ausreicht, um die Belüftung eines der Sandfanggerinne zu realisieren. Nach erfolgter Außerbetriebnahme eines Gerinne ist also der kontinuierliche Betrieb eines Drehkolbengebläses ausreichend, die Belüftung des nicht mehr betriebenen Gerinne kann durch Schließen der Kugelhähne der Falleitungen unterbrochen werden.

Hierbei ist zusätzlich zu beachten, dass bei Umsetzung dieser Maßnahme neben der Einsparung elektrischer Energie auch betriebliche Vorteile durch einen geringeren Rückhalt an organischem Material erreicht werden. Es reduzieren sich die Entsorgungskosten, und organisches Material steht im weiteren Reinigungsprozess als Substrat zur Verfügung.

### **Einsparpotenzial**

Das energetische Einsparpotential der Maßnahme setzt sich aus Einsparungen im Bereich der Belüftung und im Bereich der Räumung des Sandfangs zusammen.

Bei Einsatz der unter Kapitel 5.2.5 empfohlenen Aggregate kann der Energiebedarf zur Belüftung des Sandfangs, bezogen auf den nach Umsetzung der genannten Maßnahme verbleibenden Energiebedarf zur Sandfangbelüftung von 25.600 kWh/a, um weitere 12.800 kWh/a gesenkt werden. Bezogen auf den elektrischen Energiepreis des Jahres 2007 ergibt sich ein monetäres Potenzial von 1.348 €/a.

Um das im Bereich der Sandentnahmepumpen erreichbare energetische Potenzial abzuschätzen wird von einer Leistungsaufnahme der Pumpen von rund 1,86 kWh ausgegangen. Da unterstellt wird, dass die Laufzeit des Aggregates unverändert bleibt, jedoch mit

einer durch den höheren geförderten Feststoffanteil mit einer in geringem Maße erhöhten Leistungsaufnahme zu rechnen ist, wird diese um 10 % erhöht angesetzt. Es kann auf Grundlage der im Rahmen der Messkampagne ermittelten Betriebszeiten mit einem Energiebedarf zur Sandentnahme von rund 1.434 kWh/a ausgegangen werden. Bezogen auf den Energiebedarf des Jahres 2007 von 2.206 kWh/a kann das energetische Potential also zu rund 1.172 kWh/a bzw. das monetäre Potenzial zu rund 123 €/a angegeben werden.

In der Summe kann das energetische Potential der Außerbetriebnahme eines Sandfanggerinne zu rund 13.973 kWh/a bzw. das monetäre Potenzial bezogen auf den für das Jahr 2007 geltenden elektrischen Energiepreis zu rund 1.470 €/a angegeben werden.

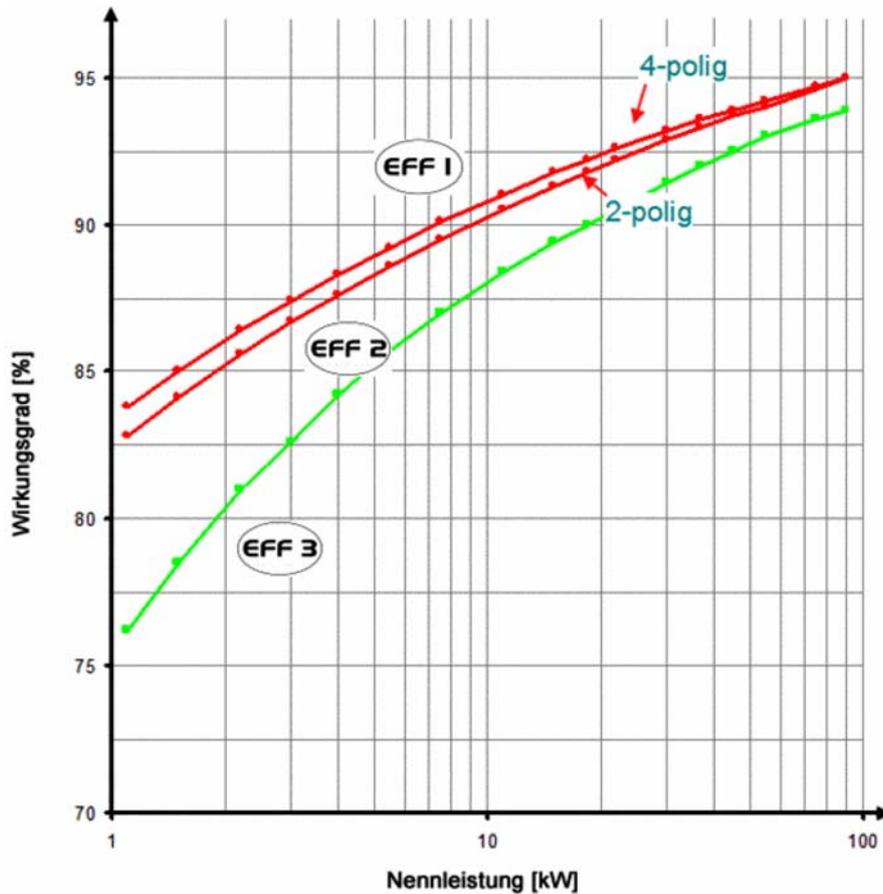
### **Investitionskosten**

Da es sich bei der empfohlenen Maßnahme um eine reine Außerbetriebnahme handelt wird hier lediglich ein erhöhter Kontroll- und Arbeitsaufwand des Betriebspersonals während der Umsetzung der Maßnahme in Höhe von 1.500 € berücksichtigt. Der K/N-Faktor ergibt sich damit zu 0,07. Die Maßnahme ist sehr wirtschaftlich.

## **5.3.2 Einsatz energieeffizienter Motoren - A 2**

Die Hersteller von Elektromotoren haben sich im Rahmen eines europaweiten Abkommens verpflichtet, die Wirkungsgrade von Elektromotoren eindeutig anzugeben. Es ist zwischen drei Wirkungsgrad- oder Energieeffizienzklassen (EFF1, EFF2 und EFF3) zu unterscheiden. Die Energieeffizienzklasse wird auf dem Typenschild des Motors angegeben oder ist den Herstellerunterlagen zu entnehmen. Kann keine Energieeffizienzklasse ermittelt werden, kann die Effizienzklasse EFF3 unterstellt werden.

Folgende Abbildung 5.7 verdeutlicht die elektrischen Wirkungsgrade in den verschiedenen Energieeffizienzklassen von Elektromotoren in 2- und 4-poliger Ausführung:



**Abbildung 5.7: Wirkungsgrade von elektrischen Antrieben (Quelle: [www.system-energieeffizienz.de](http://www.system-energieeffizienz.de))**

Im Rahmen der Energieanalyse des GWK Nordkanal wurden die Energieeffizienzklassen der verwendeten Antriebe durch das Betriebspersonal ermittelt. Es zeigt sich, dass in der Regel Antriebe der Energieeffizienzklasse 2 eingesetzt werden. Müssen in den nächsten Jahren verschleißbedingt Motoren ersetzt werden, bietet es sich an, diese Motoren durch energieeffizientere Antriebe auszutauschen. Die bei Einsatz eines hocheffizienten Antriebes erhöhten Investitionskosten rechnen sich oftmals relativ kurzfristig durch die wirkungsvollere Energieaufnahme.

Um nun eine Entscheidungsgrundlage zu schaffen, ob der Einsatz eines Antriebs der Energieeffizienzklasse 1 wirtschaftlich ist, oder aus monetären Gründen der Einsatz eines weniger effizienten Antriebs gerechtfertigt ist, wurde für Antriebe ab einer Nennleistung von 2 kW und einer jährlichen Betriebszeit ab 1.000 h die aus höheren elektrischen Wirkungsgraden resultierende Energieeinsparung nach folgender Formel berechnet:

$$el.Energieeinsparung [kWh/a] = el.Arbeit_{IST} \cdot \left( 1 - \frac{\eta_{vorh.}}{\eta_{EFF 1}} \right)$$

Es wurde unterstellt, dass Antriebe unter einer Nennleistung von 4 kW mit 2-polig ausgeführten Antrieben ersetzt und solche mit höherer Nennleistung in 4-poliger Ausführung ersetzt werden. Die Berechnung der jährlichen Kosteneinsparung erfolgt unter An-

satz des für das Jahr 2007 geltenden elektrischen Energiepreis nach folgendem Zusammenhang:

$$\text{mon.Einsparung} [\text{€} / \text{a}] = \text{el.Energieeinsparung} \cdot \text{eff.el. Energiepreis 2007}$$

Über die jährliche Kosteneinsparung wurden die im Vergleich zu herkömmlichen Antrieben aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu vertretenden höheren Investitionskosten (maximale Mehrkosten) von Antrieben der Energieeffizienzklasse 1 unter Ansatz eines Abschreibungszeitraums (n) der Antriebe von 15 Jahren und einem Kapitalzins (i) von 7 % unter Verwendung des Kapitalwiedergewinnungsfaktors (KFAKR) nach folgendem Zusammenhang ermittelt:

$$\text{max.Mehrkosten} [\text{€}] = \frac{\text{mon. Einsparung}}{\text{KFAKR}}$$

Hierbei ergibt sich der Kapitalwiedergewinnungsfaktor (KFAKR) zu:

$$\text{KFAKR} [-] = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Ersetzt man beispielsweise im Zuge einer Ersatzinvestition den Antrieb der Zulaufpumpe 1 (9 kW Nennleistung) durch Antriebe der Energieeffizienzklasse 1, so erhält man gegenüber einem Motor der Klasse EFF 2 einen um 3,4 Prozentpunkte verbesserten elektrischen Wirkungsgrad. Bei gegenwärtig jährlich benötigten 12.006 kWh und den in Abbildung 5.7 gezeigten Wirkungsgraden ergibt sich elektrische Energieeinsparung von rund 456 kWh/a und unter Ansatz des effektiven Energiepreis von 10,5 Cent/kWh eine monetäre Einsparung von 48 €/a. Die maximalen Mehrkosten des effizienteren Antriebs ergeben sich schließlich zu etwa 438 €.

Folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse der Untersuchung, insbesondere die Nennleistung, den vorhandenen und bei EFF 1 zu erwartenden Wirkungsgrad, die resultierenden Einsparungen und die maximalen Mehrkosten der energieeffizienteren Antriebe für die verschiedenen Aggregate:

**Tabelle 5.3: Darstellung der Einsparungen und Mehrkosten durch Antrieb der EFF 1**

Aggregat [-]	P <sub>Nenn</sub> [kW]	η <sub>vorh.</sub> [%]	η <sub>EFF 1</sub> [%]	Ein- sparung [kWh/a]	Ein- sparung [€/a]	Maximale Mehrkosten [€]
Zulaufpumpe 1	9,0	86,6%	90,0%	456	48	438
Zulaufpumpe 2	70,0	94,7%	95,3%	515	54	494
Zulaufpumpe 3	70,0	94,7%	95,3%	674	71	646
Zulaufpumpe 4	70,0	94,7%	95,3%	520	55	498
Zulaufpumpe 5	70,0	94,7%	95,3%	572	60	548
Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 1	7,5	85,9%	89,5%	514	54	493

Aggregat	$P_{\text{Nenn}}$	$\eta_{\text{vorh.}}$	$\eta_{\text{EFF 1}}$	Ein- sparung	Ein- sparung	Maximale Mehrkosten
[-]	[kW]	[%]	[%]	[kWh/a]	[€/a]	[€]
Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 2	7,5	85,9%	89,5%	526	55	504
Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 3	7,5	85,9%	89,5%	514	54	493
Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 4	7,5	85,9%	89,5%	514	54	493
Gebläse Sandfang 1	11,0	87,4%	90,5%	1.405	148	1.347
Gebläse Sandfang 2	11,0	87,4%	90,5%	1.405	148	1.347
Gebläse 1 Belebung	90,0	95,7%	95,9%	216	23	207
Gebläse 2 Belebung	90,0	95,7%	95,9%	224	24	215
Gebläse 3 Belebung	90,0	95,7%	95,9%	223	23	213
Gebläse 4 Belebung	90,0	95,7%	95,9%	216	23	207
Gebläse 5 Belebung	90,0	95,7%	95,9%	225	24	215
Rührwerk 1 Straße 1 Nitrifikation (BB1)	4,0	83,4%	87,9%	1.483	156	1.422
Rührwerk 2 Straße 1 Nitrifikation (BB1)	4,0	83,4%	87,9%	1.481	156	1.420
Rührwerk 1 Straße 2 Nitrifikation (BB1)	4,0	83,4%	87,9%	1.482	156	1.421
Rührwerk 2 Straße 2 Nitrifikation (BB1)	4,0	83,4%	87,9%	1.482	156	1.421
Rührwerk 1 Straße 3 Nitrifikation (BB2)	4,0	83,4%	87,9%	1.658	175	1.590
Rührwerk 2 Straße 3 Nitrifikation (BB2)	4,0	83,4%	87,9%	1.321	139	1.267
Rührwerk 1 Straße 4 Nitrifikation (BB2)	4,0	83,4%	87,9%	1.554	164	1.490
Rührwerk 2 Straße 4 Nitrifikation (BB2)	4,0	83,4%	87,9%	1.554	164	1.490
Rührwerk 1 Straße 5 Nitrifikation (BB3)	4,0	83,4%	87,9%	1.549	163	1.485
Rührwerk 2 Straße 5 Nitrifikation (BB3)	4,0	83,4%	87,9%	1.548	163	1.484
Rührwerk 1 Straße 6 Nitrifikation (BB3)	4,0	83,4%	87,9%	1.546	163	1.483
Rührwerk 2 Straße 6 Nitrifikation (BB3)	4,0	83,4%	87,9%	1.545	163	1.482
Rührwerk 1 Straße 7 Nitrifikation (BB4)	4,0	83,4%	87,9%	1.538	162	1.475
Rührwerk 2 Straße 7 Nitrifikation (BB4)	4,0	83,4%	87,9%	1.591	168	1.526
Rührwerk 1 Straße 8 Nitrifikation (BB4)	4,0	83,4%	87,9%	1.350	142	1.295
Rührwerk 2 Straße 8 Nitrifikation (BB4)	4,0	83,4%	87,9%	1.538	162	1.475
Rührwerk DENI Strasse 1	2,3	81,2%	85,6%	756	80	725

<b>Aggregat</b>	<b>P<sub>Nenn</sub></b>	<b><math>\eta</math><sub>vorh.</sub></b>	<b><math>\eta</math><sub>EFF 1</sub></b>	<b>Ein- sparung</b>	<b>Ein- sparung</b>	<b>Maximale Mehrkosten</b>
<b>[-]</b>	<b>[kW]</b>	<b>[%]</b>	<b>[%]</b>	<b>[kWh/a]</b>	<b>[€/a]</b>	<b>[€]</b>
Rührwerk DENI Strasse 2	2,3	81,2%	85,6%	756	80	725
Rührwerk DENI Strasse 3	2,3	81,2%	85,6%	755	79	724
Rührwerk DENI Strasse 4	2,3	81,2%	85,6%	754	79	723
Rührwerk VARIO Strasse 1 BB1	2,3	81,2%	85,6%	678	71	650
Rührwerk VARIO Strasse 2 BB2	2,3	81,2%	85,6%	756	80	725
Rührwerk VARIO Strasse 3	2,3	81,2%	85,6%	703	74	674
Rührwerk VARIO Strasse 4	2,3	81,2%	85,6%	703	74	674
Rezipumpe 1 Strasse 1	2,5	81,5%	85,9%	411	43	394
Rezipumpe 2 Strasse 1	2,5	81,5%	85,9%	411	43	394
Rezipumpe 1 Strasse 2	2,5	81,5%	85,9%	410	43	393
Rezipumpe 2 Strasse 2	2,5	81,5%	85,9%	413	43	396
Rezipumpe 1 Strasse 3	2,5	81,5%	85,9%	411	43	395
Rezipumpe 2 Strasse 3	2,5	81,5%	85,9%	411	43	394
Rezipumpe 1 Strasse 4	2,5	81,5%	85,9%	411	43	394
Rezipumpe 2 Strasse 4	2,5	81,5%	85,9%	335	35	321
ÜSS- Pumpe 1	7,5	85,9%	89,5%	76	8	73
ÜSS- Pumpe 2	7,5	85,9%	89,5%	326	34	313
Gebläse 1.1 Membranfiltration	75,0	95,0%	95,4%	1.477	156	1.417
Gebläse 1.2 Membranfiltration	75,0	95,0%	95,4%	1.161	122	1.113
Gebläse 2.1 Membranfiltration	75,0	95,0%	95,4%	1.353	142	1.297
Gebläse 2.2 Membranfiltration	75,0	95,0%	95,4%	1.360	143	1.304
Gebläse 3.1 Membranfiltration	75,0	95,0%	95,4%	1.364	144	1.308
Gebläse 3.2 Membranfiltration	75,0	95,0%	95,4%	1.328	140	1.273
Gebläse 4.1 Membranfiltration	75,0	95,0%	95,4%	1.554	164	1.490
Gebläse 4.2 Membranfiltration	75,0	95,0%	95,4%	1.539	162	1.475
Permeat Extraktionspumpe 1.1	30,0	91,4%	93,1%	321	34	308
Permeat Extraktionspumpe 1.2	30,0	91,4%	93,1%	313	33	300

Aggregat	P <sub>Nenn</sub>	$\eta$ <sub>vorh.</sub>	$\eta$ <sub>EFF 1</sub>	Ein- sparung	Ein- sparung	Maximale Mehrkosten
[-]	[kW]	[%]	[%]	[kWh/a]	[€/a]	[€]
Permeat Extraktionspumpe 2.1	30,0	91,4%	93,1%	320	34	307
Permeat Extraktionspumpe 2.2	30,0	91,4%	93,1%	310	33	297
Permeat Extraktionspumpe 3.1	30,0	91,4%	93,1%	333	35	319
Permeat Extraktionspumpe 3.2	30,0	91,4%	93,1%	325	34	312
Permeat Extraktionspumpe 4.1	30,0	91,4%	93,1%	300	32	287
Permeat Extraktionspumpe 4.2	30,0	91,4%	93,1%	298	31	286
Zentrifugenantrieb 1 (Trommelantrieb)	55,0	93,8%	94,6%	730	77	700
Zentrifugenantrieb 2 (Schneckenantrieb)	15,0	88,6%	91,3%	396	42	380
Troglförderschnecke Schlammverladung	5,5	84,6%	88,8%	294	31	282
Rührwerk Trübwasserbehälter	2,5	81,5%	85,9%	1.326	140	1.271
Pumpe 1 Trübwasserbehälter	5,9	84,9%	88,9%	198	21	190
Pumpe 2 Trübwasserbehälter	5,9	84,9%	88,9%	198	21	190
Brauchwasseranlage II P1	7,5	85,9%	89,5%	833	88	799
Brauchwasseranlage II P2	7,5	89,5%	89,5%	0	0	0
Brauchwasseranlage II P3	7,5	89,5%	89,5%	0	0	0
Kompressor 1 Druckluftez.	3,2	86,6%	86,6%	0	0	0
Kompressor 2 Druckluftez.	3,2	82,5%	86,6%	640	67	614
Kompressor 3	3,2	82,5%	86,6%	133	14	128
Kompressor 4	3,2	82,5%	86,6%	384	40	368
Ventilator Abluftbehandlung GWK	22,0	90,1%	92,3%	1.917	202	1.839
Umwälzpumpe Abluftbehandlung GWK	2,2	81,0%	85,5%	892	94	856
Abluftbehandlungsanlage Standort Alt	10,0	87,0%	90,3%	1.338	141	1.283

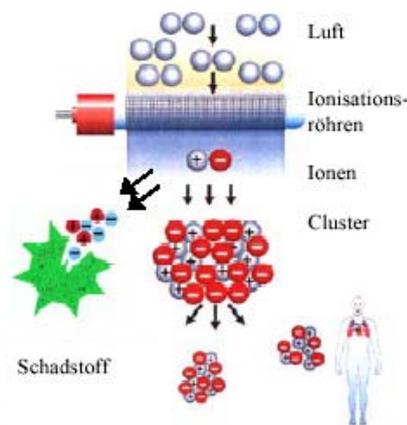
## 5.4 Sonstige Maßnahmen

### 5.4.1 Alternative Abluftbehandlung

Der spezifische Energieverbrauch für die Abluftbehandlung liegt deutlich über dem Verbrauch nach dem MUNLV Handbuch (s. 4). Der Grund liegt vor allem in der Ab-

luftbehandlung für die Membranhalle. Hier fällt ein zusätzlich zu behandelndes Luftvolumen an, welches normalerweise in dieser Größenordnung auf herkömmlichen Kläranlagen nicht anfällt. Insgesamt werden für die Abluftbehandlung 140.698 kWh benötigt. Die Abluftbehandlung am Pumpwerk „Am Bauhof“ erfordert davon etwa 37.000 kWh. Es bleiben also etwa 103.800 kWh, die für die Abluftreinigung am GWK Nordkanal aufgewendet werden müssen. Größter Verbraucher ist der Abluftventilator mit einem Energiebedarf von ca. 81.870 kWh. Die Leistungsaufnahme aller Aggregate zur Abluftbehandlung liegt bei 25,7 kW.

Eine Alternative zur energieintensiven Abluftbehandlung über einen Biofilter wäre die Behandlung mittels Aktivsauerstoffverfahren. Der Reinigungsprozess beruht im Prinzip auf einer Mikrooxidation der Schadstoffe mit Hilfe von elektrisch geladenem bzw. aktiviertem Sauerstoff. Dieser hat eine wesentlich stärkere Oxidationskraft als neutraler Sauerstoff. Dies ermöglicht die Neutralisation von Geruchsstoffen innerhalb von Sekunden. Kernstück des Aktivsauerstoffgerätes sind Ionisationsröhren, mit denen durch Auflegen einer Hochspannung die Aktivierung des Luftsauerstoffs erfolgt. Die Erzeugung von hochreaktivem Aktivsauerstoff resultiert in einer Oxidation von Geruchsstoffen und einer Inaktivierung von Keimen. Abbildung 5.8 zeigt das Prinzip des Aktivsauerstoffverfahrens.



**Abbildung 5.8: Prinzipskizze Aktivsauerstoffverfahren (Quelle: Neutralox Umwelttechnik GmbH)**

Die belastete Luft wird durch Hochspannung mit Aktivsauerstoff und Sauerstoffionen angereichert und dadurch regeneriert. Ein Teil der negativen und positiven Sauerstoffionen gruppiert sich durch die unterschiedlichen Ladungen zu aktiven Sauerstoff-Molekül-Komplexen (Sauerstoff-Cluster). Aktivsauerstoff und Sauerstoffionen bewirken durch eine sofortige Oxidation die Luftentkeimung und Geruchsneutralisation. Die regenerierte Luft wird in den Raum zurückgeführt und oxidiert die Schadstoffe direkt in der Raumluft. Die Aktivsauerstoff-Raumluftanlagen reinigen je Stunde das 6- bis 12-fache des Raumluftvolumens. Dieser hohe Luftdurchsatz ermöglicht eine weitergehende Reduzierung der Belastung der Arbeitsluft, als dies eine konventionelle Absaugung mit 4- bis 5-fachem Luftwechsel bewirken könnte. Durch die natürliche Diffusion der Sauerstoffionen wird die Luft auch in strömungstechnisch ungünstigen Raumbereichen mit

Aktivsauerstoff gereinigt. Gleichzeitig wird ein Ansaugen hochbelasteter Luft, z.B. aus der Kanalisation, vermieden.

Eine grobe Auslegung der erforderlichen Aggregate für das GWK Nordkanal ergab eine erforderliche Leistungsaufnahme von nur 9,5 kW. Bei einer Betriebszeit von 8760 h/a ergibt sich eine potenzielle Einsparung von fast 142.000 kWh und damit fast 15.000 €/a.

Das Verfahren ist jedoch nur wirksam, wenn die Geruchsbelastungen vor Ort gewisse Werte nicht überschreiten. Für eine Abschätzung, ob dieses Verfahren auf dem GWK Nordkanal sinnvoll angewandt werden kann, müssten vom Hersteller vorab Geruchsproben genommen werden. Daher wird diese Maßnahme nicht in den Gesamtkatalog der Maßnahmen mit aufgenommen, sondern wird an dieser Stelle nur kurz vorgestellt. Eine ausführliche Beschreibung des Verfahrens mit Beispielen zur Anlagenkonfiguration ist Anlage 8 zu entnehmen.

## 5.5 Gesamtübersicht über die vorgeschlagenen Maßnahmen

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

Die Übersicht zeigt, dass sich nicht nur das Maßnahmenpaket in Summe wirtschaftlich darstellt, sondern dass auch jede einzelne Maßnahme für sich betrachtet wirtschaftlich ist. Insgesamt ergibt sich ein K/N-Verhältnis von 0,10 für das Gesamtpaket.

**Tabelle 5.4: Maßnahmentabelle nach MUNLV**

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]			
S1	Betrieb SF-Gebläse auf kleiner Polstufe	4.11	12,5	0	0	41.440		0	4.363	0,00
<b>Sofortmaßnahmen</b>				0	0	41.440		0	4.363	0,00

### 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	Anpassung CF-Gebläse	7.15	12,5	20.000	20.000	362.153		2.453	38.128	0,06
K2	Relaxation statt Rückspülung	7.23	12,5	5.000	5.000	147.000		613	15.476	0,04
K3	Optimierung der Deni- und Vario-Rührwerke	6.35	12,5	16.000	16.000	53.413		1.962	5.623	0,35
K4	Gleitdruckregelung	6.1	12,5	10.000	10.000	15.100		1.226	1.590	0,77
K5	Ersatz Sandfanggebläse	4.11	12,5	6.000	6.000	14.000		736	1.474	0,50
<b>Kurzfristige Maßnahmen</b>				57.000	57.000	591.666		6.991	62.291	0,11

### 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	Außerbetriebnahme Sandfanggerinne	4.11	30	1.500	1.500	13.973		121	1.471	0,08
<b>Abhängige Maßnahmen</b>				1.500	1.500	13.973		121	1.471	0,08

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			0	0	41.440		0	4.363	0,00
Maßnahmen S+K			57.000	57.000	633.106		6.991	66.654	0,10
Maßnahmen S+K+A			58.500	58.500	647.079		7.112	68.125	0,10

## 6 LASTMANAGEMENT

### 6.1 Einsatz eines Lastmanagementsystems

Im Rahmen der Energieanalyse wird das prinzipielle Vorgehen für den Einsatz eines Lastmanagementsystems zur Reduktion der Energiekosten erläutert.

In einem ersten Schritt ist das mögliche Einsparpotenzial über die Auswertung des Lastverlaufes (EVU-Daten) zu ermitteln. Bei positiver Einschätzung und Bewertung der

vorhandenen technischen Möglichkeiten sind die Investitionskosten abzuschätzen. Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsberechnung können anschließend die Einsparpotenziale den Investitionskosten gegenübergestellt und die Amortisationsdauer für die Maßnahmen ermittelt werden.

Dieses Vorgehen macht insbesondere dann Sinn, wenn die Anlage störungsfrei betrieben wird und dem Betriebspersonal Erfahrungswerte über das Verhalten der Anlage bei der Abschaltung von in Betracht zu ziehenden Verbrauchern vorliegen.

Die folgenden Kapitel beschreiben das prinzipielle Vorgehen bei der Prüfung, ob ein Lastmanagement rentabel eingeführt oder erweitert werden kann.

## **6.2 Eckdaten der Energieverträge**

### **6.2.1 Zusammensetzung Strombezugspreis**

In der Regel handelt es sich bei Kläranlagen um Sondervertragskunden, welche die Energie direkt aus dem Mittelspannungsnetz des EVUs beziehen. Hier setzt sich der Strombezugspreis aus folgenden Komponenten zusammen:

- Leistungspreis
- Arbeitspreise
- EEG-Aufschlag: Entgelt für die Stromlieferung gemäß Erneuerbare-Energien-Gesetz
- KWKG-Aufschlag: Entgelt für die Stromlieferung gemäß Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
- Stromsteuer
- Umsatzsteuer

Grundsätzlich ist für den Einsatz eines Lastmanagementsystems die Ermittlung des Leistungspreises relevant. Die übrigen Größen werden durch eine Reduzierung des Leistungsmaximums nicht beeinflusst.

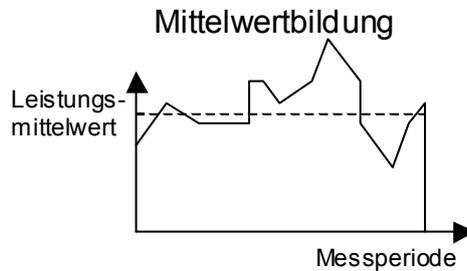
### **6.2.2 Zusammensetzung Strombezugspreis**

Der Leistungspreis ist abhängig von den nachstehenden Bezugsgrößen:

- 15-Minuten-Mittelwerte
- Monatshöchstleistung
- Jahreshöchstleistung
- Vorhalteleistung

### 15-Minuten-Mittelwerte

Zur Bestimmung des Leistungspreises wird nicht die tatsächlich höchste Leistung angesetzt, sondern der Durchschnitt über eine Messperiode. In der Regel beträgt die Messperiode 15 Minuten.



**Abbildung 6.1: Ermittlung des 15-min-Mittelwertes**

Dazu wird die Arbeitsmenge (kWh) pro Messperiode gezählt. Die durchschnittliche Leistung (kW) erhält man durch Division der gezählten Arbeitsmenge durch die Messperiode.

Anhand der 15-Minuten-Mittelwerte werden Monatshöchstleistungen und Jahreshöchstleistungen ermittelt.

### Monatshöchstleistungen

Als Monatshöchstleistung gilt der höchste innerhalb eines Abrechnungsmonats gemessene viertelstündige Mittelwert der Wirkleistung. 2880 Viertelstunden hat ein Monat, aber nur eine bestimmt den Monatshöchstwert, der in die Berechnung des Leistungspreises eingeht.

### Jahreshöchstleistung

Als Jahreshöchstleistung gilt das Mittel aus einer festgelegten Anzahl der höchsten im Abrechnungsjahr aufgetretenen Monatshöchstleistungen. D. h. 35.040 Viertelstunden hat ein Jahr, aber ein oder zwei bestimmen den Jahreshöchstwert, der in die Berechnung des Leistungspreises eingeht.

### Vorhalteleistung

In der Regel ist zusätzlich eine Mindestgröße für den Leistungspreis festgelegt, z. B. mindestens 70 % der gemäß Vertrag bereitgestellten Leistung (Vorhalteleistung).

### Berechnung Leistungspreis

Die Berechnung des Leistungspreises erfolgt in Abhängigkeit des jeweils gültigen Tarifes. Der Leistungspreis ermittelt sich aus der Multiplikation einer Pauschalen (€/kW) mit Durchschnittswerten von den Monatshöchst- bzw. Jahreshöchstwerten.

Bei monatlicher Berechnung des Leistungspreises wird der jeweilige Monatshöchstwert angesetzt. D.h., dass ein 15-Minuten-Mittelwert pro Monat den monatlichen Leistungspreis bestimmt.

Bei jährlicher Berechnung des Leistungspreises wird der Jahreshöchstwert angesetzt, d. h., dass bis zu zwei 15-Minuten-Mittelwerte pro Jahr den jährlichen Leistungspreis bestimmen.

### 6.2.3 EVU-Vertragsform mit Jahresleistungspreisberechnung

Nachstehend sind die Eckdaten der 2007 gültigen Vertragsform zur Berechnung des Leistungspreises aufgeführt. Die angegebene Preispauschale ist variabel und bezieht sich auf den geltenden Tarif. Die gültigen Preisangaben sind jeweils bei der zuständigen Abteilung abzufragen.

Die folgende Tabelle stellt die Preisregelung dar.

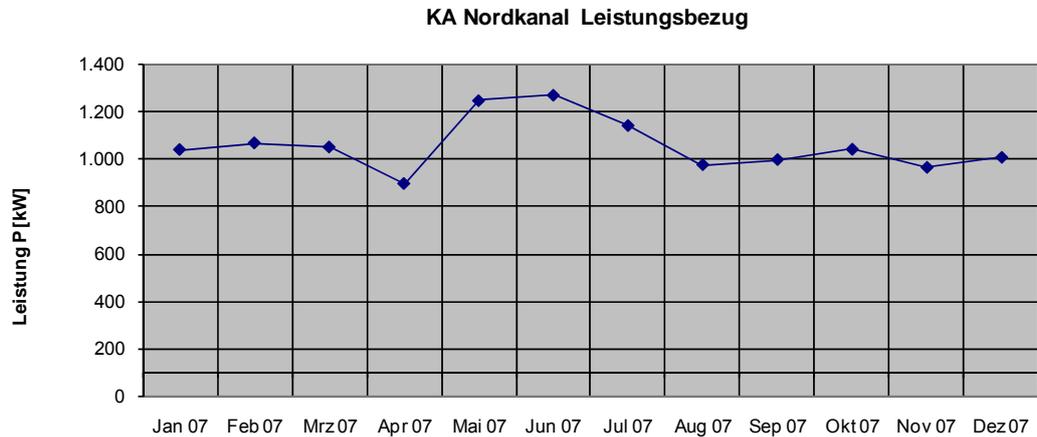
**Tabelle 6.1: Darstellung der Strombezugspreiskomponenten**

Preisregelung	2007
Leistungspreis	Jahresleistungspreis 80,40 EUR/kW (netto)
Arbeitspreis 1	6,75 ct/kWh
Arbeitspreis 2	5,2 ct/kWh
Jährlicher Mess- und Verrechnungspreis	1.860 €
Rabatt	-7%
Blindarbeitspreis oberhalb der 50 % Freigrenze	- ct/kvar (2007 keine Überschreitung)
Abgabe KWK 1	< 100.000 kWh/a 0,289 ct/kWh
Abgabe KWK 2	> 100.000 kWh/a 0,05 ct/kWh
Abgabe EEG	0,859 ct/kWh
Stromsteuer 2007	2,05 ct/kWh
Umsatzsteuer	19 %

### 6.3 Reduktions- und Einsparpotenzial

#### 6.3.1 Strombezugsdaten

Die nachstehende Grafik zeigt den Leistungsbezug des GWK Nordkanal von 01.2007 bis 12.2007.



**Abbildung 6.2: Darstellung des Leistungsbezuges**

Gemäß Vertrag wird das Jahresmaximum zur Ermittlung des Leistungspreises angesetzt.

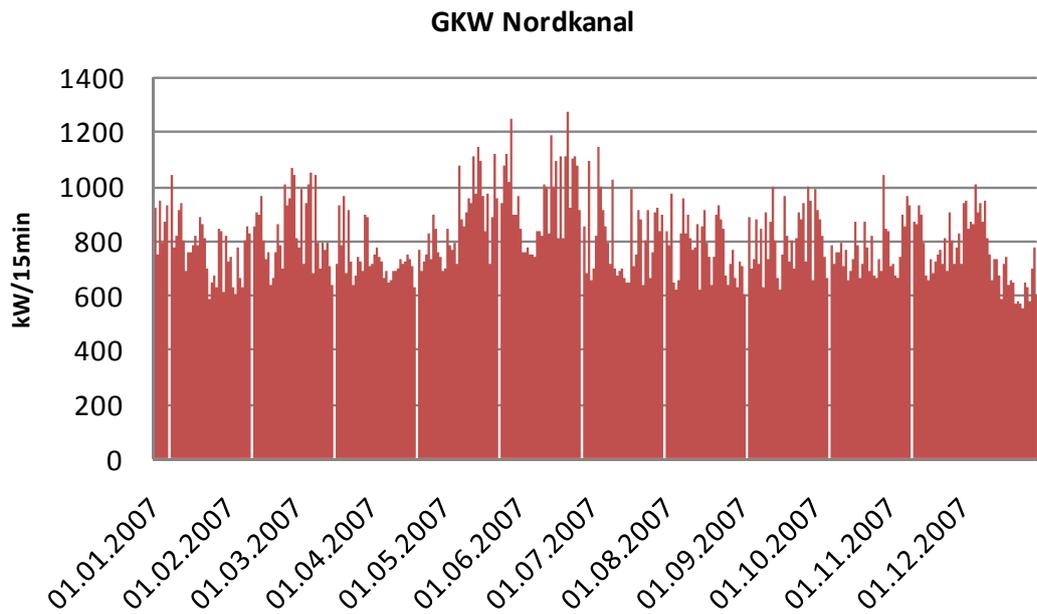
Das Verhältnis zwischen bezogener elektrischer Arbeit (4.988.222 kWh) und der maximal bezogenen Monatsleistung (1.268,4 kW) zeigt mit 3.933 h Benutzungsstunden für das Jahr 2007 ein eher unterdurchschnittliches Verhältnis der elektrischen Arbeit zur Verrechnungsleistung auf.

#### 6.3.2 Messimpulse

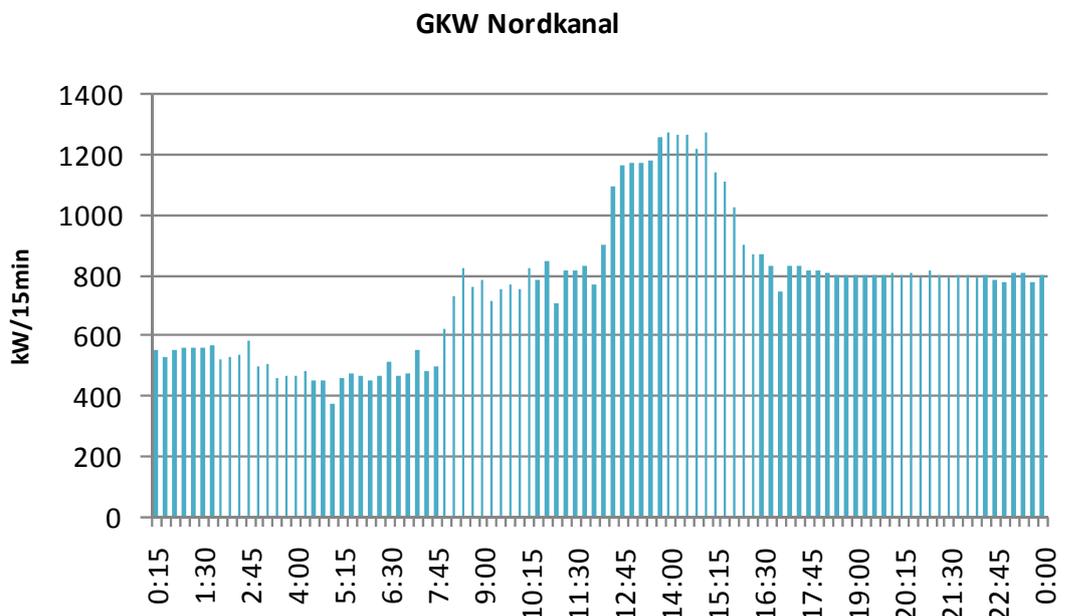
Damit Abschaltungen über ein Lastmanagementsystem durchgeführt werden können, müssen dem System der Wirkleistungsbezug und der Beginn der 15-Minuten-Messperiode übermittelt werden. Für die Durchführung einer autarken Zählung sind der Arbeitsimpuls (z. B. 1 Impuls / 1 kWh) und der Messperiodenimpuls (Beginn der Messperiode) erforderlich. Anhand dieser Werte berechnet das Lastmanagementsystem die 15-Minuten-Mittelwerte und schaltet bei drohender Überschreitung des festgelegten Grenzwertes die festzulegenden Aggregate ab.

#### 6.3.3 Auswertung Lastverlauf

Zur Bewertung des Einsparpotenzials ist die Betrachtung der monatlichen bzw. jährlichen Lastverläufe entscheidend. Auf Grundlage der vom EVU gemessenen 15-Minuten-Mittelwerte lassen sich die Lastverläufe in Form von Monats- bzw. Jahresbalkendiagrammen der Tageshöchstwerte darstellen. Um die Entwicklung des Leistungsbezugs bis zu einem Maximum zu verdeutlichen, werden die Tage mit den höchsten Leistungsbezugsdaten anschließend bis auf die 15-Minuten-Mittelwerte aufgelöst dargestellt.

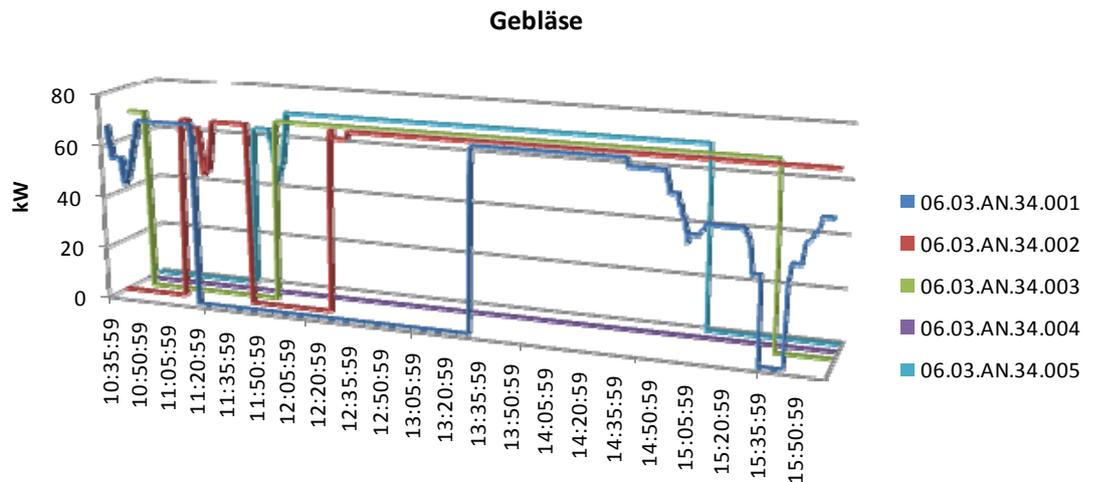


**Abbildung 6.3: Darstellung der maximalen Tagesleistungen**



**Abbildung 6.4: Entwicklung des Leistungsbezugs am Tag des maximalen Leistungsbezugs (21.06.2007)**

Bei einer genauen Betrachtung sind die Zusammenhänge an Tagen maximalen Leistungsbezugs zu berücksichtigen, um die Aggregate zu ermitteln, die ggf. abgeschaltet werden könnten.



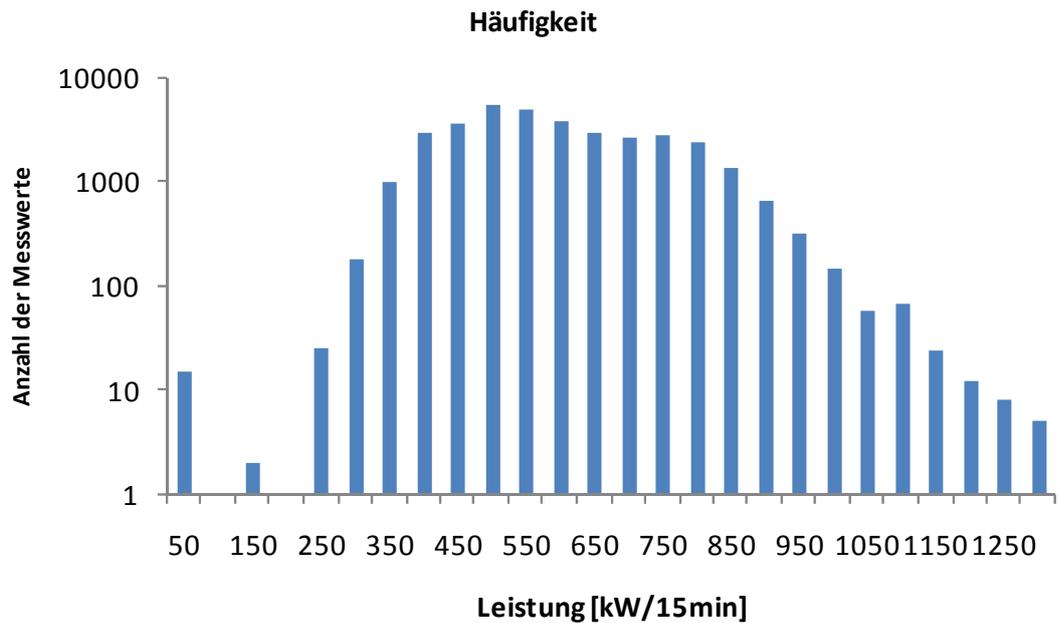
**Abbildung 6.5: Leistungsaufnahme der Gebläse am Tag des maximalen Leistungsbezugs (21.06.2007)**

Für verschiedene Sollwerte wird außerdem ermittelt, wie oft diese Leistungswerte überschritten werden. Durch die Zahl der Überschreitungen kann auf die Häufigkeit notwendiger zukünftiger Abschaltungen durch ein Lastmanagementsystem geschlossen werden. Auf Basis des erreichten Leistungsmaximums von 1.268 kWh im Betrachtungszeitraum 2007 erzielt eine Grenzwertfestlegung gemäß nachfolgender Tabelle folgende Reduktionen der Jahresverrechnungsleistung.

**Tabelle 6.2: Auswirkungen der Grenzwertfestlegung auf die Anzahl notwendiger Abschaltprozesse und Reduktion der Verrechnungsleistung**

Grenzwert [kW]	Anzahl der Viertelstunden Mittelwerte im Jahr oberhalb des Grenzwertes	Reduktion der Verrechnungsleistung [kW]
1.000	173	268
1.050	115	218
1.100	48	168
1.150	25	118

Dabei wird deutlich, dass je niedriger der Grenzwert angesetzt wird, desto häufiger muss ein Lastmanagementsystem eingreifen, um eine Überschreitung des gewählten Grenzwertes zu verhindern.



**Abbildung 6.6: Darstellung der Häufigkeitsverteilung des Leistungsbezugs im Betrachtungszeitraum**

**6.3.4 Einsparpotenzial bei Vertragsgestaltung mit Jahresleistungspreisberechnung**

Die technische Funktionsweise des Lastmanagements ist unabhängig von der vertraglichen Gestaltung der Stromlieferung. Die finanziellen Einsparungsmöglichkeiten sind jedoch stark von der Vertragsgestaltung abhängig. Als Beispiel wird die finanzielle Auswirkung von Abschaltprozessen bei einer Verrechnungsleistung auf Basis eines Maximums berechnet.

Bei dem im Jahr 2007 gültigen Stromliefervertrag mit Jahresleistungspreisberechnung wurde ein Leistungspreis von 80,40 €/kW berechnet. Der Junibezug mit 1.268 kW wurde für die Berechnung der Verrechnungsleistung herangezogen.

Die Tabelle 6.2 zeigt, dass die Reduktion der Verrechnungsleistung die Differenz des erreichten Maximums (1.268 kW) zu dem gewählten zukünftigen Grenzwert ist. Diese Differenz wird mit dem Leistungspreis verrechnet, was bei dem Leistungspreis einer finanziellen Einsparung von z.B.  $268 \text{ kW} \cdot 80,40 \text{ €/kW} = 21.550 \text{ €}$  netto entspricht. (Unter Berücksichtigung des 7 %-Rabattes gemäß Tabelle 4.1. reduziert sich die Ersparnis auf ca. 20.000 € netto)

Der folgende Abschnitt beschreibt das prinzipielle Vorgehen bzgl. der Ermittlung des aggregatspezifischen Reduktionspotenzials, welches bei Abschaltung der in Betracht zu ziehenden Aggregate wirksam wird.

**6.3.5 Ermittlung des aggregatspezifischen Reduktionspotenzials**

Die Aggregate, die aus betrieblicher und verfahrenstechnischer Sicht in das Lastmanagement einbezogen werden könnten, sind vom Betriebspersonal festzulegen. Die

Verbraucherliste ist für die Ermittlung des aggregatspezifischen Reduktionspotenzials um folgende Angaben zu erweitern:

- Abschaltstufe, Priorität
- prozessabhängige Variable
- Abschaltzeit, min. Laufzeit
- Gleichzeitigkeitsfaktor
- erreichbare Leistungsreduktion

Anhand dieser Werte wird ermittelt, welche Reduktion durch eine Abschaltung eines Aggregates innerhalb des 15-minütigen EVU-Messintervalls erreicht wird.

Für die Einhaltung der oben aufgeführten Grenzwerte müssten insgesamt Reduktionspotenziale in Höhe von 268 kW (bei der Grenzwertwahl von 1000 kW), 218 kW (bei 1050 kW Grenzwert), 168 kW (bei 1.100 kW Grenzwert) oder 118 kW abgeschaltet werden. Dabei wird immer der Bezug zu den maximal bezogenen 1.268 kW des Betrachtungszeitraumes hergestellt.

In einer weitergehenden Betrachtung wären die Tage mit sehr hohen Leistungsbezügen zu untersuchen, und es wäre zu prüfen, ob Aggregate zeitweise hätten abgeschaltet werden können.

### **6.3.6 Notstromdiesel**

Da nicht nur die Abschaltung von Aggregaten den Leistungsbezug reduziert, sondern auch die Zuschaltung eines Generators diesen Effekt bewirkt, soll der Einsatz des vorhandenen Netzersatzaggregates betrachtet werden.

Die Funktionsüberprüfung der Notstromaggregate findet beim Erftverband unter Berücksichtigung des §3 Absatz 1 der AVBEltV (Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Elektrizitätsversorgung von Tarifkunden) statt. Demnach dürfen Notstromaggregate außerhalb ihrer eigentlichen Bestimmung nicht mehr als 15 Stunden monatlich zur Erprobung betrieben werden. Für länger andauernden Netzparallelbetrieb sind Vereinbarungen zwischen dem Erftverband und dem Energieversorger zu treffen, soweit dieses nicht schon erfolgt ist.

Auf dem Klärwerk befindet sich ein 1.015 kVA Notstromdieselaggregat, das vom Betriebspersonal zu Testzwecken 3- bis 4-mal pro Jahr eingeschaltet wird. Dabei werden die Transformatoren außer Betrieb genommen und die Leistung wird vom Netzersatzaggregat übernommen. Der vorhandene Kraftstofftank fasst 3.000 l. Wir gehen bei Volllast von einem Verbrauch von ca. 250 l/h aus, was einer Betriebsdauer bei Volllast von ca. 12 h je Tankfüllung entspricht.

Um eine Aussage über die Rentabilität eines Einsatzes der Netzersatzanlage im Lastmanagementsystem zu treffen, muss eine Gegenüberstellung der Ersparnis bei den Strombezugskosten gegen die Kosten für den verwendeten Kraftstoff und die Wartung vorge-

nommen werden. Die Kostenersparnis beim Strombezug wird durch die Absenkung des maximalen Leistungsbezugs und den reduzierten Energiebezug erreicht.

Der Energiebezug, gemessen in kWh, wird um den Wert der eigenerzeugten Energie gesenkt und reduziert damit den verbrauchsabhängigen Anteil um den Wert der eigenerzeugten Energie. Der Leistungsbezug, gemessen in kW, wird während der Laufzeit des Dieselaggregates um den Wert der Wirkleistungserzeugung reduziert.

In der jetzigen Ausrüstung ist die Netzersatzanlage für einen Netzparallelbetrieb nicht geeignet, was dazu führt, dass die Anlage nur im reinen Inselbetrieb betrieben werden kann. Nach der Durchführung des Testbetriebes sind einzelne Automatisierungsstationen vom Betriebspersonal zu quittieren, da diese nicht störungsfrei wieder anlaufen. Um für die Begrenzung des maximalen Leistungsbezugs eingesetzt werden zu können, ist die Netzersatzanlage elektrotechnisch zu ertüchtigen. Das bedeutet, die Anlage muss auf den Netzparallelbetrieb umgerüstet werden. Dazu gehört die Fähigkeit der Synchronisierung, bei der sich das Netzersatzaggregat auf das vorhandene Netz synchronisiert und störungsfrei zugeschaltet wird. Um eine automatische Steuerung mit Analogwertverarbeitung (zwecks variabel einstellbarer Leistungsanforderung) realisieren zu können, ist die Automatisierung des Netzersatzaggregates zu prüfen und ggfs. anzupassen. Die Realisierung einer bedarfsangepassten Leistungsabgabe bedeutet für den Einsatz im Lastmanagement, dass nur soviel Leistung geliefert wird, wie zur Grenzwerteinhaltung benötigt wird. Damit wird eine unnötig hohe Leistungserzeugung mit entsprechend hohen Kosten für Kraftstoff vermieden.

Für die Einhaltung eines Grenzwertes von 1.000 kW sind gemäß Tabelle 6.2 Abschaltungen in 173 15-Minuten-Mittelwerten nötig. Dies entspricht einer Gesamtzeit von 86,25 h. Die hierfür notwendige elektrische Energie beläuft sich auf ca. 3.650 kWh, was einer durchschnittlichen Überschreitung des Grenzwertes von ca. 43 kW entspricht. Dieser Wert wurde aus der Höhe der Überschreitungen des Grenzwertes und der jeweiligen Überschreitungsdauer anhand der zur Verfügung gestellten 15-Minuten-Mittelwerte ermittelt.

Den spezifischen Kraftstoffbedarf des Netzersatzaggregates setzen wir für den Teillastbereich mit ca. 300 ml/(kW·h) an, sodass ca. 1.100 l Heizöl für die Begrenzung des Spitzenlastbezuges, auf Basis der Daten des Betrachtungszeitraumes 2007, benötigt werden. Die spezifischen Kosten für den erhöhten Wartungsaufwand sowie zusätzlichen Verschleiß werden mit ca. 50 € je Betriebsstunde veranschlagt. Die Kosten für einen Liter Heizöl setzen wir mit 0,50 €/l an.

Auf Basis dieser Daten ergeben sich Kosten für die Nutzung des Netzersatzaggregates in Höhe von ca. 5.000 €/a für Treibstoff und Wartung. Demgegenüber steht eine Reduktion des Leistungspreises von ca. 20.000 €/a sowie eine Reduktion des Arbeitspreises von ca. 300 €/a (basierend auf insgesamt ca. 8,5 ct/kWh · 3.650 kWh gemäß Tabelle 6.1).

### **6.3.7 Fazit Lastmanagement**

Da das vorhandene Netzersatzaggregat, gemäß betrieblicher Aussage, nicht netzparallel betrieben werden kann, ist eine Nutzung zur Reduktion der Lastspitzen nicht möglich.

Die notwendige elektrotechnische Anpassung der Anlage ist seitens des Verbandes zu prüfen.

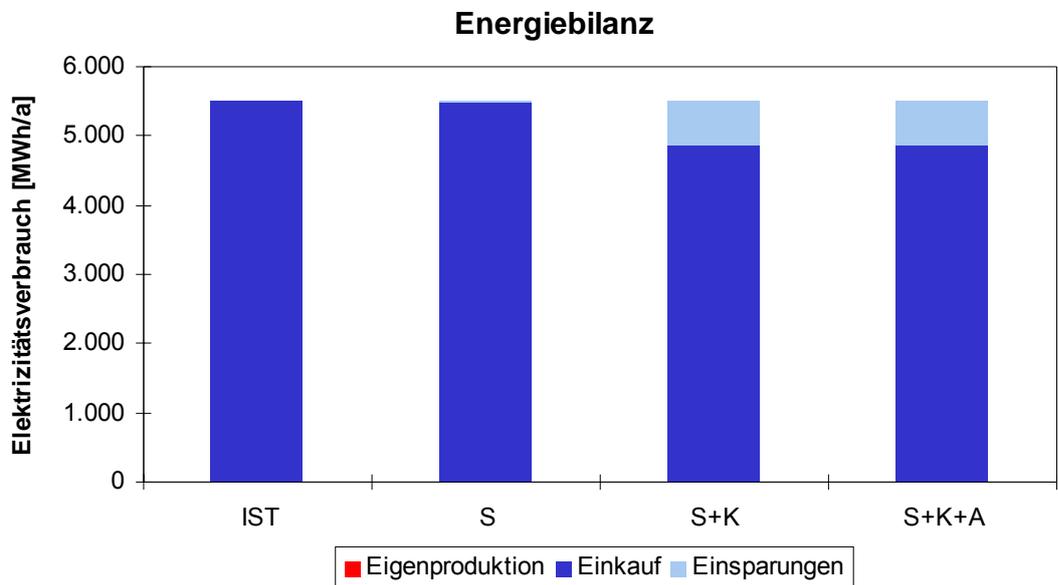
## 7 RESULTATE IM ÜBERBLICK

### 7.1 Energiebilanz

Der Stromverbrauch der betrachteten Anlagenteile des GWK Nordkanal kann durch das gesamte Maßnahmenpaket um etwa 647.100 kWh/a bzw. 12,9 % gesenkt werden. Der Bezug von Heizöl zur Wärmeversorgung bleibt gleich.

**Tabelle 7.1: Energiebilanz GWK Nordkanal nach MUNLV**

Energiebilanz			IST-Zustand	nach Realisierung der Maßnahmenpakete		
				S	S+K	S+K+A
Elektrizität	-Verbrauch gesamt	[kWh/a]	5.506.319	5.464.879	4.873.213	4.859.240
	-Eigenprod. genutzt	[kWh/a]	0	0	0	0
	-Einkauf	[kWh/a]	5.506.319	5.464.879	4.873.213	4.859.240
Wärme	-Verbrauch gesamt	[kWh/a]	59.959	59.959	59.959	59.959
	-Eigenprod. genutzt	[kWh/a]	0	0	0	0
	-Einkauf	[kWh/a]	59.959	59.959	59.959	59.959



**Abbildung 7.1: Grafische Darstellung der Energiebilanz nach MUNLV**

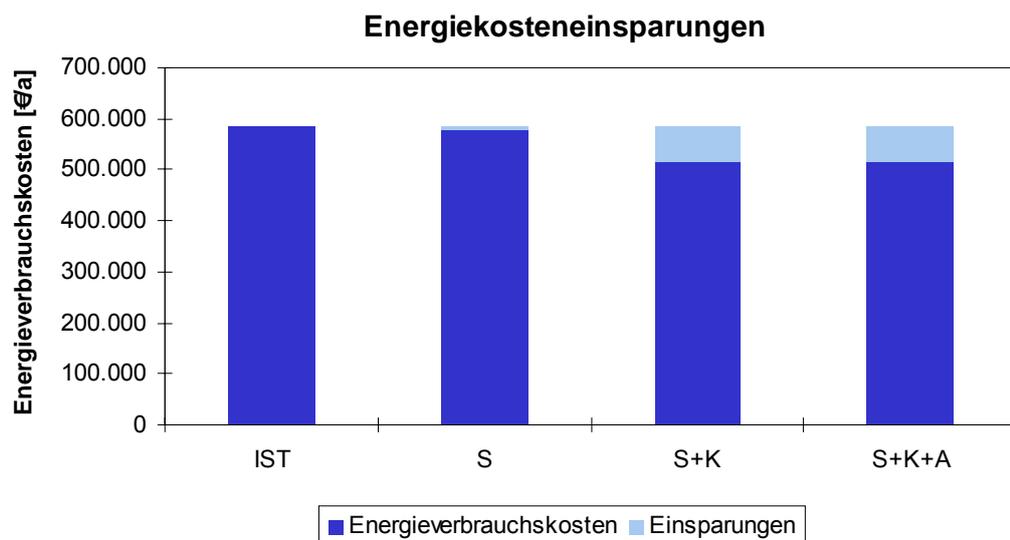
### 7.2 Energiebezugskosten

Die Kosteneinsparung durch die Reduktion des Fremdbezugs an Energie wurde auf Basis der Energiepreise für Einkauf und Verkauf im Betrachtungszeitraum 2007 errechnet.

Sollten alle hier geschilderten Maßnahmen umgesetzt werden, könnten Energieverbrauchskosten in Höhe von gut 68.000 €/a oder 11 % eingespart werden. Der Hauptteil der Kostenreduktion für den Bezug von elektrischer Energie resultiert dabei aus der möglichen Optimierung der Crossflow-Belüftung (Maßnahme K1). Dadurch entsteht ein Jahresnutzen von 38.128 €.

**Tabelle 7.2: Energieverbrauchskosten nach MUNLV**

Energieverbrauchskosten		IST-Zustand	nach Realisierung der Maßnahmenpakete		
			S	S+K	S+K+A
Energieverbrauchskosten gesamt	€/a	582.958	578.595	516.304	514.833
in % IST	%	100%	99%	89%	88%
Einkauf Elektrizität	€/a	579.709	575.346	513.055	511.584
Einkauf Brennstoff	€/a	3.249	3.249	3.249	3.249



**Abbildung 7.2: Grafische Darstellung Energiekosteneinsparungen nach MUNLV**

### 7.3 Wirtschaftlichkeit

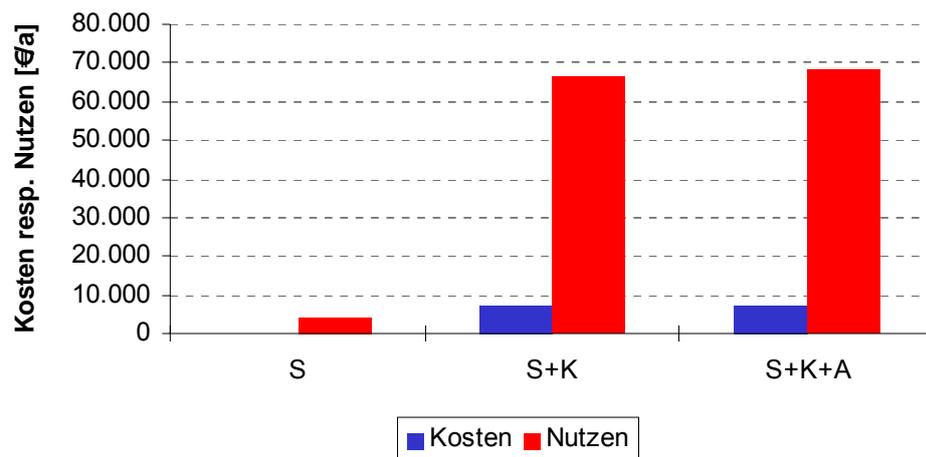
Um die dargestellten Einsparungen realisieren zu können, sind eine Reihe von Investitionen zu tätigen. Dabei muss sich insgesamt ein günstiges Kosten-Nutzenverhältnis, das heißt ein Verhältnis  $K/N < 1$ , ergeben. Nach Umsetzung des kompletten Maßnahmenpakets stehen einem Nutzen von 68.125 €/a Kosten von 7.112 €/a gegenüber. Daraus ergibt sich ein Kosten-Nutzenverhältnis von 0,10. Das Gesamtmaßnahmenpaket ist also als sehr wirtschaftlich einzustufen. Insgesamt erfordern die vorgeschlagenen Maßnah-

men ein Investitionsvolumen von 58.500 €, die komplett auf die Energieoptimierung entfallen.

**Tabelle 7.3: Wirtschaftlichkeit nach MUNLV**

Investitionen und Wirtschaftlichkeit	IST-Zustand	nach Realisierung der Maßnahmenpakete		
		S	S+K	S+K+A
Gesamt - Investitionen [€]		0	57.000	58.500
Energie - Investitionen [€]		0	57.000	58.500
Jahreskosten [€/a]		0	6.991	7.112
Jahresnutzen [€/a]		4.363	66.654	68.125
K / N [-]		0,00	0,10	0,10

**Wirtschaftlichkeit**



**Abbildung 7.3: Grafische Darstellung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmenpakete nach MUNLV**

**8 ZUSAMMENFASSUNG**

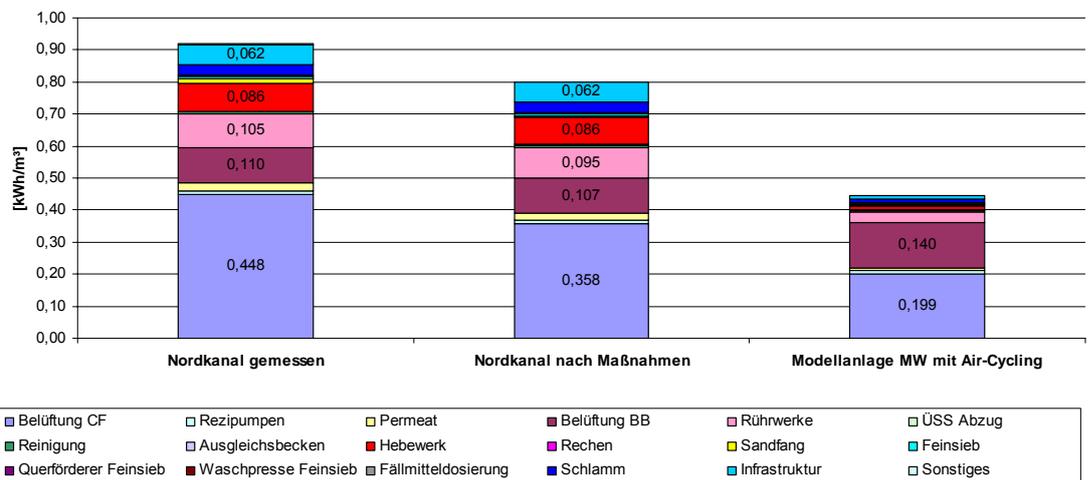
Insgesamt könnten auf dem GWK Nordkanal, sollten alle vorgeschlagenen Maßnahmen umgesetzt werden können, mindestens 647.000 kWh/a bzw. 68.000 € eingespart werden. Bei einem gemessenen Gesamtverbrauch von 5.066.925 kWh (s. Verbraucherliste Anhang 2 und Abschnitt 2.3), bedeutet dies eine Reduktion um 12,7 %. Bezogen auf eine Jahresabwassermenge von 5.519.586 m³/a reduziert sich der spezifische Energieverbrauch von 0,918 kWh/m³ auf 0,800 kWh/m³. Die größte absolute Einsparung kann mit einer Reduktion von 0,09 kWh/m³ im Bereich der Crossflow-Gebläse erreicht werden, die größte prozentuale Einsparung mit einer Reduktion um 81 % kann im Bereich des Sandfanges erzielt werden, sofern alle vorgeschlagenen Maßnahmen für den Sand-

fang umgesetzt werden. Die nachfolgende Tabelle und das Diagramm zeigen in welchem Bereich welche Energieeinsparung konkret erzielt werden kann (Tabelle 8.1 und Abbildung 8.1).

**Tabelle 8.1: Gegenüberstellung des spezifischen Energieverbrauchs der einzelnen Verfahrensbereiche für den Ist-Zustand des GWK Nordkanal und nach Umsetzung aller Maßnahmen**

Verbraucher	Nordkanal gemessen	Nordkanal nach Maßnahmen	Modellanlage MW mit Air-Cycling	
Belüftung CF	0,448	0,358	0,199	[kWh/m³]
Rezipumpen	0,011	0,011	0,013	[kWh/m³]
Permeat	0,025	0,022	0,007	[kWh/m³]
Belüftung BB	0,110	0,107	0,140	[kWh/m³]
Rührwerke	0,105	0,095	0,034	[kWh/m³]
ÜSS Abzug	0,002	0,002	0,005	[kWh/m³]
Reinigung	0,007	0,007	0,001	[kWh/m³]
Ausgleichsbecken	0,001	0,001	0,000	[kWh/m³]
Hebewerk	0,086	0,086	0,014	[kWh/m³]
Rechen	0,001	0,001	0,002	[kWh/m³]
Sandfang	0,016	0,003	0,006	[kWh/m³]
Feinsieb	0,005	0,005	0,003	[kWh/m³]
Querförderer Feinsieb	0,001	0,001	0,000	[kWh/m³]
Waschpresse Feinsieb	0,002	0,002	0,000	[kWh/m³]
Fällmitteldosierung	0,001	0,001	0,000	[kWh/m³]
Schlamm	0,034	0,034	0,010	[kWh/m³]
Infrastruktur	0,062	0,062	0,012	[kWh/m³]
Sonstiges	0,001	0,001	0,000	[kWh/m³]
<b>Summe:</b>	<b>0,918</b>	<b>0,800</b>	<b>0,446</b>	<b>[kWh/m³]</b>

**Vergleich Energieverbrauch GWK Nordkanal Ist-Zustand und nach Umsetzung aller Maßnahmen**



**Abbildung 8.1: Grafische Darstellung der Auswirkungen aller Maßnahmen auf die einzelnen Verfahrensbereiche**

Dennoch können 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. Bereinigt man das Ergebnis um

die dafür zusätzlich benötigten  $0,08 \text{ kWh/m}^3$  ergibt sich ein spezifischer Energiebedarf von  $0,72 \text{ kWh/m}^3$  und liegt bereits deutlich näher an dem theoretischen Idealwert von  $0,45 \text{ kWh/m}^3$ . Betrachtet man zum Vergleich den theoretischen Idealwert des Handbuchs einer konventionellen Modellanlage mit Filtration für ca. 100.000 EW beträgt dieser ca.  $0,28 \text{ kWh/m}^3$ . Die Membranbelebungsanlage liegt somit in der theoretischen Modellbetrachtung noch ca. 60% höher im Energiebedarf. Hier ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch der Ablauf einer Filteranlage üblicherweise noch nicht hygienisiert ist und die Verfahrenstechniken damit nicht direkt vergleichbar sind.

Für die verbleibende Differenz zwischen optimiertem Zustand und Idealwert sind mehrere Gründe zu nennen. Auffallend ist, dass insbesondere im Bereich der Crossflow-Gebläse trotz Optimierung eine Differenz von  $0,16 \text{ kWh/m}^3$  verbleibt. Diese ist darauf zurückzuführen, dass mit den vorhandenen Gebläsen mehr Luft eingetragen wird, als es vom Hersteller für diese Module empfohlen wird. Theoretisch könnte daher auch hier eine Energiesparmaßnahme (Ausrüstung Gebläse mit FU, Drosselung über Riemenscheibenaustausch oder Gebläseaustausch) vorgeschlagen werden. Dies wird aber seitens des Betriebes kritisch beurteilt, da selbst mit den jetzt genutzten Luftmengen teils erheblicher Reinigungsbedarf an den Modulen besteht. Es wurde daher zunächst keine entsprechende Maßnahme vorgeschlagen. Hier sollte in weiteren Vorhaben überprüft werden, inwieweit die Herstellerangaben zum Luftbedarf wirklich realistisch sind.

Ein weiterer Punkt, in dem die Modellanlage deutlich von der Realität abweicht, ist der Energiebedarf für die Umwälzung (Differenz ca.  $0,06 \text{ kWh/m}^3$ ). An dieser Stelle sollten theoretisch deutlich geringere Energieeintragsraten als vorhanden ausreichen. Die tatsächlich in den Membranbecken eingesetzten Rührwerke wurden jedoch seinerzeit über eine hydrodynamische Strömungssimulation mit der tatsächlichen Beckengeometrie ausgelegt. Daher wurde auch hier auf eine weitere Maßnahme verzichtet. Betrachtet man allein diese Punkte scheint eine weitere Reduktion des spezifischen Gesamtenergiebedarfs auf bis zu  $0,50 \text{ kWh/m}^3$  in der Realität möglich, zumal bislang kein Air-Cycling im 10s/30s-Rhythmus berücksichtigt wurde.

Im Bereich der Modellanlage werden bei der Betrachtung gemäß Handbuch aber auch gezielt einzelne Anlagenteile vernachlässigt (bspw. Rührwerke in Trübwasserspeicherbecken etc.). Auch scheint die allgemeine Infrastruktur nicht ausreichend gewürdigt. Es sei darauf hingewiesen, dass auch bei konventionellen Anlagen die Idealwerte üblicherweise nicht erreicht werden können. Sollte daher ein Richtwert für Membranbelebungsanlagen definiert werden, kann dies dadurch erfolgen, dass man die theoretischen Idealwerte mit einem Aufschlag von ca. einem Drittel versieht. So kann dafür ein Wertebereich zwischen  $0,60$  und  $0,80 \text{ kWh/m}^3$  angesetzt werden. Der obere Wert entspricht dabei einer Anlage ohne Air-Cycling. Der untere kann für eine mit Air-Cycling-Betrieb herangezogen werden.

Bezogen auf den aktuellen Einwohnerwert, zeigt sich, dass der spezifische Gesamtverbrauch um  $10 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$  auf  $74 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$  gesenkt werden könnte. Berücksichtigt man hier wieder den Anteil des Pumpwerks von  $7 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$  ergibt sich ein bereinigter optimierter Wert von  $67 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$ . Dieser Wert liegt ca. 70% über dem Richtwert einer konventionellen Anlage mit Filtration.

Auch der bereits sehr gute spezifische Elektrizitätsverbrauch der Belebungsanlage kann nach unserer Analyse noch einmal um  $1 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$  auf  $18 \text{ kWh}/(\text{EW}\cdot\text{a})$  reduziert werden.

Damit erreicht die Belebung sogar den Idealwert. Alle erläuterten Werte zum Vergleich mit dem Ist-Zustand können noch einmal der nachfolgenden Tabelle entnommen werden:

**Tabelle 8.2: Überblick Energienachweis**

Energienachweis	IST-Zustand	nach Realisierung der Maßnahmenpakete			Richtwert	Idealwert
		S	S+K	S+K+A		
gesamter spez. Elektrizitätsverbrauch	84 kWh/EW a	83 kWh/EW a	74 kWh/EW a	74 kWh/EW a	39 kWh/EW a	25 kWh/EW a
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung	19 kWh/EW a	19 kWh/EW a	18 kWh/EW a	18 kWh/EW a	23 kWh/EW a	18 kWh/EW a
Grad der gesamten Faulgasnutzung	0 %	0 %	0 %	0 %	98 %	99 %
Grad der Faulgasumwandlung in Kraft/Elektrizität	0 %	0 %	0 %	0 %	30 %	31 %
spez. Faulgasproduktion pro kg oTR eingetragen	0 l/kg oTR	0 l/kg oTR	0 l/kg oTR	0 l/kg oTR	450 l/kg oTR	475 l/kg oTR
Eigenversorgungsgrad						
Wärme	0 %	0 %	0 %	0 %	97 %	98 %
Elektrizität	0 %	0 %	0 %	0 %	50 %	68 %

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Modellanlage kann daher festgehalten werden, dass die Energieverbrauchswerte einer modernen Membranbelebungsanlage ca. 60 – 70 % über denen einer konventionellen Anlage mit Filtration liegen. Dieser Wert kann aber wahrscheinlich durch weitere Forschungsarbeiten und voranschreitende Modulentwicklung noch weiter reduziert werden. So sollte beispielsweise getestet werden, inwieweit die Crossflow-Belüftung reduziert werden kann, wenn mit niedrigeren Flüssigkeiten filtriert wird, um dann Aussagen über mögliche Einsparpotenziale treffen zu können (siehe auch Verrecht et al., 2008). Hinzu kommt, dass eine MBR-Anlage in Bezug auf Mess-, Steuer- und Regelungstechnik deutlich komplexer ist, als herkömmliche Kläranlagen. Die hier vorgeschlagenen Maßnahmen insbesondere im Bereich der Crossflow-Belüftung und des Rückspülregimes können nur theoretische Einsparpotenziale angegeben werden, da dazu z.B. genaue Kenntnis der miteinander verknüpften Regelungsparameter sowie Schaltvorgänge und -dauern (Anlaufzeiten Pumpen, Schieber etc.) unerlässlich sind.

Dennoch sollte nicht nur auf die weitere Reduktion des Energiebedarfs Wert gelegt werden. Gerade bei Membranbelebungsanlage in der Größenordnung von Nordkanal sollte auch über eine Verbesserung des Eigenversorgungsgrades nachgedacht werden. Durch Kombination des Membranbelebungsverfahrens mit einer Vorklärung und einer anaeroben Schlammstabilisierung mit Gasverwertung sind kurzfristig vermutlich größere Reduktionen des Fremdenergiebezuges möglich als über weitere Einsparungen auf Verbrauchsseite. Hier ist jedoch zunächst weiterer Forschungsbedarf gegeben, da bisher viele Punkte in diesem Themenkomplex noch nicht geklärt sind (Auswirkung der Vorklärung auf Membranperformance, Auswirkung eines möglichen Verzichts auf aerobe Stabilisierung auf die Membranperformance, Verhalten des Sekundärschlammes aus einem MBR in der anaeroben Stabilisierung etc.).

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.

## 9 VERZEICHNIS DER KURZZEICHEN UND ABKÜRZUNGEN

<b>Zeichen</b>	<b>Einheit</b>	<b>Beschreibung</b>
$\Delta p$	[m]	Einblastiefe
$\Delta p_s$	[bar], [m]	Saugdruck
$\Delta p_{sp}$	[bar], [m]	Spüldruck
$\Delta P_{TM}$	[bar], [m]	Transmembrandruck
$\alpha$	[-]	Grenzflächenfaktor nach Verrecht
$\alpha_{BB}$	[-]	Grenzflächenfaktor Belebung
$\alpha_{OC}$	[kgO <sub>2</sub> /d]	Sauerstoffzufuhr
$\rho_{Luft}$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Luftdichte
$\eta_G$	[%]	Wirkungsgrad
$A_M$	[m <sup>2</sup> ]	Membranfläche
$A_{Mod}$	[m <sup>2</sup> ]	Membranfläche pro Modul
AC	[-]	Air-Cycling
BNV	[-]	Brutto-Netto-Verhältnis
BB	[-]	Belebung
CF	[-]	Cross-Flow
$E_a$	[kWh/a]	Energieverbrauch Cross-Flow
$E_{spez}$	[kWh/m <sup>3</sup> ]	Spezifischer Energieverbrauch Cross-Flow
FS	[-]	Feinsiebung
$g$	[m/s <sup>2</sup> ]	Erdbeschleunigung
H	[-]	Hebewerke
h	[m]	Förderhöhe
Inf	[-]	Infrastruktur
MW	[-]	Mischwasser

<b>Zeichen</b>	<b>Einheit</b>	<b>Beschreibung</b>
MBR	[-]	Membran
$m_o$	[g/(m <sup>3</sup> ·m)]	Sauerstofftrag nach Verrecht
mV	[-]	Mechanische Vorreinigung
OC	[kgO <sub>2</sub> /d]	Sauerstoffmenge
OP	[kg/kWh]	Sauerstofftrag
P	[kW]	Leistung
PP	[-]	Permeatpumpen
QF	[-]	Querförderer
$Q_M$	[l/s]	Maximaler Mischwasserabfluss
$Q_f$	[l/s]	Fremdwasserabfluss
$Q_s$	[l/s]	Schmutzwasserabfluss
$Q_L$	[m <sup>3</sup> /h]	Luftmenge
$Q_{L, \text{spez}}$	[m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ]	Spezifischer Luftbedarf
$Q_{T,d,AM}$	[m <sup>3</sup> /d]	Trockenwetterabfluss
$Q_{L,d}$	[m <sup>3</sup> /d]	Eingetragene Luftmenge eines Tages
$Q_a$	[m <sup>3</sup> /a]	Jahreswassermenge bei Trockenwetter
$Q_{RZ}$	[m <sup>3</sup> /s]	Rezirkulationsmenge
$Q_{BNV}$	[m <sup>3</sup> /a]	Wassermenge abh. vom Brutto-Netto-Verhältnis
$Q_{RSV}$	[m <sup>3</sup> /a]	Reduzierte Wassermenge der Rückspülzyklen
$Q_S$	[m <sup>3</sup> /d]	Schlammvolumenstrom
R	[-]	Rechen
Rein	[-]	Reinigung
RW	[-]	Rührwerke
RZ	[-]	Rezirkulationsverhältnis
RSV	[-]	Rückspülverhältnis

<b>Zeichen</b>	<b>Einheit</b>	<b>Beschreibung</b>
SF	[-]	Sandfang
SAD <sub>M</sub>	[m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> ].	Spezifischer Luftbedarf nach Verrecht
Sch	[-]	Schlammbehandlung
SG	[m <sup>3</sup> /d]	Siebgutmenge
Str	[-]	Straße
T	[°C]	Temperatur
t <sub>G,CF</sub>	[h/d]	Laufzeit der Cross-Flow Gebläse
t <sub>F</sub>	[min]	Filtrationsdauer
t <sub>RS</sub>	[min]	Rückspüldauer
TR	[g/l]	Trockenrückstand
ÜSS	[-]	Überschussschlamm
Ü <sub>S</sub>	[kg/d]	Schlammmenge
V <sub>BB</sub>	[m <sup>3</sup> ]	Volumen Belebung
V <sub>F</sub>	[l/m <sup>2</sup> ]	Durchflussmenge Filtrationsphase
V <sub>N</sub>	[m <sup>3</sup> ]	Volumen Nitrizone
V <sub>,netto</sub>	[l/m <sup>2</sup> ]	Netto Wassermenge
V <sub>DN</sub>	[m <sup>3</sup> ]	Volumen Denizone
V <sub>Vario</sub>	[m <sup>3</sup> ]	Volumen Variozone
V <sub>RS</sub>	[l/m <sup>2</sup> ]	Rückspülwassermenge
v <sub>F,netto</sub>	[l/(m <sup>2</sup> ·h)]	Netto-Fluss
v <sub>F,brutto</sub>	[l/(m <sup>2</sup> min)]	Brutto-Fluss
v <sub>F,RS</sub>	[l/(m <sup>2</sup> min)]	Rückspülfluss
v <sub>F,BNV</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	Fluss abh. vom Brutto-Netto-Verhältnis
v <sub>F,RSV</sub>	[m/s <sup>2</sup> ]	Fluss der Rückspülzyklen
WP	[-]	Waschpresse

**10 LITERATURVERZEICHNIS**

Abeling, U., Härtel, L., Hartwig, P., Nowak, O., Otterpohl, R., Schwentner, G., Svardal, K., Wolffson, C.: Bemessung von Kläranlagen zur Stickstoffelimination. Korrespondenz Abwasser, 38. Jg.; 1991, S. 222 - 227

ATV (Hrsg.): ATV-Handbuch: Biologische und weitergehende Abwasserreinigung. 4. Auflage, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 1997

ATV-DVWK (Hrsg.): Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 131: Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen. ATV-DVWK-Regelwerk, Hennef, Mai 2000

ATV (Hrsg.); ATV-Handbuch „Mechanische Abwasserreinigung“, 4. Auflage, Ernst und Sohn Verlag Berlin, 1997

ATV-DVWK (Hrsg.): Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 198: Vereinheitlichung und Herleitung von Bemessungswerten für Abwasseranlagen. ATV-DVWK-Regelwerk, Hennef, April 2003

Böhnke: Bemessung der Stickstoffelimination in der Abwasserreinigung (HSG-Ansatz). Korrespondenz Abwasser, 36. Jg.; Heft 9/1989, S. 1.046-1.061

De Wever, H., Brannock, M., Leslie, G., Brepols, C.: Inside or outside submerged MBR: which one is better?, 2008

Dohmann et al.: Bemessung der Belebungsbecken nach dem Ansatz der Hochschulgruppe (HSG-Ansatz). Korrespondenz Abwasser, 40. Jg.; Heft 8/1993, S. 1240

DWA-Fachausschuss KA-5 „Absatzverfahren“; Sandfänge – Anforderungen, Systeme und Bemessung, Korrespondenz Abwasser, Heft 5/08, S. 508 -518, 2008

DWA-Fachausschuss KA-7.: 2. DWA Arbeitsbericht „Membranbelebungsverfahren“, 2005

Holzenthal: Gleitdruckregelung von Klärwerksverdichtern, Korrespondenz Abwasser, Heft 9/03, S. 1157-1161, 2003

Imhoff, Karl und Klaus R.: „Taschenbuch der Stadtentwässerung“, 29. Auflage, R. Oldenburg Verlag München Wien, 1999

Internetveröffentlichung: [http://www.dgmt.org/kassel\\_dez06/frommann.pdf](http://www.dgmt.org/kassel_dez06/frommann.pdf) , Huber, 2006

Keutgen, Zenon, persönliche Mail vom 27.11.2008

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

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

Zenon: GE Water Process Technologies; Fact Sheet ZeeWeed 500C Cassette; September, 2007

## 11 TABELLEN- UND BILDVERZEICHNIS

### 11.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Allgemeine Kenndaten des GWK Nordkanal	11
Tabelle 2.2: Überwachungs- und Ablaufwerte des GWK Nordkanal	11
Tabelle 2.3: Ermittlung der Einwohnerwerte über CSB, Nges, NH <sub>4</sub> und P	12
Tabelle 2.4: Ermittlung der Einwohnerwerte über CSB, Nges, NH <sub>4</sub> und P (bereinigt)	14
Tabelle 2.5: Ermittlung der Einwohnerwerte unter Berücksichtigung der Rückbelastung aus Zentrat	15
Tabelle 2.6: Ermittlung der Einwohnerwerte anhand von Laborproben	16
Tabelle 2.7: Stützpunkttabellen beispielhaft für die Rezirkulationspumpen 1 und 2 der Belebungsstufe Straße 1 und die Zulaufpumpen 2-5 am alten Standort	27
Tabelle 2.8: Vergleich der ermittelten Verbrauchswerte mit den Unterzählungen	31
Tabelle 3.1: Wassermengen für die Bemessung der Modellanlage	43
Tabelle 3.2: Bemessungskonzentrationen und zugehörige Frachten	44
Tabelle 3.3: Ergebnisse der Bemessung des erforderlichen Belegungsvolumens nach HSG	45
Tabelle 3.4: Dimensionierung der Membranfiltration	46
Tabelle 3.5: Energieverbrauch der einzelnen Verfahrensstufen für das GWK Nordkanal und verschiedene Modellanlagen	67
Tabelle 4.1: Gegenüberstellung Gesamtenergieverbrauch GWK Nordkanal und verschiedene Modellanlagen	71
Tabelle 4.2: Schlammengen im Zulauf der einzelnen Behandlungsstufen	73
Tabelle 4.3: Verfahrensstufen mit erhöhtem Energiebedarf nach MUNLV	73
Tabelle 5.1: Laufzeiten und Energieverbrauch der CF-Gebläse und Permeatpumpen	79
Tabelle 5.2: Auswertung des Öffnungsgrades der Blendenregulierschieber	92
Tabelle 5.3: Darstellung der Einsparungen und Mehrkosten durch Antrieb der EFF 1	98
Tabelle 5.4: Maßnahmentabelle nach MUNLV	104
Tabelle 6.1: Darstellung der Strombezugspreiskomponenten	107

Tabelle 6.2: Auswirkungen der Grenzwertfestlegung auf die Anzahl notwendiger Abschaltprozesse und Reduktion der Verrechnungsleistung	110
Tabelle 7.1: Energiebilanz GW Nordkanal nach MUNLV	114
Tabelle 7.2: Energieverbrauchskosten nach MUNLV	115
Tabelle 7.3: Wirtschaftlichkeit nach MUNLV	116

## 11.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Jahresgang der täglichen Abwassermenge im Zulauf des GW Nordkanal	10
Abbildung 2.2: Verteilung der Zulauffrachten P im Jahr 2007	13
Abbildung 2.3: Allgemeine Klärwerksdaten	22
Abbildung 2.4: Anlagendaten	23
Abbildung 2.5: Beispielhafte Darstellung der Verbraucherliste	24
Abbildung 2.6: Leistungsaufnahme Rezirkulationspumpen (1.1.2007)	27
Abbildung 2.7: Leistungsaufnahme der Zulaufpumpen 2-5 am alten Standort (1.1.2007)	28
Abbildung 2.8: Leistungsaufnahme des Pumpwerkes Korschenbroich (1.1.2007)	28
Abbildung 2.9: Leistungsaufnahme der Permeatabzugspumpen der Straßen 1 und 2 (1.1.2007)	29
Abbildung 2.10: Verteilungskurve des Regelbereiches der Permeatabzugspumpen	29
Abbildung 2.11: Energieverteilungsanzeige im Prozessleitsystem	30
Abbildung 2.12: Monatlicher Strombezug des GW Nordkanal	32
Abbildung 2.13: Energieverbrauch des GW Nordkanal im Jahr 2007	33
Abbildung 2.14: Energieverbrauchskosten des GW Nordkanal im Jahr 2007	33
Abbildung 2.15: Prozentuale Verteilung des Stromverbrauchs im Ist-Zustand	34
Abbildung 2.16: Verteilung des Strombedarfs der mechanischen Stufe inkl. Hebewerke	35
Abbildung 2.17: Verteilung des Strombedarfs der Hebewerke	35
Abbildung 2.18: Verteilung des Strombedarfs der biologischen Stufe	36
Abbildung 2.19: Verteilung des Strombedarfs der Belüftung	37
Abbildung 2.20: Verteilung des Strombedarfs der Membranstufe	37
Abbildung 2.21: Verteilung des Strombedarfs der Schlammwässerung	38
Abbildung 2.22: Verteilung des Strombedarfs der Aggregate der Infrastruktur	39
Abbildung 2.23: Verteilung des Strombedarfs zur Abluftbehandlung / Lüftung	39
Abbildung 2.24: Verteilung des Strombedarfs im Bereich Betriebsmittel	40
Abbildung 2.25: Verteilung des Strombedarfs auf die Hauptverbrauchergruppen	41
Abbildung 3.1: Gegenüberstellung Energieverbrauch realer MBR-Anlagen und verschiedener theoretischer Modelle	60

Abbildung 3.2: Gegenüberstellung Energieverbrauch für mechanische Vorreinigung des GWK Nordkanal und für zwei Modellanlagen	64
Abbildung 3.3: Gegenüberstellung Gesamtenergieverbrauch GWK Nordkanal und verschiedene Modellanlagen bei Trockenwetter	66
Abbildung 3.4: Spezifischer Energieverbrauch bezogen auf die Wassermenge	68
Abbildung 3.5 Vergleich Energieverbrauch der Modellanlage bei Trockenwetter- und Mischwasserzufluss.	69
Abbildung 4.1: Gegenüberstellung Gesamtenergieverbrauch GWK Nordkanal und verschiedene Modellanlagen	70
Abbildung 4.2: Spezifischer Energieverbrauch und Vergleichswerte nach MUNLV für das GWK Nordkanal	72
Abbildung 5.1: Auswertung der Zulaufmengen zum GWK Nordkanal	80
Abbildung 5.2: Auswirkung von Rückspülung und Relaxation auf den Nettofluss	83
Abbildung 5.3: Beispielhafter Vergleich des Systemdruck einer Druckkonstant- und Gleitdruckregelung (Quelle: <a href="http://www.klaerwerk.info">www.klaerwerk.info</a> )	89
Abbildung 5.4: Öffnungsgrad der BRS am 01.04.07 ( $Q_d$ : 9.375 m <sup>3</sup> )	90
Abbildung 5.5: Öffnungsgrad der BRS am 26.05.07 ( $Q_d$ : 26.134 m <sup>3</sup> )	90
Abbildung 5.6: Öffnungsgrad der BRS am 27.05.07 ( $Q_d$ : 39.276 m <sup>3</sup> )	91
Abbildung 5.7: Wirkungsgrade von elektrischen Antrieben (Quelle: <a href="http://www.system-energieeffizienz.de">www.system-energieeffizienz.de</a> )	97
Abbildung 5.8: Prinzipskizze Aktivsauerstoffverfahren (Quelle: Neutralox Umwelttechnik GmbH)	102
Abbildung 6.1: Ermittlung des 15-min-Mittelwertes	106
Abbildung 6.2: Darstellung des Leistungsbezuges	108
Abbildung 6.3: Darstellung der maximalen Tagesleistungen	109
Abbildung 6.4: Entwicklung des Leistungsbezugs am Tag des maximalen Leistungsbezugs (21.06.2007)	109
Abbildung 6.5: Leistungsaufnahme der Gebläse am Tag des maximalen Leistungsbezugs (21.06.2007)	110
Abbildung 6.6: Darstellung der Häufigkeitsverteilung des Leistungsbezugs im Betrachtungszeitraum	111
Abbildung 7.1: Grafische Darstellung der Energiebilanz nach MUNLV	114
Abbildung 7.2: Grafische Darstellung Energiekosteneinsparungen nach MUNLV	115
Abbildung 7.3: Grafische Darstellung der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmenpakete nach MUNLV	116

## **ANLAGE 1**

### **Verbrauchermatrix Elektrizität und vorhandene Verfahrensschritte nach MUNLV**

**Verbrauchermatrix Elektrizität**

Pos	Verbraucher / Standort	IST-Zustand														
		Anzahl	Baujahr	Leistung					Betriebsstunden			Elektrizitäts- verbrauch [kWh/a]				
				Nennleist. [kW]	Strom [A]	*	cos phi [-]	*	Leistung eff. [kW]	*	[h/d]		*	[d/a]	*	[h/a]
<b>1.</b>	<b>Regenüberlaufbecken</b>			29,45						28,177						<b>2.828</b>
1.1	Motorarmatur Störfallbecken		2004	0,75	2,5		0,8			0,969948				6		6
1.2	Rührwerk 1 Störfallbecken		2004	5,5	15		0,85			6,183421				110		680
1.3	Rührwerk 2 Störfallbecken		2004	5,5	15		0,85			6,183421				160		989
1.4	Entleerungspumpe 1 Störfallbecken		2004	5,9	12		0,85			4,946737				35		173
1.5	Entleerungspumpe 2 Störfallbecken		2004	5,9	12		0,85			4,946737				38		188
1.6	Entleerungspumpe 3 Störfallbecken		2004	5,9	12		0,85			4,946737				160		791
<b>2.</b>	<b>Hebwerke</b>			329,9						188,2795						<b>475.473</b>
2.1	Zulaufpumpe 1		2004	9	19		0,86			7,924479				1515		12.006
2.2	Zulaufpumpe 2		2004	70	127		0,88			32,90897				2815		92.639
2.3	Zulaufpumpe 3		2004	70	127		0,88			43,11074				2813		121.271
2.4	Zulaufpumpe 4		2004	70	127		0,88			33,23805				2813		93.499
2.5	Zulaufpumpe 5		2004	70	127		0,88			36,52895				2815		102.829
2.6	Motorarmatur Pumpwerk		2004	0,75	2,5		0,8			0,969948						
2.7	Motorarmatur Pumpwerk		2004	0,75	2,5		0,8			0,969948			5		5	
2.8	Motorarmatur Pumpwerk		2004	0,75	2,5		0,8			0,969948			5		5	
2.9	Motorarmatur Pumpwerk		2004	0,75	2,5		0,8			0,969948						
2.10	Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 1		2004	7,5	15		0,86			5,791978				2161		12.516
2.11	Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 2		2004	7,5	15		0,86			5,923614				2160		12.795
2.12	Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 3		2004	7,5	15		0,86			5,791978				2160		12.511
2.13	Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 4		2004	7,5	15		0,86			5,791978				2161		12.516
2.14	Pumpwerk Korschenbroich Motorarm. L1		2004	1	2,5		0,8			0,969948						
2.15	Pumpwerk Korschenbroich Motorarm. L2		2004	1	2,5		0,8			0,969948						
2.16	Schmutzwasserpumpe 1		2004	1,2	3		0,83			1,782627				1000		1.783
2.17	Schmutzwasserpumpe 2		2004	4,7	9,4		0,84			3,666405				300		1.100
<b>3.</b>	<b>Rechen</b>			52,85						48,55794						<b>50.604</b>
3.1	Grobrechen 1 Alter Standort		2004	1,1	3		0,83			1,207586				380		459
3.2	Grobrechen 2 Alter Standort		2004	1,1	3		0,83			1,207586				450		543
3.3	Rechengutförderer Alter Standort		2004	1,5	3,4		0,83			1,368597				150		205
3.4	RG Waschpresse Alter Standort		2004	3,6	7,7		0,84			3,782799				280		1.059
3.5	Feinrechen 1		2004	1,5	3,4		0,83			1,368597				200		274
3.6	Feinrechen 2		2004	1,5	3,4		0,83			1,368597				200		274
3.7	Rechengutförderer Feinrechenanlage		2004	1,5	3,6		0,83			1,449103				200		290
3.8	RG Waschpresse 1		2004	3,6	7,7		0,84			3,20083				850		2.721
3.9	Feinsieb 1		2004	2,2	5,1		0,83			1,725123				3300		5.693
3.10	Feinsieb 2		2004	2,2	5,1		0,83			1,725123				3600		6.210
3.11	Feinsieb 3; Notsieb		2004	2,2	5,1		0,83			2,052896				220		452
3.12	Rechengutförderer Feinsiebanlage		2004	1,5	3,6		0,83			1,207586				5200		6.279
3.13	Rechengutförderer Notsieb		2004	1,1	2,75		0,83			1,106954				250		277
3.14	SG Waschpresse Feinsiebanlage		2004	3	6,4		0,84			1,571316				6000		9.428
3.15	Hochdruckpumpe 1 Feinsieb 1		2007	4	9,1		0,84			3,707143				1000		3.707
3.16	Hochdruckpumpe 2 Feinsieb 1		2007	4	9,1		0,84			3,707143				1000		3.707
3.17	Hochdruckpumpe 1 Feinsieb 2		2007	4	9,1		0,84			3,707143				1000		3.707
3.18	Hochdruckpumpe 2 Feinsieb 2		2007	4	9,1		0,84			3,707143				1000		3.707
3.19	Motorarmatur MID Zulaufschacht		2004	0,75	2,5		0,8			0,969948						
3.20	Motorarmatur MID Zulaufschacht		2004	0,75	2,5		0,8			0,969948						
3.21	Fäkalannahmerechen		2004	1,1	2,8		0,83			1,12708				8		9
3.22	Fäkalpumpe 1		2004	1,2	2,5		0,83			1,006322				15		15
3.23	Fäkalpumpe 2		2004	1,2	2,5		0,83			1,006322				10		10
3.24	Rührwerk Speicher Sauerkrautlake		2004	1,25	3,2		0,83			1,288092				850		1.095
3.25	Dosierpumpe 1 Sauerkrautlake		2004	1,5	3,75		0,83			1,509482				160		242
3.26	Dosierpumpe 2 Sauerkrautlake		2004	1,5	3,75		0,83			1,509482				160		242
<b>4.</b>	<b>Sandfang</b>			57,94						42,37121						<b>85.650</b>

4.1	Räumer Sandfang 2	2004	9	18	0,8	2,050748		1460	2.994
4.2	Sandfangpumpe 1	2004	1,85	4,625	0,83			700	
4.3	Sandfangpumpe 2	2004	1,85	4,625	0,83			700	
4.4	Fettschild 1	2004	0,12	0,48	0,5			30	
4.5	Fettschild 2	2004	0,12	0,48	0,5			30	
4.6	Fahrtrieb	2004	0,37	1,48	0,72			1400	
4.7	Kabeltrommel	2004	0,18	0,72	0,5			1400	
4.8	Heizgebläse Laufbahn	2004	4			4		250	1.000
4.9	Sandwaschklassierer Austragschnecke	2004	1,35	3,375	0,83	1,358534		2	3
4.10	Sandwaschklassierer Rührwerk	2004	1,1	2,75	0,83	0,690049		900	621
4.11	Gebläse Sandfang 1 (Stufe 1)	2004	8	16,8	0,86	7,006908			
4.12	Gebläse Sandfang 1 (Stufe 2)	2004	11	22,5	0,86	10,12903		4000	40.516
4.13	Gebläse Sandfang 2 (Stufe 1)	2004	8	16,8	0,86	7,006908			
4.14	Gebläse Sandfang 2 (Stufe 2)	2004	11	22,5	0,86	10,12903		4000	40.516
<b>5. Vorklärung</b>									
<b>6. Biolog. Stufe / Belebung</b>			569,25			379,4454			<b>1.253.463</b>
6.1	Regulierschieber Belüftung BB 1	2004	0,75	2,25	0,8	0,872954		500	436
6.2	Regulierschieber Belüftung BB 2	2004	0,75	2,25	0,8	0,872954		500	436
6.3	Regulierschieber Belüftung BB 3	2004	0,75	2,25	0,8	0,872954		600	524
6.4	Regulierschieber Belüftung BB 4	2004	0,75	2,25	0,8	0,872954		500	436
6.5	Ventilator Gebläse 1 Belebung	2004	0,37	1,06	0,72	0,37		2017	746
6.6	Ventilator Gebläse 2 Belebung	2004	0,37	1,06	0,72	0,37		2125	786
6.7	Ventilator Gebläse 3 Belebung	2004	0,37	1,06	0,72	0,37		2125	786
6.8	Ventilator Gebläse 4 Belebung	2004	0,37	1,06	0,72	0,37		2126	787
6.9	Ventilator Gebläse 5 Belebung	2004	0,37	1,06	0,72	0,37		2126	787
6.10	Gebläse 1 Belebung	2004	90	148	0,88	58,64378		2017	118.284
6.11	Gebläse 2 Belebung	2004	90	148	0,88	57,72233		2125	122.660
6.12	Gebläse 3 Belebung	2004	90	148	0,88	57,32742		2125	121.821
6.13	Gebläse 4 Belebung	2004	90	148	0,88	55,68197		2126	118.380
6.14	Gebläse 5 Belebung	2004	90	148	0,88	57,78814		2126	122.858
6.15	Absperrschieber Zulauf Strasse 1	2004	3	7	0,84	2,851648		35	100
6.16	Absperrschieber Zulauf Strasse 2	2004	3	7	0,84	2,851648		35	100
6.17	Absperrschieber Zulauf Strasse 3	2004	3	7	0,84	2,851648		225	642
6.18	Absperrschieber Zulauf Strasse 4	2004	3	7	0,84	2,851648		140	399
6.19	Rührwerk 1 Straße 1 Nitrifikation (BB1)	2004	4	8,3	0,82	3,351865		8521	28.561
6.20	Rührwerk 2 Straße 1 Nitrifikation (BB1)	2004	4	8,3	0,82	3,351865		8510	28.524
6.21	Rührwerk 1 Straße 2 Nitrifikation (BB1)	2004	4	8,3	0,82	3,351865		8516	28.544
6.22	Rührwerk 2 Straße 2 Nitrifikation (BB1)	2004	4	8,3	0,82	3,351865		8517	28.548
6.23	Rührwerk 1 Straße 3 Nitrifikation (BB2)	2004	4	8,3	0,84	3,724602		8573	31.931
6.24	Rührwerk 2 Straße 3 Nitrifikation (BB2)	2004	4	8,3	0,84	2,968042		8572	25.442
6.25	Rührwerk 1 Straße 4 Nitrifikation (BB2)	2004	4	8,3	0,84	3,491814		8573	29.935
6.26	Rührwerk 2 Straße 4 Nitrifikation (BB2)	2004	4	8,3	0,84	3,491814		8572	29.932
6.27	Rührwerk 1 Straße 5 Nitrifikation (BB3)	2004	4	8,3	0,84	3,491814		8545	29.838
6.28	Rührwerk 2 Straße 5 Nitrifikation (BB3)	2004	4	8,3	0,84	3,491814		8539	29.817
6.29	Rührwerk 1 Straße 6 Nitrifikation (BB3)	2004	4	8,3	0,84	3,491814		8531	29.789
6.30	Rührwerk 2 Straße 6 Nitrifikation (BB3)	2004	4	8,3	0,84	3,491814		8525	29.768
6.31	Rührwerk 1 Straße 7 Nitrifikation (BB4)	2004	4	8,3	0,84	3,491814		8484	29.625
6.32	Rührwerk 2 Straße 7 Nitrifikation (BB4)	2004	4	8,3	0,84	3,608208		8494	30.648
6.33	Rührwerk 1 Straße 8 Nitrifikation (BB4)	2004	4	8,3	0,84	3,317224		7842	26.014
6.34	Rührwerk 2 Straße 8 Nitrifikation (BB4)	2004	4	8,3	0,84	3,491814		8486	29.632
6.35	Rührwerk DENI Strasse 1	2004	2,3	5,3	0,83	1,667619		8718	14.538
6.36	Rührwerk DENI Strasse 2	2004	2,3	5,3	0,83	1,667619		8717	14.537
6.37	Rührwerk DENI Strasse 3	2004	2,3	5,3	0,83	1,667619		8699	14.507
6.38	Rührwerk DENI Strasse 4	2004	2,3	5,3	0,83	1,667619		8695	14.500
6.39	Rührwerk VARIO Strasse 1 BB1	2004	2,3	5,3	0,83	1,495106		8717	13.033
6.40	Rührwerk VARIO Strasse 2 BB2	2004	2,3	5,3	0,83	1,667619		8715	14.533
6.41	Rührwerk VARIO Strasse 3	2004	2,3	5,3	0,83	1,55261		8699	13.506

6.42	Rührwerk VARIO Strasse 4	2004	2,3	5,3	0,83	1,55261		8697	13.503
6.43	Rezipumpe 1 Strasse 1	2004	2,5	6,9	0,83	0,95436		8480	8.093
6.44	Rezipumpe 2 Strasse 1	2004	2,5	6,9	0,83	0,95436		8480	8.093
6.45	Rezipumpe 1 Strasse 2	2004	2,5	6,9	0,83	0,95436		8458	8.072
6.46	Rezipumpe 2 Strasse 2	2004	2,5	6,9	0,83	0,95436		8525	8.136
6.47	Rezipumpe 1 Strasse 3	2004	2,5	6,9	0,83	0,95436		8494	8.106
6.48	Rezipumpe 2 Strasse 3	2004	2,5	6,9	0,83	0,95436		8484	8.097
6.49	Rezipumpe 1 Strasse 4	2004	2,5	6,9	0,83	0,95436		8485	8.098
6.50	Rezipumpe 2 Strasse 4	2004	2,5	6,9	0,83	0,95436		6912	6.597
<b>7.</b>	<b>Nachklärung</b>		<b>943,53</b>			<b>658,0256</b>			<b>2.658.611</b>
7.1	ÜSS- Pumpe 1	2004	7,5	15	0,86	4,289943		430	1.845
7.2	ÜSS- Pumpe 2	2004	7,5	15	0,86	4,289943		1850	7.936
7.3	ÜSS- Abzug BB 1; Schieber	2004	0,3	1,2	0,7	0,407378		10	4
7.4	ÜSS- Abzug BB 2; Schieber	2004	0,3	1,2	0,7	0,407378		10	4
7.5	ÜSS- Abzug BB 3; Schieber	2004	0,3	1,2	0,7	0,407378		40	16
7.6	ÜSS- Abzug BB 4; Schieber	2004	0,3	1,2	0,7	0,407378		40	16
7.7	Ventilator Gebläse 1.1 Membranfiltration	2004	0,37	1,06	0,72	0,370132		4944	1.830
7.8	Ventilator Gebläse 1.2 Membranfiltration	2004	0,37	1,06	0,72	0,370132		3884	1.438
7.9	Ventilator Gebläse 2.1 Membranfiltration	2004	0,37	1,06	0,72	0,370132		4526	1.675
7.10	Ventilator Gebläse 2.2 Membranfiltration	2004	0,37	1,06	0,72	0,370132		4551	1.684
7.11	Ventilator Gebläse 3.1 Membranfiltration	2004	0,37	1,06	0,72	0,370132		4563	1.689
7.12	Ventilator Gebläse 3.2 Membranfiltration	2004	0,37	1,06	0,72	0,370132		4443	1.644
7.13	Ventilator Gebläse 4.1 Membranfiltration	2004	0,37	1,06	0,72	0,370132		5199	1.924
7.14	Ventilator Gebläse 4.2 Membranfiltration	2004	0,37	1,06	0,72	0,370132		5149	1.906
7.15	Gebläse 1.1 Membranfiltration	2004	75	125	0,92	65,97035		4944	326.157
7.16	Gebläse 1.2 Membranfiltration	2004	75	125	0,92	65,97035		3884	256.229
7.17	Gebläse 2.1 Membranfiltration	2004	75	125	0,92	65,97035		4526	298.582
7.18	Gebläse 2.2 Membranfiltration	2004	75	125	0,92	65,97035		4551	300.231
7.19	Gebläse 3.1 Membranfiltration	2004	75	125	0,92	65,97035		4563	301.023
7.20	Gebläse 3.2 Membranfiltration	2004	75	125	0,92	65,97035		4443	293.106
7.21	Gebläse 4.1 Membranfiltration	2004	75	125	0,92	65,97035		5199	342.980
7.22	Gebläse 4.2 Membranfiltration	2004	75	125	0,92	65,97035		5149	339.681
7.23	Permeat Extraktionspumpe 1.1	2004	30	55	0,74	4,665452		3713	17.323
7.24	Permeat Extraktionspumpe 1.2	2004	30	55	0,74	4,716721		3579	16.881
7.25	Permeat Extraktionspumpe 2.1	2004	30	55	0,74	4,767989		3626	17.289
7.26	Permeat Extraktionspumpe 2.2	2004	30	55	0,74	4,614183		3630	16.749
7.27	Permeat Extraktionspumpe 3.1	2004	30	55	0,74	4,870527		3693	17.987
7.28	Permeat Extraktionspumpe 3.2	2004	30	55	0,74	4,819258		3645	17.566
7.29	Permeat Extraktionspumpe 4.1	2004	30	55	0,74	4,460377		3627	16.178
7.30	Permeat Extraktionspumpe 4.2	2004	30	55	0,74	4,460377		3606	16.084
7.31	Behälterheizung Ansatzbehälter (Alkalisch)	2008	25			25		400	10.000
7.32	Behälterheizung Reinigungsbehälter 1	2004	10			10		1000	10.000
7.33	Behälterheizung Ansatzbehälter (Sauer)	2004	10			10		1000	10.000
7.34	Behälterheizung Reinigungsbehälter 2	2004	10			10		1000	10.000
7.35	Dosierpumpe NaOH	2004	0,37	1,48	0,72	0,171562		6	1
7.36	Dosierpumpe HCl	2004	1	2,5	0,8	0,322		45	14
7.37	Dosierpumpe 1 H2O2	2004	1,5	3,4	0,83	1,368597			
7.38	Dosierpumpe 2 H2O2	2004	1	2,5	0,8	0,322			
7.39	Dosierpumpe 1 Zitronensäure	2004	1	2,5	0,8	0,322		27	9
7.40	Dosierpumpe 2 Zitronensäure	2004	1	2,5	0,8	0,322		20	6
7.41	Dosierpumpe 1 NaOCl	2004	0,75	2,17	0,8	0,841915		4	3
7.42	Dosierpumpe 2 NaOCl	2004	0,75	2,17	0,8	0,841915		5	4
7.43	Befüllpumpe1 Reinigungsbehälter	2004	9	18	0,86	8,937382		27	241
7.44	Umpumpe Reinigungsbehälter 1 B6	2004	1	2,5	0,8	0,969948		22	21
7.45	Befüllpumpe 2 Reinigungsbehälter	2004	9	18	0,86	7,388236		74	547
7.46	Umpumpe Reinigungsbehälter 2 B4	2004	1	2,5	0,8	0,969948		85	82
7.47	Entleerung Ansatzbehälter B3	2004	1	2,5	0,8	0,969948		5	5
7.48	Entleerung Ansatzbehälter B5	2004	1	2,5	0,8	0,969948		18	17

<b>8.</b>	<b>Fällmitteldosierung</b>			1,06				0,831384				<b>7.283</b>
8.1	Fällmitteldosierstation	2004		1	2,5	0,8		0,831384			8760	7.283
8.2	Membranpumpe 1	2004		0,03							4380	
8.3	Membranpumpe 2	2004		0,03							4380	
<b>9.</b>	<b>Filtration</b>											
<b>10.</b>	<b>Siebung</b>											
<b>11.</b>	<b>Voreindickung</b>											
<b>12.</b>	<b>Stabilisierung</b>											
<b>13.</b>	<b>Entwässerung</b>			164,27				131,8961				<b>188.391</b>
13.1	Rührwerk 1 Stapelbehälter 1	2004		2,5	6,4	0,83		2,990213			1261	3.771
13.2	Rührwerk 2 Stapelbehälter 1	2004		2,5	6,4	0,83		2,990213			1261	3.771
13.3	Rührwerk 1 Stapelbehälter 2	2004		2,5	6,4	0,83		2,990213			817	2.443
13.4	Rührwerk 2 Stapelbehälter 2	2004		2,5	6,4	0,83		2,990213			817	2.443
13.5	Rührwerk 1 Stapelbehälter 3	2004		2,5	6,4	0,83		2,990213			880	2.631
13.6	Rührwerk 2 Stapelbehälter 3	2004		2,5	6,4	0,83		2,990213			880	2.631
13.7	Trübwasserabzug Stapelbehälter 1	2004		2,5	6,25	0,83		2,515804			1150	2.893
13.8	Trübwasserabzug Stapelbehälter 2	2004		2,5	6,25	0,83		2,515804			1520	3.824
13.9	Trübwasserabzug Stapelbehälter 3	2004		2,5	6,25	0,83		2,515804			1610	4.050
13.10	Schlamm-schieber Zentrifuge	2004		1,5	3,75	0,83		1,509482			4	6
13.11	Schlamm-schieber Zentrifuge	2004		1,5	3,75	0,83		1,509482			4	6
13.12	Schlamm-schieber Zentrifuge	2004		1,5	3,75	0,83		1,509482			4	6
13.13	Doppelwellenpaddelmischer	2004		5,5	11	0,85		2,826707			1681	4.752
13.14	Macerator	2004		4	9,3	0,84		3,375421			1550	5.232
13.15	Dickschlammpumpe 1	2004		7,5	15	0,86		2,171992			725	1.575
13.16	Dickschlammpumpe 2	2004		7,5	15	0,86		2,171992			827	1.796
13.17	Zentrifugenantrieb 1 (Trommelantrieb)	2004		55	110	0,88		48,77455			1628	79.405
13.18	Zentrifugenantrieb 2 (Schneckenantrieb)	2004		15	30	0,86		7,898152			1694	13.379
13.19	Trogförderschnecke Schlammverladung	2004		5,5	11	0,85		5,241186			1210	6.342
13.20	Rührwerk Trübwasserbehälter			2,5	6,4	0,83		2,990213			8735	26.120
13.21	Pumpe 1 Trübwasserbehälter	2004		5,9	12	0,85		3,093443			1416	4.380
13.22	Pumpe 2 Trübwasserbehälter	2004		5,9	12	0,85		3,093443			1417	4.383
13.23	Trübwasserpumpe 1	2004		3,1	6,6	0,84		3,20083			318	1.018
13.24	Trübwasserpumpe 2	2004		3,1	6,6	0,84		3,20083			318	1.018
13.25	Kalkdosiereinrichtung	2004		0,37	1,48	0,72		0,516789				
13.26	Kalkförderschnecke	2004		1,5	3,75	0,83		1,509482				
13.27	Kalksilo Absperrschleuse	2004		1	2,5	0,8		0,969948				
13.28	Kalksilo Rüttler	2004		1	2,5	0,8		0,969948				
13.29	FHM Dosierpumpe 1	2004		0,75	2,25	0,8		0,592361			1523	902
13.30	FHM Dosierpumpe 2	2004		0,75	2,25	0,8		0,592361			28	17
13.31	FHM Ansetzstation	2004		3	6	0,84		2,44427			1660	4.057
13.32	Verteilerschnecke Schlammverladung	2004		4	8	0,84		2,909845			1210	3.521
13.33	Verteilerförderband 1	2004		2,2	5,5	0,83		1,667619			605	1.009
13.34	Verteilerförderband 2	2004		2,2	5,5	0,83		1,667619			605	1.009
<b>14.</b>	<b>Trocknung</b>											
<b>15.</b>	<b>Betriebsgebäude</b>			59,4				59,44754				<b>67.410</b>
15.1	Installation Betriebsgebäude			30				30			1000	30.000
15.2	Außenbeleuchtung anteilig			10				10			300	3.000
15.3	Kellerentwässerung Membranfiltration			0,5	1,5	0,72		0,523772			10	5
15.4	Kellerentwässerung Membranfiltration			0,5	1,5	0,72		0,523772			10	5
15.5	Klimaanlage Schaltwarte			2,4				2,4			1000	2.400
15.6	Klimaanlage MH			12				12			2000	24.000
15.7	Klimaanlage Standort alt			4				4			2000	8.000
<b>16.</b>	<b>Betriebsmittel</b>			77,4				69,38656				<b>128.821</b>
16.1	Brunnenpumpe 1			1,5	3,75	0,83		1,509482			85	128
16.2	Brunnenpumpe 2			1,5	3,75	0,83		1,509482			85	128
16.3	Druckerhöhungspumpe 1			0,65	1,6	0,75		0,581969			950	553
16.4	Druckerhöhungspumpe 2			0,65	1,6	0,75		0,581969			1260	733
16.5	Spülwasserpumpe			0,5	1,5	0,72		0,523772			20	10
16.6	Kompressor			0,2	0,8	0,5		0,19399			185	36
16.7	UV Entkeimung			3				3			2200	6.600
16.8	Chemikalienpumpe (Entkeimung)			0,1				0,1			140	14
16.9	Brauchwasseranlage P1	2004		5,5	12	0,86		5,004934			530	2.653
16.10	Brauchwasseranlage P2	2004		5,5	12	0,86		5,004934			550	2.753
16.11	Brauchwasseranlage P3	2004		5,5	12	0,86		5,004934			600	3.003

16.12	Brauchwasseranlage P4	2004	5,5	12	0,86	5,004934			580	2.903
16.13	Brauchwasseranlage II P1	2005	7,5	16,8	0,83	6,762481			3000	20.287
16.14	Brauchwasseranlage II P2	2005	7,5	16,8	0,83	6,762481			3000	20.287
16.15	Brauchwasseranlage II P3	2005	7,5	16,8	0,83	6,762481			3000	20.287
16.16	Kompressor 1 Druckluftez. Cross-Flow-Umschaltung	2004	3,2	8,1	0,84	2,269679			6000	13.618
16.17	Kompressor 2 Druckluftez. Cross-Flow-Umschaltung	2004	3,2	8,1	0,84	2,269679			6000	13.618
16.18	Kompressor 3	2005	3,2	8,1	0,84	2,269679			1250	2.837
16.19	Kompressor 4	2005	3,2	8,1	0,84	2,269679			3600	8.171
16.20	Heizung MSE		5			5			1000	5.000
16.21	Heizung UV1		2			2			100	200
16.22	Heizung Siebanlage		5			5			1000	5.000
<b>17.</b>	<b>Abluftreinigung</b>		<b>40,46</b>			<b>21,36978</b>				<b>148.390</b>
17.1	Heizung Wasservorlage		3			3			1000	3.000
17.2	Abluftbehandlung GWK									
	Heizung Pumpenraum		0,5			0,5			4000	2.000
	Abluftbehandlung GWK									
17.3	Ventilator Abluftbehandlung GWK		22	48	0,87	9,346146			8760	81.872
17.4	Umwälzpumpe Abluftbehandlung GWK		2,2	4,8	0,83	1,932137			8760	16.926
17.5	Abluftbehandlungsanlage Standort Alt		10	20	0,86	4,212348			8760	36.900
17.6	Abluftventilator Gebläseaum UG		0,8	2,4	0,8	0,997661			1100	1.097
17.7	Abluftventilator Gebläseaum OG		0,36	1,44	0,7	0,242487			1750	424
17.8	Abluftventilator Maschinenhaus UG		0,5	1,5	0,72	0,448948			1400	629
17.9	Abluftventilator Maschinenhaus UG		0,5	1,5	0,72	0,399065			7500	2.993
17.10	Abluftventilator Maschinenhaus OG		0,3	1,2	0,7	0,145492			8760	1.275
17.11	Abluftventilator Maschinenhaus OG		0,3	1,2	0,7	0,145492			8760	1.275
<b>18.</b>	<b>Diverse</b>									
<b>Gesamte aufgeführte Verbraucher</b>										<b>5.066.925</b>

## **ANLAGE 2**

### **Verbraucherliste Elektrizität Ist-Zustand**

		Proj4720 Kläranlage Nordkanal			Verbrauch gemäß MUNLV					Daten aus Betrachtungszeitraum 2007			Leistungsberechnung			Berechnung der elektrischen Arbeit	Berechnung der elektrischen Arbeit	Anmerkungen
	Kennung	Aggregatangaben	Baujahr	Verteilung	Nennleistung	cos phi	Strom	Spannung	Antriebsart	Summe Betriebsstunden	Tagesmittel Betriebsstunden-zähler	Strom aus Messungen	durchschnittl. Leistungsaufnahme errechnet aus Typenschild	Leistungsaufnahme errechnet aus Messungen	maßgebende Leistungsaufnahme	aus Leistungsaufnahme und Betriebsstunden	aus Leistungsaufnahme und Betriebsstunden	
Nr.		Verbraucher			[kW]		[ A ]	[ V ]		[h]	[h/d]	[A]	[kW]	[kW]	[kW]	[kWh/d]	[kWh/a]	
<b>1.</b>		<b>Ausgleichsbecken</b>															<b>2.827,93</b>	
1.1	03.01.AA.49.005	Motorarmatur Störfallbecken	2004	UV9	0,75	0,8	2,5	400	WS	6	0,02		0,97	-	0,97	0,02	5,82	
1.1	01.01.AM.27.001	Rührwerk 1 Störfallbecken	2004	UV9	5,5	0,85	15	400	SD	110	0,30		6,18	-	6,18	1,86	680,18	höhenstandsgesteuert
1.1	01.01.AM.27.002	Rührwerk 2 Störfallbecken	2004	UV9	5,5	0,85	15	400	SD	160	0,44		6,18	-	6,18	2,71	989,35	höhenstandsgesteuert
1.1	01.06.AP.01.001	Entleerungspumpe 1 Störfallbecken	2004	UV9	5,9	0,85	12	400	SD	35	0,10		4,95	-	4,95	0,47	173,14	
1.1	01.06.AP.01.002	Entleerungspumpe 2 Störfallbecken	2004	UV9	5,9	0,85	12	400	SD	38	0,10		4,95	-	4,95	0,52	187,98	
1.1	01.06.AP.01.003	Entleerungspumpe 3 Störfallbecken	2004	UV9	5,9	0,85	12	400	SD	160	0,44		4,95	-	4,95	2,17	791,48	
<b>2.</b>		<b>Hebewerke</b>															<b>475.473,35</b>	
2.1	03.01.AP.01.001	Zulaufpumpe 1	2004	UV9	9	0,86	19	400	FU	1.515	4,15		7,92	-	7,92	32,89	12.005,59	Trockenwetterpumpe. Insgesamt 4.576.879m³
2.1	03.01.AP.01.002	Zulaufpumpe 2	2004	UV9	70	0,88	127	400	FU	2.815	7,71	50,0	54,20	32,91	32,91	253,80	92.638,74	
2.1	03.01.AP.01.003	Zulaufpumpe 3	2004	UV9	70	0,88	127	400	FU	2.813	7,71	65,5	54,20	43,11	43,11	332,25	121.270,52	seit 08.2008 Aggregat mit 45kW
2.1	03.01.AP.01.004	Zulaufpumpe 4	2004	UV9	70	0,88	127	400	FU	2.813	7,71	50,5	54,20	33,24	33,24	256,16	93.498,65	23-50Hz
2.1	03.01.AP.01.005	Zulaufpumpe 5	2004	UV9	70	0,88	127	400	FU	2.815	7,71	55,5	54,20	36,53	36,53	281,72	102.829,00	
2.1	03.02.AA.12.010	Motorarmatur Pumpwerk	2004	UV9	0,75	0,8	2,5	400	WS	0	0,00		0,97	-	0,97	-	0,00	
2.1	03.02.AA.12.020	Motorarmatur Pumpwerk	2004	UV9	0,75	0,8	2,5	400	WS	5	0,01		0,97	-	0,97	0,01	4,85	
2.1	03.02.AA.12.030	Motorarmatur Pumpwerk	2004	UV9	0,75	0,8	2,5	400	WS	5	0,01		0,97	-	0,97	0,01	4,85	
2.1	03.02.AA.12.040	Motorarmatur Pumpwerk	2004	UV9	0,75	0,8	2,5	400	WS	0	0,00		0,97	-	0,97	-	0,00	
2.1	01.08.AP.01.001	Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 1	2004	UV3	7,5	0,86	15,00	400	FU	2.161	5,92	8,8	6,26	5,79	5,79	34,29	12.516,46	Anschluss an UV8, Abgang aus UV3; 950.213m³
2.1	01.08.AP.01.002	Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 2	2004	UV3	7,5	0,86	15,00	400	FU	2.160	5,92	9,0	6,26	5,92	5,92	35,05	12.795,01	0-100% = 40Hz - 50Hz
2.1	01.08.AP.01.003	Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 3	2004	UV3	7,5	0,86	15,00	400	FU	2.160	5,92	8,8	6,26	5,79	5,79	34,28	12.510,67	
2.1	01.08.AP.01.004	Pumpwerk Korschenbroich Zulaufpumpe 4	2004	UV3	7,5	0,86	15,00	400	FU	2.161	5,92	8,8	6,26	5,79	5,79	34,29	12.516,46	
2.1	01.08.AA.49.005	Pumpwerk Korschenbroich Motorarm. L1	2004	UV3	1	0,8	2,50	400	WS	0	0,00		0,97	-	0,97	-	0,00	Revisionschieber
2.1	01.08.AA.49.006	Pumpwerk Korschenbroich Motorarm. L2	2004	UV3	1	0,8	2,50	400	WS	0	0,00		0,97	-	0,97	-	0,00	Revisionschieber
2.1	03.02.AP.01.001	Schmutzwasserpumpe 1	2004	UV1	1,2	0,83	3,00	400	D	1.000	2,74	3,1	1,21	1,78	1,78	4,88	1.782,63	
2.1	03.02.AP.01.002	Schmutzwasserpumpe 2	2004	UV1	4,7	0,84	9,40	400	D	300	0,82	6,3	3,83	3,67	3,67	3,01	1.099,92	
<b>3.</b>		<b>Rechen</b>															<b>50.604,46</b>	
3.1	05.01.AE.45.010	Grobrechen 1 Alter Standort	2004	UV9	1,1	0,83	3	400	WS	380	1,04		1,21	-	1,21	1,26	458,88	
3.1	05.01.AE.45.020	Grobrechen 2 Alter Standort	2004	UV9	1,1	0,83	3	400	WS	450	1,23		1,21	-	1,21	1,49	543,41	
3.1	05.01.AF.21.001	Rechengutförderer Alter Standort	2004	UV9	1,5	0,83	3,4	400	D	150	0,41		1,37	-	1,37	0,56	205,29	
3.1	05.01.AK.23.001	RG Waschpresse Alter Standort	2004	UV9	3,6	0,84	7,7	400	D	280	0,77	6,5	3,14	3,78	3,78	2,90	1.059,18	
3.1	05.01.AT.45.001	Feinrechen 1	2004	UV1	1,5	0,83	3,4	400	D	200	0,55		1,37	-	1,37	0,75	273,72	
3.1	05.01.AT.45.002	Feinrechen 2	2004	UV1	1,5	0,83	3,4	400	WS	200	0,55		1,37	-	1,37	0,75	273,72	
3.1	05.01.AF.21.001	Rechengutförderer Feinrechenanlage	2004	UV1	1,5	0,83	3,6	400	D	200	0,55		1,45	-	1,45	0,79	289,82	
3.1	05.01.AK.23.001	RG Waschpresse 1	2004	UV1	3,6	0,84	7,7	400	D	850	2,33	5,5	3,14	3,20	3,20	7,45	2.720,71	
3.1	05.01.AE.47.002	Feinsieb 1	2004	UV1	2,2	0,83	5,1	400	WS	3.300	9,04	3,0	2,05	1,73	1,73	15,60	5.692,90	
3.1	05.01.AE.47.003	Feinsieb 2	2004	UV1	2,2	0,83	5,1	400	D	3.600	9,86	3,0	2,05	1,73	1,73	17,01	6.210,44	
3.1	05.01.AE.47.001	Feinsieb 3; Notsieb	2004	UV1	2,2	0,83	5,1	400	D	220	0,60		2,05	-	2,05	1,24	451,64	
3.1	05.01.AF.21.002	Rechengutförderer Feinsiebanlage	2004	UV1	1,5	0,83	3,6	400	D	5.200	14,25	2,1	1,45	1,21	1,21	17,20	6.279,45	
3.1	05.01.AF.21.003	Rechengutförderer Notsieb	2004	UV1	1,1	0,83	2,75	400	D	250	0,68		1,11	-	1,11	0,76	276,74	
3.1	05.01.AK.23.002	SG Waschpresse Feinsiebanlage	2004	UV1	3	0,84	6,4	400	D	6.000	16,44	2,7	2,61	1,57	1,57	25,83	9.427,90	
3.1	05.01.AP.35.020	Hochdruckpumpe 1 Feinsieb 1	2007	UV1	4	0,84	9,1	400	D	1.000	2,74		3,71	-	3,71	10,16	3.707,14	erst seit Ende Nov. 2007 auf PLS, aber komplett 2007 in Betrieb
3.1	05.01.AP.35.021	Hochdruckpumpe 2 Feinsieb 1	2007	UV1	4	0,84	9,1	400	D	1.000	2,74		3,71	-	3,71	10,16	3.707,14	
3.1	05.01.AP.35.022	Hochdruckpumpe 1 Feinsieb 2	2007	UV1	4	0,84	9,1	400	D	1.000	2,74		3,71	-	3,71	10,16	3.707,14	
3.1	05.01.AP.35.023	Hochdruckpumpe 2 Feinsieb 2	2007	UV1	4	0,84	9,1	400	D	1.000	2,74		3,71	-	3,71	10,16	3.707,14	
3.1	04.01.AA.49.001	Motorarmatur MID Zulaufschacht	2004	UV1	0,75	0,8	2,5	400	WS		0,00		0,97	-	0,97	-	0,00	
3.1	04.01.AA.49.002	Motorarmatur MID Zulaufschacht	2004	UV1	0,75	0,8	2,5	400	WS		0,00		0,97	-	0,97	-	0,00	
3.1	05.02.AK.23.001	Fäkalannaherechen	2004	UV1	1,1	0,83	2,8	400	WS	8	0,02		1,13	-	1,13	0,02	9,02	
3.1	05.02.AP.01.001	Fäkalpumpe 1	2004	UV1	1,2	0,83	2,5	400	D	15	0,04		1,01	-	1,01	0,04	15,09	
3.1	05.02.AP.01.002	Fäkalpumpe 2	2004	UV1	1,2	0,83	2,5	400	D	10	0,03		1,01	-	1,01	0,03	10,06	
3.1	01.07.AM.27.001	Rührwerk Speicher Sauerkrautlake	2004	UV1	1,25	0,83	3,2	400	D	850	2,33		1,29	-	1,29	3,00	1.094,88	
3.1	01.07.AP.22.001	Dosierpumpe 1 Sauerkrautlake	2004	UV1	1,5	0,83	3,75	400	FU	160	0,44		1,51	-	1,51	0,66	241,52	
3.1	01.07.AP.22.002	Dosierpumpe 2 Sauerkrautlake	2004	UV1	1,5	0,83	3,75	400	FU	160	0,44		1,51	-	1,51	0,66	241,52	

Nr.	Kennung	Proj4720 Kläranlage Nordkanal	Baujahr	Verteilung	Verbrauch gemäß MUNLV				Antriebsart	Daten aus Betrachtungszeitraum 2007			Leistungsberechnung			Berechnung der elektrischen Arbeit	Berechnung der elektrischen Arbeit	Anmerkungen
					Nennleistung	cos phi	Strom	Spannung		Summe Betriebsstunden	Tagesmittel Betriebsstunden-zähler	Strom aus Messungen	durchschnittl. Leistungsaufnahme errechnet aus Typenschild	Leistungsaufnahme errechnet aus Messungen	maßgebende Leistungsaufnahme	aus Leistungsaufnahme und Betriebsstunden	aus Leistungsaufnahme und Betriebsstunden	
		Verbraucher			[kW]		[ A ]	[ V ]		[h]	[h/d]	[A]	[kW]	[kW]	[kW]	[kWh/d]	[kWh/a]	
4.		<b>Sandfang</b>															<b>85.650,12</b>	
4.1	05.03.AE.40.001	Räumer Sandfang 2	2004	UV1	9	0,8	18,00	400	D	1.460	4,00	3,7	6,98	2,05	2,05	8,20	2.994,09	jetzt 24h/d, Pumpe abwechselnd; Gesamtmessung 3,7A
4.1	05.03.AP.01.001	Sandfangpumpe 1	2004	UV1	1,85	0,83	4,63	400	D	700	1,92	0,0	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	
4.1	05.03.AP.01.002	Sandfangpumpe 2	2004	UV1	1,85	0,83	4,63	400	D	700	1,92	0,0	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	
4.1		Fettschild 1	2004	UV1	0,12	0,5	0,48	400	D	30	0,08	0,0	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	
4.1		Fettschild 2	2004	UV1	0,12	0,5	0,48	400	D	30	0,08	0,0	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	
4.1		Fahrtrieb	2004	UV1	0,37	0,72	1,48	400	D	1.400	3,84	0,0	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	
4.1		Kabeltrommel	2004	UV1	0,18	0,5	0,72	400	D	1.400	3,84	0,0	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	
4.1		Heizgebläse Laufbahn	2004	UV1	4					250	0,68		4,00	-	4,00	2,74	1.000,00	thermostatgesteuert 2x2kW
4.1	05.03.AT.09.001	Sandwaschklassierer Austragschnecke	2004	UV1	1,35	0,83	3,38	400	D	2	0,01		1,36	-	1,36	0,01	2,72	jeweils 3s
4.1	05.03.AM.54.001	Sandwaschklassierer Rührwerk	2004	UV1	1,1	0,83	2,75	400	D	900	2,47	1,2	1,11	0,69	0,69	1,70	621,04	
4.1	05.03.AN.34.001	Gebläse Sandfang 1	2004	UV1	8	0,86	16,80	400	PU1	0	0,00		7,01	-	7,01	-	0,00	
4.1			2004	UV1	11	0,86	22,50	400	PU2	4.000	10,96	17,0	9,38	10,13	10,13	111,00	40.516,13	jetzt 24h/d, abwechselnd
4.1	05.03.AN.34.002	Gebläse Sandfang 2	2004	UV1	8	0,86	16,80	400	PU1	0	0,00		7,01	-	7,01	-	0,00	
4.1			2004	UV1	11	0,86	22,50	400	PU2	4.000	10,96	17,0	9,38	10,13	10,13	111,00	40.516,13	
6.		<b>Biolog. Stufe / Belebung</b>															<b>1.253.463,01</b>	
6.1	06.03.AA.48.001	Regulierschieber Belüftung BB 1	2004	UV2.1	0,75	0,8	2,25	400	WS	500	1,37		0,87	-	0,87	1,20	436,48	
6.1	06.03.AA.48.002	Regulierschieber Belüftung BB 2	2004	UV2.1	0,75	0,8	2,25	400	WS	500	1,37		0,87	-	0,87	1,20	436,48	
6.1	06.03.AA.48.003	Regulierschieber Belüftung BB 3	2004	UV2.2	0,75	0,8	2,25	400	WS	600	1,64		0,87	-	0,87	1,43	523,77	
6.1	06.03.AA.48.004	Regulierschieber Belüftung BB 4	2004	UV2.2	0,75	0,8	2,25	400	WS	500	1,37		0,87	-	0,87	1,20	436,48	
6.1	06.03.AN.26.010	Ventilator Gebläse 1 Belebung	2004	UV2.1	0,37	0,72	1,06	400	D	2.017	5,53		0,37	-	0,37	2,04	746,29	
6.1	06.03.AN.26.020	Ventilator Gebläse 2 Belebung	2004	UV2.1	0,37	0,72	1,06	400	D	2.125	5,82		0,37	-	0,37	2,15	786,25	
6.1	06.03.AN.26.030	Ventilator Gebläse 3 Belebung	2004	UV2.1	0,37	0,72	1,06	400	D	2.125	5,82		0,37	-	0,37	2,15	786,25	
6.1	06.03.AN.26.040	Ventilator Gebläse 4 Belebung	2004	UV2.2	0,37	0,72	1,06	400	D	2.126	5,82		0,37	-	0,37	2,16	786,62	
6.1	06.03.AN.26.050	Ventilator Gebläse 5 Belebung	2004	UV2.2	0,37	0,72	1,06	400	D	2.126	5,82		0,37	-	0,37	2,16	786,62	
6.1	06.03.AN.34.001	Gebläse 1 Belebung	2004	UV2.1	90	0,88	148	400	FU	2.017	5,53	89,1	63,16	58,64	58,64	324,07	118.284,50	Durchschnitt 62,9%; 25-50Hz; Logger
6.1	06.03.AN.34.002	Gebläse 2 Belebung	2004	UV2.1	90	0,88	148	400	FU	2.125	5,82	87,7	63,16	57,72	57,72	336,05	122.659,94	Durchschnitt 62,5%; 25-50Hz
6.1	06.03.AN.34.003	Gebläse 3 Belebung	2004	UV2.1	90	0,88	148	400	FU	2.125	5,82	87,1	63,16	57,33	57,33	333,76	121.820,76	Durchschnitt 62,2%; 25-50Hz
6.1	06.03.AN.34.004	Gebläse 4 Belebung	2004	UV2.2	90	0,88	148	400	FU	2.126	5,82	84,6	63,16	55,68	55,68	324,33	118.379,87	Durchschnitt 60,7%; 25-50Hz
6.1	06.03.AN.34.005	Gebläse 5 Belebung	2004	UV2.2	90	0,88	148	400	FU	2.126	5,82	87,8	63,16	57,79	57,79	336,60	122.857,59	Durchschnitt 62,4%; 25-50Hz
6.1	04.02.AA.50.101	Absperrschieber Zulauf Strasse 1	2004	UV2.1	3	0,84	7	400	WS	35	0,10		2,85	-	2,85	0,27	99,81	
6.1	04.02.AA.50.201	Absperrschieber Zulauf Strasse 2	2004	UV2.1	3	0,84	7	400	WS	35	0,10		2,85	-	2,85	0,27	99,81	
6.1	04.02.AA.50.301	Absperrschieber Zulauf Strasse 3	2004	UV2.2	3	0,84	7	400	WS	225	0,62		2,85	-	2,85	1,76	641,62	
6.1	04.02.AA.50.401	Absperrschieber Zulauf Strasse 4	2004	UV2.2	3	0,84	7	400	WS	140	0,38		2,85	-	2,85	1,09	399,23	
6.2	06.03.AM.27.101	Rührwerk 1 Straße 1 Nitrifikation (BB1)	2004	UV2.1	4	0,82	8,3	400	D	8.521	23,35	5,9	3,30	3,35	3,35	78,25	28.561,24	
6.2	06.03.AM.27.102	Rührwerk 2 Straße 1 Nitrifikation (BB1)	2004	UV2.1	4	0,82	8,3	400	D	8.510	23,32	5,9	3,30	3,35	3,35	78,15	28.524,37	
6.2	06.03.AM.27.103	Rührwerk 1 Straße 2 Nitrifikation (BB1)	2004	UV2.1	4	0,82	8,3	400	D	8.516	23,33	5,9	3,30	3,35	3,35	78,20	28.544,48	
6.2	06.03.AM.27.104	Rührwerk 2 Straße 2 Nitrifikation (BB1)	2004	UV2.1	4	0,82	8,3	400	D	8.517	23,33	5,9	3,30	3,35	3,35	78,21	28.547,83	
6.2	06.03.AM.27.201	Rührwerk 1 Straße 3 Nitrifikation (BB2)	2004	UV2.1	4	0,84	8,3	400	D	8.573	23,49	6,4	3,38	3,72	3,72	87,48	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	69,70	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	82,01	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	82,01	29.931,83	
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	81,75	29.837,55	
6.2	06.03.AM.27.302	Rührwerk 2 Straße 5 Nitrifikation (BB3)	2004	UV2.2	4	0,84	8,3	400	D	8.539	23,39	6,0	3,38	3,49	3,49	81,69	29.816,60	
6.2	06.03.AM.27.303	Rührwerk 1 Straße 6 Nitrifikation (BB3)	2004	UV2.2	4	0,84	8,3	400	D	8.531	23,37	6,0	3,38	3,49	3,49	81,61	29.788,67	
6.2	06.03.AM.27.304	Rührwerk 2 Straße 6 Nitrifikation (BB3)	2004	UV2.2	4	0,84	8,3	400	D	8.525	23,36	6,0	3,38	3,49	3,49	81,56	29.767,72	
6.2	06.03.AM.27.401	Rührwerk 1 Straße 7 Nitrifikation (BB4)	2004	UV2.2	4	0,84	8,3	400	D	8.484	23,24	6,0	3,38	3,49	3,49	81,16	29.624,55	
6.2	06.03.AM.27.402	Rührwerk 2 Straße 7 Nitrifikation (BB4)	2004	UV2.2	4	0,84	8,3	400	D	8.494	23,27	6,2	3,38	3,61	3,61	83,97	30.648,12	
6.2	06.03.AM.27.403	Rührwerk 1 Straße 8 Nitrifikation (BB4)	2004	UV2.2	4	0,84	8,3	400	D	7.842	21,48	5,7	3,38	3,32	3,32	71,27	26.013,67	
6.2	06.03.AM.27.404	Rührwerk 2 Straße 8 Nitrifikation (BB4)	2004	UV2.2	4	0,84	8,3	400	D	8.486	23,25	6,0	3,38	3,49	3,49	81,18	29.631,54	
6.2	06.04.AM.27.101	Rührwerk DENI Strasse 1	2004	UV2.1	2,3	0,83	5,3	400	D	8.718	23,88	2,9	2,13	1,67	1,67	39,83	14.538,30	
6.2	06.04.AM.27.201	Rührwerk DENI Strasse 2	2004	UV2.1	2,3	0,83	5,3	400	D	8.717	23,88	2,9	2,13	1,67	1,67	39,83	14.536,63	
6.2	06.04.AM.27.301	Rührwerk DENI Strasse 3	2004	UV2.2	2,3	0,83	5,3	400	D	8.699	23,83	2,9	2,13	1,67	1,67	39,74	14.506,61	
6.2	06.04.AM.27.401	Rührwerk DENI Strasse 4	2004	UV2.2	2,3	0,83	5,3	400	D	8.695	23,82	2,9	2,13	1,67	1,67	39,73	14.499,94	
6.2	06.05.AM.27.101	Rührwerk VARIO Strasse 1 BB1	2004	UV2.1	2,3	0,83	5,3	400	D	8.717	23,88	2,6	2,13	1,50	1,50	35,71	13.032,84	Variozone in den letzten Jahren nicht belüftet
6.2	06.05.AM.27.201	Rührwerk VARIO Strasse 2 BB2	2004	UV2.1	2,3	0,83	5,3	400	D	8.715	23,88	2,9	2,13	1,67	1,67	39,82	14.533,30	
6.2	06.05.AM.27.301	Rührwerk VARIO Strasse 3	2004	UV2.2	2,3	0,83	5,3	400	D	8.699	23,83	2,7	2,13	1,55	1,55	37,00	13.506,16	
6.2	06.05.AM.27.401	Rührwerk VARIO Strasse 4	2004	UV2.2	2,3	0,83	5,3	400	D	8.697	23,83	2,7	2,13	1,55	1,55	36,99	13.503,05	
6.4	03.04.AP.24.101	Rezipumpe 1 Strasse 1	2004	UV2.1	2,5	0,83	6,9	400	FU	8.480	23,23	1,5	2,78	0,95	0,95	22,17	8.092,97	
6.4	03.04.AP.24.102	Rezipumpe 2 Strasse 1	2004	UV2.1	2,5	0,83	6,9	400	FU	8.480	23,23	1,5	2,78					

Nr.	Kennung	Proj4720 Kläranlage Nordkanal Aggregatangaben	Baujahr	Verteilung	Verbrauch gemäß MUNLV				Antriebsart	Daten aus Betrachtungszeitraum 2007			Leistungsberechnung			Berechnung der elektrischen Arbeit	Berechnung der elektrischen Arbeit	Anmerkungen
					Nennleistung	cos phi	Strom	Spannung		Summe Betriebsstunden	Tagesmittel Betriebsstunden-zähler	Strom aus Messungen	durchschnittl. Leistungsaufnahme errechnet aus Typenschild	Leistungsaufnahme errechnet aus Messungen	maßgebende Leistungsaufnahme	aus Leistungsaufnahme und Betriebsstunden	aus Leistungsaufnahme und Betriebsstunden	
		Verbraucher			[kW]		[ A ]	[ V ]		[h]	[h/d]	[A]	[kW]	[kW]	[kW]	[kWh/d]	[kWh/a]	
7.		Nachklärung															2.658.611,39	
7.1	03.05.AP.33.001	ÜSS- Pumpe 1	2004	UV2.1	7,5	0,86	15	400	D	430	1,18	7,2	6,26	4,29	4,29	5,05	1.844,68	
7.1	03.05.AP.33.002	ÜSS- Pumpe 2	2004	UV2.2	7,5	0,86	15	400	D	1.850	5,07	7,2	6,26	4,29	4,29	21,74	7.936,40	
7.1	06.03.AA.49.001	ÜSS- Abzug BB 1; Schieber	2004	UV2.1	0,3	0,7	1,20	400	WS	10	0,03		0,41	-	0,41	0,01	4,07	
7.1	06.03.AA.49.002	ÜSS- Abzug BB 2; Schieber	2004	UV2.1	0,3	0,7	1,20	400	WS	10	0,03		0,41	-	0,41	0,01	4,07	
7.1	06.03.AA.49.003	ÜSS- Abzug BB 3; Schieber	2004	UV2.2	0,3	0,7	1,20	400	WS	40	0,11		0,41	-	0,41	0,04	16,30	
7.1	06.03.AA.49.004	ÜSS- Abzug BB 4; Schieber	2004	UV2.2	0,3	0,7	1,20	400	WS	40	0,11		0,41	-	0,41	0,04	16,30	
7.1	07.01.AN.26.110	Ventilator Gebläse 1.1 Membranfiltration	2004	UV2.1	0,37	0,72	1,06	400	D	4.944	13,55		0,37	-	0,37	5,01	1.829,93	
7.1	07.01.AN.26.120	Ventilator Gebläse 1.2 Membranfiltration	2004	UV2.1	0,37	0,72	1,06	400	D	3.884	10,64		0,37	-	0,37	3,94	1.437,59	
7.1	07.01.AN.26.210	Ventilator Gebläse 2.1 Membranfiltration	2004	UV2.1	0,37	0,72	1,06	400	D	4.526	12,40		0,37	-	0,37	4,59	1.675,22	
7.1	07.01.AN.26.220	Ventilator Gebläse 2.2 Membranfiltration	2004	UV2.1	0,37	0,72	1,06	400	D	4.551	12,47		0,37	-	0,37	4,61	1.684,47	
7.1	07.01.AN.26.310	Ventilator Gebläse 3.1 Membranfiltration	2004	UV2.2	0,37	0,72	1,06	400	D	4.563	12,50		0,37	-	0,37	4,63	1.688,91	
7.1	07.01.AN.26.320	Ventilator Gebläse 3.2 Membranfiltration	2004	UV2.2	0,37	0,72	1,06	400	D	4.443	12,17		0,37	-	0,37	4,51	1.644,50	
7.1	07.01.AN.26.410	Ventilator Gebläse 4.1 Membranfiltration	2004	UV2.2	0,37	0,72	1,06	400	D	5.199	14,24		0,37	-	0,37	5,27	1.924,32	
7.1	07.01.AN.26.420	Ventilator Gebläse 4.2 Membranfiltration	2004	UV2.2	0,37	0,72	1,06	400	D	5.149	14,11		0,37	-	0,37	5,22	1.905,81	
7.1	07.01.AN.34.001	Gebläse 1.1 Membranfiltration	2004	UV2.1	75	0,92	125	400	SD	4.944	13,55	103,5	55,77	65,97	65,97	893,58	326.157,42	Zulaufgesteuert, neue Steuerung geplant
7.1	07.01.AN.34.002	Gebläse 1.2 Membranfiltration	2004	UV2.1	75	0,92	125	400	SD	3.884	10,64	103,5	55,77	65,97	65,97	702,00	256.228,84	gemäß PLS 90-110A je nach Beckenhöhe
7.1	07.01.AN.34.003	Gebläse 2.1 Membranfiltration	2004	UV2.1	75	0,92	125	400	SD	4.526	12,40	103,5	55,77	65,97	65,97	818,03	298.581,81	
7.1	07.01.AN.34.004	Gebläse 2.2 Membranfiltration	2004	UV2.1	75	0,92	125	400	SD	4.551	12,47	103,5	55,77	65,97	65,97	822,55	300.231,07	
7.1	07.01.AN.34.005	Gebläse 3.1 Membranfiltration	2004	UV2.2	75	0,92	125	400	SD	4.563	12,50	103,5	55,77	65,97	65,97	824,72	301.022,71	
7.1	07.01.AN.34.006	Gebläse 3.2 Membranfiltration	2004	UV2.2	75	0,92	125	400	SD	4.443	12,17	103,5	55,77	65,97	65,97	803,03	293.106,27	
7.1	07.01.AN.34.007	Gebläse 4.1 Membranfiltration	2004	UV2.2	75	0,92	125	400	SD	5.199	14,24	103,5	55,77	65,97	65,97	939,67	342.979,86	
7.1	07.01.AN.34.008	Gebläse 4.2 Membranfiltration	2004	UV2.2	75	0,92	125	400	SD	5.149	14,11	103,5	55,77	65,97	65,97	930,63	339.681,34	
7.1	07.01.AP.02.101	Permeat Extraktionspumpe 1.1	2004	UV2.1	30	0,74	55	400	FU-WS	3.713	10,17	9,1	19,74	4,67	4,67	47,46	17.322,82	
7.1	07.01.AP.02.102	Permeat Extraktionspumpe 1.2	2004	UV2.1	30	0,74	55	400	FU-WS	3.579	9,81	9,2	19,74	4,72	4,72	46,25	16.881,14	
7.1	07.01.AP.02.201	Permeat Extraktionspumpe 2.1	2004	UV2.1	30	0,74	55	400	FU-WS	3.626	9,93	9,3	19,74	4,77	4,77	47,37	17.288,73	
7.1	07.01.AP.02.202	Permeat Extraktionspumpe 2.2	2004	UV2.1	30	0,74	55	400	FU-WS	3.630	9,95	9,0	19,74	4,61	4,61	45,89	16.749,49	
7.1	07.01.AP.02.301	Permeat Extraktionspumpe 3.1	2004	UV2.2	30	0,74	55	400	FU-WS	3.693	10,12	9,5	19,74	4,87	4,87	49,28	17.986,86	
7.1	07.01.AP.02.302	Permeat Extraktionspumpe 3.2	2004	UV2.2	30	0,74	55	400	FU-WS	3.645	9,99	9,4	19,74	4,82	4,82	48,13	17.566,20	
7.1	07.01.AP.02.401	Permeat Extraktionspumpe 4.1	2004	UV2.2	30	0,74	55	400	FU-WS	3.627	9,94	8,7	19,74	4,46	4,46	44,32	16.177,79	
7.1	07.01.AP.02.402	Permeat Extraktionspumpe 4.2	2004	UV2.2	30	0,74	55	400	FU-WS	3.606	9,88	8,7	19,74	4,46	4,46	44,07	16.084,12	
7.1	06.12.AH.29.001	Behälterheizung Ansatzbehälter (Alkalisch)	2008	UV2.1	25			400	D	400	1,10		25,00	-	25,00	27,40	10.000,00	neue Heizung mit Wärmetauscher seit 2008
7.1	07.10.AH.29.120	Behälterheizung Reinigungsbehälter 1	2004	UV2.1	10			400	D	1.000	2,74		10,00	-	10,00	27,40	10.000,00	
7.1	06.12.AH.29.002	Behälterheizung Ansatzbehälter (Sauer)	2004	UV2.2	10			400	D	1.000	2,74		10,00	-	10,00	27,40	10.000,00	
7.1	07.10.AH.29.220	Behälterheizung Reinigungsbehälter 2	2004	UV2.2	10			400	D	1.000	2,74		10,00	-	10,00	27,40	10.000,00	
7.1	06.12.AP.20.001	Dosierpumpe NaOH	2004	UV2.1	0,37	0,72	1,48	230	D	6	0,02		0,17	-	0,17	0,00	1,03	
7.1	06.12.AP.20.002	Dosierpumpe HCl	2004	UV2.2	1	0,8	2,50	230	D	45	0,12		0,32	-	0,32	0,04	14,49	
7.1	06.12.AP.20.003	Dosierpumpe 1 H2O2	2004	UV2.1	1,5	0,83	3,40	400	D	0	0,00		1,37	-	1,37	-	0,00	außer Betrieb
7.1	06.12.AP.20.004	Dosierpumpe 2 H2O2	2004	UV2.2	1	0,8	2,50	230	D	0	0,00		0,32	-	0,32	-	0,00	außer Betrieb
7.1	06.12.AP.20.007	Dosierpumpe 1 Zitronensäure	2004	UV2.2	1	0,8	2,50	230	D	27	0,07		0,32	-	0,32	0,02	8,69	
7.1	06.12.AP.20.008	Dosierpumpe 2 Zitronensäure	2004	UV2.2	1	0,8	2,50	230	D	20	0,05		0,32	-	0,32	0,02	6,44	
7.1	06.12.AP.20.005	Dosierpumpe 1 NaOCl	2004	UV2.1	0,75	0,8	2,17	400	D	4	0,01		0,84	-	0,84	0,01	3,37	
7.1	06.12.AP.20.006	Dosierpumpe 2 NaOCl	2004	UV2.1	0,75	0,8	2,17	400	D	5	0,01		0,84	-	0,84	0,01	4,21	
7.1	06.12.AP.22.001	Befüllpumpe1 Reinigungsbehälter	2004	UV2.1	9	0,86	18,00	400	D	27	0,07	15,0	7,51	8,94	8,94	0,66	241,31	
7.1	06.12.AP.22.003	Umpumpe Reinigungsbehälter 1 B6	2004	UV2.1	1	0,8	2,50	400	FU	22	0,06		0,97	-	0,97	0,06	21,34	
7.1	06.12.AP.22.002	Befüllpumpe 2 Reinigungsbehälter	2004	UV2.2	9	0,86	18,00	400	D	74	0,20	12,4	7,51	7,39	7,39	1,50	546,73	
7.1	06.12.AP.22.004	Umpumpe Reinigungsbehälter 2 B4	2004	UV2.2	1	0,8	2,50	400	FU	85	0,23		0,97	-	0,97	0,23	82,45	
7.1	06.12.AP.22.005	Entleerung Ansatzbehälter B3	2004	UV2.1	1	0,8	2,5	400	D	5	0,01		0,97	-	0,97	0,01	4,85	
7.1	06.12.AP.22.006	Entleerung Ansatzbehälter B5	2004	UV2.2	1	0,8	2,5	400	D	18	0,05		0,97	-	0,97	0,05	17,46	
8.		Fällmitteldosierung															7.282,93	
8.1	07.03.EG.01.001	Fällmitteldosierstation	2004	UV2.2	1	0,8	2,50	400	D	8.760	24,00	1,5	0,97	0,83	0,83	19,95	7.282,93	Gesamtmessung Dosierstation
8.1	07.03.AP.20.001	Membranpumpe 1	2004	UV2.2	0,03				D	4.380	12,00	0,0	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	abwechselnd
8.1	07.03.AP.20.002	Membranpumpe 2	2004	UV2.2	0,03				D	4.380	12,00	0,0	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	

Nr.	Kennung	Proj4720 Kläranlage Nordkanal	Baujahr	Verteilung	Verbrauch gemäß MUNLV				Antriebsart	Daten aus Betrachtungszeitraum 2007			Leistungsberechnung			Berechnung der elektrischen Arbeit	Berechnung der elektrischen Arbeit	Anmerkungen	
					Nennleistung	cos phi	Strom	Spannung		Summe Betriebsstunden	Tagesmittel Betriebsstunden-zähler	Strom aus Messungen	durchschnittl. Leistungsaufnahme errechnet aus Typenschild	Leistungsaufnahme errechnet aus Messungen	maßgebende Leistungsaufnahme	aus Leistungsaufnahme und Betriebsstunden	aus Leistungsaufnahme und Betriebsstunden		
		Verbraucher			[kW]		[ A ]	[ V ]		[h]	[h/d]	[A]	[kW]	[kW]	[kW]	[kWh/d]	[kWh/a]		
13.		Entwässerung															188.390,58		
13.1	08.11.AM.27.001	Rührwerk 1 Stapelbehälter 1	2004	UV3	2,5	0,83	6,4	400	D	1.261	3,45	5,2	2,58	2,99	2,99	10,33	3.770,66	nur bei Entleerung	
13.1	08.11.AM.27.002	Rührwerk 2 Stapelbehälter 1	2004	UV3	2,5	0,83	6,4	400	D	1.261	3,45	5,2	2,58	2,99	2,99	10,33	3.770,66		
13.1	08.11.AM.27.003	Rührwerk 1 Stapelbehälter 2	2004	UV3	2,5	0,83	6,4	400	D	817	2,24	5,2	2,58	2,99	2,99	6,69	2.443,00		
13.1	08.11.AM.27.004	Rührwerk 2 Stapelbehälter 2	2004	UV3	2,5	0,83	6,4	400	D	817	2,24	5,2	2,58	2,99	2,99	6,69	2.443,00		
13.1	08.11.AM.27.005	Rührwerk 1 Stapelbehälter 3	2004	UV3	2,5	0,83	6,4	400	D	880	2,41	5,2	2,58	2,99	2,99	7,21	2.631,39		
13.1	08.11.AM.27.006	Rührwerk 2 Stapelbehälter 3	2004	UV3	2,5	0,83	6,4	400	D	880	2,41	5,2	2,58	2,99	2,99	7,21	2.631,39		
13.1	08.11.AE.43.001	Trübwasserabzug Stapelbehälter 1	2004	UV3	2,5	0,83	6,25	400	D	1.150	3,15		2,52	-	2,52	7,93	2.893,17		
13.1	08.11.AE.43.002	Trübwasserabzug Stapelbehälter 2	2004	UV3	2,5	0,83	6,25	400	D	1.520	4,16		2,52	-	2,52	10,48	3.824,02		
13.1	08.11.AE.43.003	Trübwasserabzug Stapelbehälter 3	2004	UV3	2,5	0,83	6,25	400	D	1.610	4,41		2,52	-	2,52	11,10	4.050,44		
13.3	08.11.AA.49.001	Schlammschieber Zentrifuge	2004	UV3	1,5	0,83	3,75	400	WS	4	0,01		1,51	-	1,51	0,02	6,04		
13.3	08.11.AA.49.002	Schlammschieber Zentrifuge	2004	UV3	1,5	0,83	3,75	400	WS	4	0,01		1,51	-	1,51	0,02	6,04		
13.3	08.11.AA.49.003	Schlammschieber Zentrifuge	2004	UV3	1,5	0,83	3,75	400	WS	4	0,01		1,51	-	1,51	0,02	6,04		
13.1	08.01.AM.16.001	Doppelwellenpaddelmischer	2004	UV3	5,5	0,85	11,00	400	D	1.681	4,61	4,8	4,53	2,83	2,83	13,02	4.751,69		
13.3	08.01.AJ.28.001	Macerator	2004	UV3	4	0,84	9,3	400	D	1.550	4,25	5,8	3,79	3,38	3,38	14,33	5.231,90		
13.3	08.01.AP.33.001	Dickschlammpumpe 1	2004	UV3	7,5	0,86	15	400	FU	725	1,99	3,3	6,26	2,17	2,17	4,31	1.574,69	30m³/h; konstante Betriebsweise	
13.3	08.01.AP.33.002	Dickschlammpumpe 2	2004	UV3	7,5	0,86	15	400	FU	827	2,27	3,3	6,26	2,17	2,17	4,92	1.796,24	Reserve	
13.3	08.01.AT.08.001	Zentrifugenantrieb 1 (Trommelantrieb)	2004	UV3	55	0,88	110,00	400	SD	1.628	4,46	80,0	46,95	48,77	48,77	217,55	79.404,97		
13.3	08.01.AT.08.002	Zentrifugenantrieb 2 (Schneckenantrieb)	2004	UV3	15	0,86	30,00	400	FU	1.694	4,64	12,0	12,51	7,90	7,90	36,66	13.379,47	40Hz	
13.3	08.04.AF.21.001	Trogförderschnecke Schlammverladung	2004	UV3	5,5	0,85	11,00	400	SD	1.210	3,32	8,9	4,53	5,24	5,24	17,37	6.341,83		
13.3	08.09.AM.27.001	Rührwerk Trübwasserbehälter		UV3	2,5	0,83	6,40	400	D	8.735	23,93	5,2	2,58	2,99	2,99	71,56	26.119,51	ausgetauscht, momentan höhere Leistungsaufnahme	
13.3	08.09.AP.01.001	Pumpe 1 Trübwasserbehälter	2004	UV3	5,9	0,85	12	400	FU	1.416	3,88	4,7	4,95	3,09	3,09	12,00	4.380,31	25-50Hz möglich, hauptsächlich 50Hz; 120m³/h abwechselnd	
13.3	08.09.AP.01.002	Pumpe 2 Trübwasserbehälter	2004	UV3	5,9	0,85	12	400	FU	1.417	3,88	4,7	4,95	3,09	3,09	12,01	4.383,41		
13.3	03.09.AP.01.001	Trübwasserpumpe 1	2004	UV3	3,1	0,84	6,6	400	D	318	0,87	5,5	2,69	3,20	3,20	2,79	1.017,86		
13.3	03.09.AP.01.002	Trübwasserpumpe 2	2004	UV3	3,1	0,84	6,6	400	D	318	0,87	5,5	2,69	3,20	3,20	2,79	1.017,86		
13.3	08.06.AF.21.010	Kalkdosiereinrichtung	2004	UV3	0,37	0,72	1,48	400	D	0	0,00		0,52	-	0,52	-	0,00		
13.3	08.06.AF.21.020	Kalkförderschnecke	2004	UV3	1,5	0,83	3,75	400	D	0	0,00		1,51	-	1,51	-	0,00		
13.3	08.12.AB.12.010	Kalksilo Absperrschleuse	2004	UV3	1	0,8	2,50	400	D	0	0,00		0,97	-	0,97	-	0,00		
13.3	08.12.AT.40.010	Kalksilo Rüttler	2004	UV3	1	0,8	2,50	400	D	0	0,00		0,97	-	0,97	-	0,00		
13.3	08.05.AP.33.001	FHM Dosierpumpe 1	2004	UV3	0,75	0,8	2,25	400	FU	1.523	4,17	0,9	0,87	0,59	0,59	2,47	902,17		
13.3	08.05.AP.33.002	FHM Dosierpumpe 2	2004	UV3	0,75	0,8	2,25	400	FU	28	0,08	0,9	0,87	0,59	0,59	0,05	16,59		
13.3	08.05.EG.01.001	FHM Ansetzstation	2004	UV3	3	0,84	6,00	400	D	1.660	4,55		2,44	-	2,44	11,12	4.057,49	52*4*8h	
13.3	08.04.AF.21.002	Verteilerschnecke Schlammverladung	2004	UV3	4	0,84	8,00	400	WS	1.210	3,32	5,0	3,26	2,91	2,91	9,65	3.520,91	parallel Zentrifuge	
13.3	08.04.AF.10.001	Verteilerförderband 1	2004	UV3	2,2	0,83	5,50	400	D	605	1,66	2,9	2,21	1,67	1,67		1.008,91		
13.3	08.04.AF.10.002	Verteilerförderband 2	2004	UV3	2,2	0,83	5,50	400	D	605	1,66	2,9	2,21	1,67	1,67	2,76	1.008,91		
15.		Betriebsgebäude															67.410,48		
15.1		Installation Betriebsgebäude		UV2.2	30				D	1.000	2,74		30,00	-	30,00	82,19	30.000,00		
15.1		Außenbeleuchtung anteilig		UV2.2	10				D	300	0,82		10,00	-	10,00	8,22	3.000,00	Zeit- und dämmerungsgesteuert	
15.1	10.01.AP.01.001	Kellerentwässerung Membranfiltration		UV2.1	0,5	0,72	1,50	400	D	10	0,03		0,52	-	0,52	0,01	5,24		
15.1	10.01.AP.01.002	Kellerentwässerung Membranfiltration		UV2.2	0,5	0,72	1,50	400	D	10	0,03		0,52	-	0,52	0,01	5,24		
15.1		Klimaanlage Schaltwarte		UV2.1	2,4				D	1.000	2,74		2,40	-	2,40	6,58	2.400,00		
15.1		Klimaanlage MH		UV2.1	12				D	2.000	5,48		12,00	-	12,00	65,75	24.000,00		
15.1		Klimaanlage Standort alt		UV9	4				D	2.000	5,48		4,00	-	4,00	21,92	8.000,00	Einstellung 22°C	
16.		Betriebsmittel															128.820,70		
16.1	12.02.AP.01.001	Brunnenpumpe 1		UV2.1	1,5	0,83	3,75	400	D	85			1,51	-	1,51	-	128,31	Trinkwasserversorgung	
16.1	12.02.AP.01.002	Brunnenpumpe 2		UV2.1	1,5	0,83	3,75	400	D	85			1,51	-	1,51	-	128,31		
16.1	12.02.AP.22.011	Druckerhöhungspumpe 1		UV2.1	0,65	0,75	1,60	400	D	950			0,58	-	0,58	-	552,87		
16.1	12.02.AP.22.012	Druckerhöhungspumpe 2		UV2.1	0,65	0,75	1,60	400	D	1.260			0,58	-	0,58	-	733,28		
16.1	12.02.AP.22.010	Spülwasserpumpe		UV2.1	0,5	0,72	1,50	400	D	20			0,52	-	0,52	-	10,48		
16.1	12.02.AN.42.003	Kompressor		UV2.1	0,2	0,5	0,80	400	D	185			0,19	-	0,19	-	35,89		
16.1	12.02.EG.01.010	UV Entkeimung		UV2.1	3				D	2.200			3,00	-	3,00	-	6.600,00		
16.1	12.02.AP.20.010	Chemikalienpumpe (Entkeimung)		UV2.1	0,1				D	140			0,10	-	0,10	-	14,00		
16.2	12.02.AP.22.001	Brauchwasseranlage P1	2004	UV2.1	5,5	0,86	12,00	400	FU	530	1,45		5,00	-	5,00	7,27	2.652,62		7bar, interne Fus
16.2	12.02.AP.22.002	Brauchwasseranlage P2	2004	UV2.1	5,5	0,86	12,00	400	FU	550	1,51		5,00	-	5,00	7,54	2.752,71		
16.2	12.02.AP.22.003	Brauchwasseranlage P3	2004	UV2.1	5,5	0,86	12,00	400	FU	600	1,64		5,00	-	5,00	8,23	3.002,96		
16.2	12.02.AP.22.004	Brauchwasseranlage P4	2004	UV2.1	5,5	0,86	12,00	400	FU	580	1,59		5,00	-	5,00	7,95	2.902,86		
16.2		Brauchwasseranlage II P1	2005	UV2.1	7,5	0,83	16,80	400	D	3.000	8,22		6,76	-	6,76	55,58	20.287,44	nur eine Gesamtanzeige für Betriebsstunden auf PLS;	
16.2	12.02.AP.22.021	Brauchwasseranlage II P2	2005	UV2.1	7,5	0,83	16,80	400	D	3.000	8,22		6,76	-	6,76	55,58	20.287,44		
16.2		Brauchwasseranlage II P3	2005	UV2.1	7,5	0,83	16,80	400	D	3.000	8,22		6,76	-	6,76	55,58	20.287,44		
16.3	12.02.AN.42.001	Kompressor 1 Druckluftez. Cross-Flow-Umschaltung	2004	UV2.1	3,2	0,84	8,10	400	D	6.000	16,44	3,9	3,30	2,27	2,27	37,31	13.618,08	Grund- und Spitzenlastbetrieb; 2,8 - 5 A; 3,9A Mittelwert	
16.3	12.02.AN.42.002	Kompressor 2 Druckluftez. Cross-Flow-Umschaltung	2004	UV2.2	3,2	0,84	8,10	400	D	6.000	16,44	3,9	3,30	2,27	2,27	37,31	13.618,08		
16.3	12.02.AN.42.003	Kompressor 3	2005	UV2.1	3,2	0,84	8,10	400	D	1.250	3,42	3,9	3,30	2,27	2,27	7,77	2.837,10		
16.3	12.02.AN.42.004	Kompressor 4	2005	UV2.2	3,2	0,84	8,10	400	D	3.600	9,86	3,9	3,30	2,27	2,27	22,39	8.170,85		
16.4		Heizung MSE		UV3	5					1.000	2,74		5,00	-	5,00	13,70	5.000,00		
16.4		Heizung UV1																	

		Proj4720 Kläranlage Nordkanal			Verbrauch gemäß MUNLV					Daten aus Betrachtungszeitraum 2007			Leistungsberechnung			Berechnung der elektrischen Arbeit	Berechnung der elektrischen Arbeit	Anmerkungen
	Kennung	Aggregateangaben	Baujahr	Verteilung	Nennleistung	cos phi	Strom	Spannung	Antriebsart	Summe Betriebsstunden	Tagesmittel Betriebsstunden-zähler	Strom aus Messungen	durchschnittl. Leistungsaufnahme errechnet aus Typenschild	Leistungsaufnahme errechnet aus Messungen	maßgebende Leistungsaufnahme	aus Leistungsaufnahme und Betriebsstunden	aus Leistungsaufnahme und Betriebsstunden	
Nr.		Verbraucher			[kW]		[ A ]	[ V ]		[h]	[h/d]	[A]	[kW]	[kW]	[kW]	[kWh/d]	[kWh/a]	
17.		Abluftreinigung															148.390,24	
17.1		Heizung Wasservorlage Abluftbehandlung GKW		UV2.2	3				D	1.000	2,74		3,00	-	3,00	8,22	3.000,00	
17.1		Heizung Pumpenraum Abluftbehandlung GKW		UV2.2	0,5				D	4.000	10,96		0,50	-	0,50	5,48	2.000,00	
17.1	11.01.AN.26.011	Ventilator Abluftbehandlung GKW		UV2.2	22	0,87	48,00	400	FU	8.760	24,00	14,2	20,25	9,35	9,35	224,31	81.872,24	38Hz konstant
17.1	11.01.AN.26.110	Umwälzpumpe Abluftbehandlung GKW		UV2.2	2,2	0,83	4,80	400	D	8.760	24,00		1,93	-	1,93	46,37	16.925,52	
17.1	11.02.EE.40.020	Abluftbehandlungsanlage Standort Alt		UV9	10	0,86	20,00	400	FU	8.760	24,00	6,4	8,34	4,21	4,21	101,10	36.900,16	Gesamtmessung bei 45Hz
17.2	10.04.AN.26.001	Abluftventilator Gebläseraum UG		UV2.1	0,8	0,8	2,40	400	D	1.100	3,01	1,8	0,93	1,00	1,00	3,01	1.097,43	
17.2	10.04.AN.26.002	Abluftventilator Gebläseraum OG		UV2.1	0,36	0,7	1,44	400	D	1.750	4,79	0,5	0,49	0,24	0,24	1,16	424,35	
17.2	10.04.AN.26.005	Abluftventilator Maschinenhaus UG		UV2.2	0,5	0,72	1,50	400	D	1.400	3,84	0,9	0,52	0,45	0,45	1,72	628,53	
17.2	10.04.AN.26.006	Abluftventilator Maschinenhaus UG		UV2.2	0,5	0,72	1,50	400	D	7.500	20,55	0,8	0,52	0,40	0,40	8,20	2.992,98	
17.2	10.04.AN.26.007	Abluftventilator Maschinenhaus OG		UV2.1	0,3	0,7	1,20	400	D	8.760	24,00	0,3	0,41	0,15	0,15	3,49	1.274,51	
17.2	10.04.AN.26.008	Abluftventilator Maschinenhaus OG		UV2.1	0,3	0,7	1,20	400	D	8.760	24,00	0,3	0,41	0,15	0,15	3,49	1.274,51	
<b>Gesamte aufgeführte Verbraucher:</b> EVU Klärwerk: 4.998.222 EVU PW Am Bauhof: 499.348,00 Diesel: 8.749,00 BHKW: Gesamt: 5.506.319 Differenz: -439.394 Abweichung: -7,98%																		

## **ANLAGE 3**

### **Vorhandene Verfahrensschritte nach MUNLV**

### Vorhandene Verfahrensschritte

Abwasser-Behandlung			bekannte Energieverbrauchs-werte (absolut)				nicht bekannte Energieverbrauchswerte Hochrechnung pro EW BSB			
Nr	Verfahren	Spezifikation	Elektrizität [MWh/a]		Wärme [MWh/a]		Elektrizität [kWh/EW BSB]		Wärme [kWh/EW BSB]	
				%		%	Hoch-rechnung	Hilfswerte	Hoch-rechnung	Hilfswerte
<b>1.</b>	<b>Regenüberlaufbecken</b>		<b>3</b>		<b>0</b>					
1,1	Regenüberlaufbecken	Fangbecken	3				0,04	0,20 - 0,60		
<b>2.</b>	<b>Hebewerke</b>		<b>475</b>		<b>0</b>					
2.1	Abwasserhebewerk(e)	div. Pos. möglich (ohne Filtration)	475				7,24	0,50 - 3,00		
<b>3.</b>	<b>Rechen</b>		<b>51</b>		<b>0</b>					
3.1	Rechen		51				0,77	0,10 - 0,20		allf.Frostsch.
<b>4.</b>	<b>Sandfang</b>		<b>86</b>		<b>0</b>					
4.1	Längssandfang	belüftet	86				1,30	0,50 - 1,00		
4.2	Rundsandfang	Rührwerk						0,30 - 0,60		
<b>5.</b>	<b>Vorklärung</b>		<b>0</b>		<b>0</b>					
5.1	Vorklärung	einschl. Primär-Schlamm-pumpwerk						0,10 - 0,20		
<b>6.</b>	<b>Biolog. Stufe / Belebung</b>		<b>1.253</b>		<b>0</b>					
6.1	Belüftung/Gebälse	Nitrifikation	611				9,30	13,50 - 27,00		
6.2	Umwälzung unbelüfteter Teil	Nitrifikation	579				8,82	1,70 - 3,40		
6.3	Rezirkulation	Nitrifikation						0,50 - 1,00		
6.4	Rücklaufschlamm-pumpwerk	Nitrifikation	63				0,96	0,60 - 1,20		allf.Frostsch.
6.5	Variante Belebung	nur C-Elimination insgesamt						9,00 - 18,00		
6.6	Variante Belebung	gemeinsame aerobe Stabilisierung						28,00 - 56,00		
6.7	Variante Tropfkörper	Nitrifikation						7,50 - 15,00		
6.8	Variante Scheibentauchkörper	Nitrifikation						2,20 - 4,40		
<b>7.</b>	<b>Nachklärung</b>		<b>2.659</b>		<b>0</b>					
7.1	Nachklärung	einschl. Überschuss-Schlamm-pumpwerk	2.659				40,47	0,15 - 0,30		
<b>8.</b>	<b>Fällmitteldosierung</b>		<b>7</b>		<b>0</b>					
8.1	Fällmitteldosierung	Simultanfällung	7				0,11	0,04 - 0,08		
<b>9.</b>	<b>Filtration</b>		<b>0</b>		<b>0</b>					
9.1	Filtration einschl. Hebewerk	abwärts durchströmter Flockungsfilter						2,00 - 4,00		allf.Frostsch.
9.2		Kontinuierlich gespülte Upflow-Filter						1,60 - 3,20		allf.Frostsch.
9.3		Filtertrommelsysteme als Raumfilter						0,80 - 1,60		allf.Frostsch.
9.4		Tuchfiltration						0,50 - 1,00		allf.Frostsch.
9.5		Mikrosiebung						2,00 - 4,00		allf.Frostsch.
9.6	Biofiltration mit Festbettreaktoren							20,00 - 40,00		
9.7	Festbettreaktor mit schwerem Filtermat.							20,00 - 40,00		

<b>Schlamm-Behandlung</b>			bekannte Energie- verbrauchswerte (absolut)		nicht bekannte Energieverbrauchswerte Hochrechnung pro m3 Schlamm			
Nr	Verfahren	Spezifikation	Elektrizität [MWh/a]	Wärme [MWh/a]	Elektrizität [kWh/m3]		Wärme [kWh/m3]	
					Hoch- rechnung	Hilfswerte	Hoch- rechnung	Hilfswerte
<b>10.</b>	<b>Siebung</b>		<b>0</b>	<b>0</b>				
10.1	Grobstoffentfernung	Schlammsiebung				0,10 - 0,20		red. beheizt
<b>11.</b>	<b>Voreindickung</b>		<b>0</b>	<b>0</b>				
11.1	Voreindickung Rohschlamm	statisch				0,10 - 0,20		
11.2	Rohschlamm	Siebtrommel				0,30 - 0,60		red. beheizt
11.3	Rohschlamm	Presse				0,50 - 1,00		red. beheizt
11.4	Überschuss-Schlamm	Siebtrommel				0,30 - 0,60		red. beheizt
11.5	Überschuss-Schlamm	Dekanter				0,60 - 1,20		
11.6	Überschuss-Schlamm	Flotation				1,00 - 2,00		red. beheizt
<b>12.</b>	<b>Stabilisierung</b>		<b>0</b>	<b>0</b>				
12.1	Stabilisierung	anaerob mesophil				1,90 - 3,80		40,00 - 80,00
12.2		aerob-thermophil				7,00 - 15,00		20,00 - 40,00
12.3		anaerob-psychrophil				1,00 - 2,00		
<b>13.</b>	<b>Entwässerung</b>		<b>188</b>	<b>0</b>				
13.1	Entwässerung	statische Nacheindickung	33		0,27	0,00 - 0,40		
13.2		Dekanter				1,00 - 2,00		red. beheizt
13.3		Hochentwässerungszentrifuge	155		3,78	1,30 - 2,60		red. beheizt
13.4		Siebbandpresse				0,80 - 1,60		red. beheizt
13.5		Kammerfilterpresse				1,60 - 3,20		red. beheizt
13.6		Membranfilterpresse				2,50 - 5,00		red. beheizt
<b>14.</b>	<b>Trocknung</b>		<b>0</b>	<b>0</b>				
14.1	Trocknung	thermisch				20,00 - 50,00		600,00
14.2	Kompostierung					4,00 - 12,00		
14.3	Zwischenlager					0,00 - 1,50		
14.4	Schlammumpwerke	Faulschlamm				zugeordnet		allf. Frostsch.
14.5								

<b>Diverse Infrastruktur</b>			bekannte Energieverbrauchs- werte (absolut)		nicht bekannte Energieverbrauchswerte Hochrechnung pro EW BSB			
Nr	Verfahren	Spezifikation	Elektrizität	Wärme	Elektrizität [kWh/EW BSB]		Wärme [kWh/EW BSB]	
			[MWh/a]	[MWh/a]	Hoch- rechnung	Hilfswerte	Hoch- rechnung	Hilfswerte
<b>15.</b>	<b>Betriebsgebäude</b>		<b>67</b>	<b>51</b>				
15.1	Licht, Labor, Werkstatt		67	51	1,03	0,18 - 0,36	0,78	2,00 - 5,00
15.2								
15.3								
<b>16.</b>	<b>Betriebsmittel</b>		<b>129</b>	<b>0</b>				
16.1	Trinkwasser	ab Netz	8		0,12	extern		
16.2	Brauchwasser	internes Netz	72		1,10	0,26 - 0,52		
16.3	Druckluft	internes Netz	38		0,58	0,06 - 0,20		
16.4	Heizung		10		0,16	0,37 - 0,74		
16.5								
16.6								
16.7								
<b>17.</b>	<b>Abluftreinigung</b>		<b>148</b>	<b>0</b>				
17.1	Abluftreinigung		141		2,14	0,58 - 1,16		
17.2	Lüftungsanlagen		8		0,12	0,15 - 0,30		
17.3								
<b>18.</b>	<b>Diverse</b>		<b>0</b>	<b>0</b>				
18.1	Geländeentwässerung							
18.2								
18.3								

## **ANLAGE 4**

### **Ausdruck der Feinanalyse nach MUNLV**

<b>Objekt</b>		
Objekt	<b>Gruppenklärwerk Nordkanal</b>	
Standort / Adresse	<b>Schiefbahner Str. 66, 41564 Kaarst</b>	
Baujahr	2004	
Ausbau / Erweiterung realisiert		
geplante Energiespar- maßnahmen		
Kontaktpersonen Kläranlage	Herr Janot	Tel.: 02271 88 - 1181

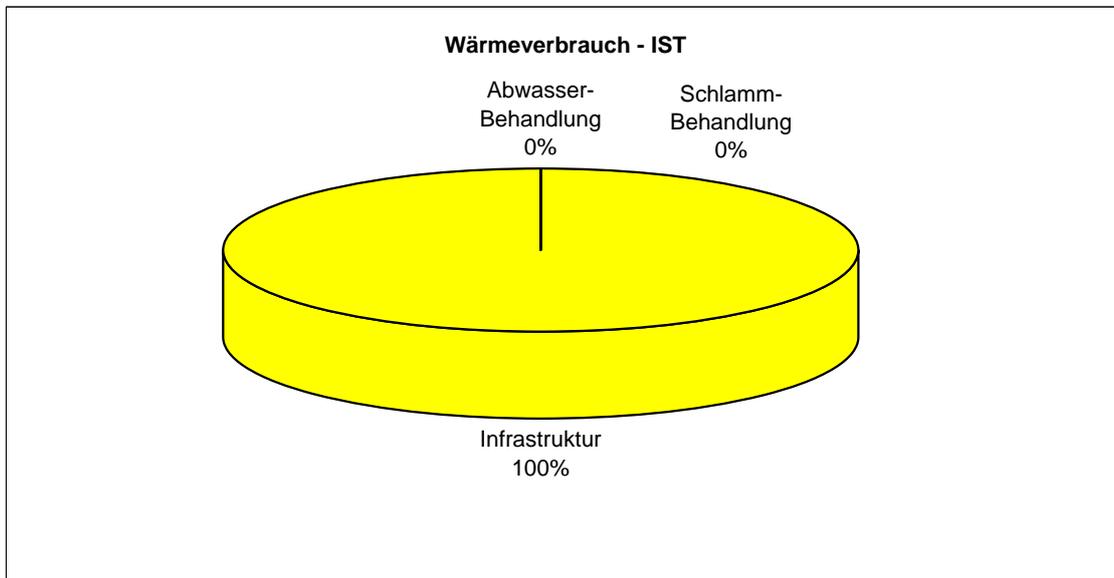
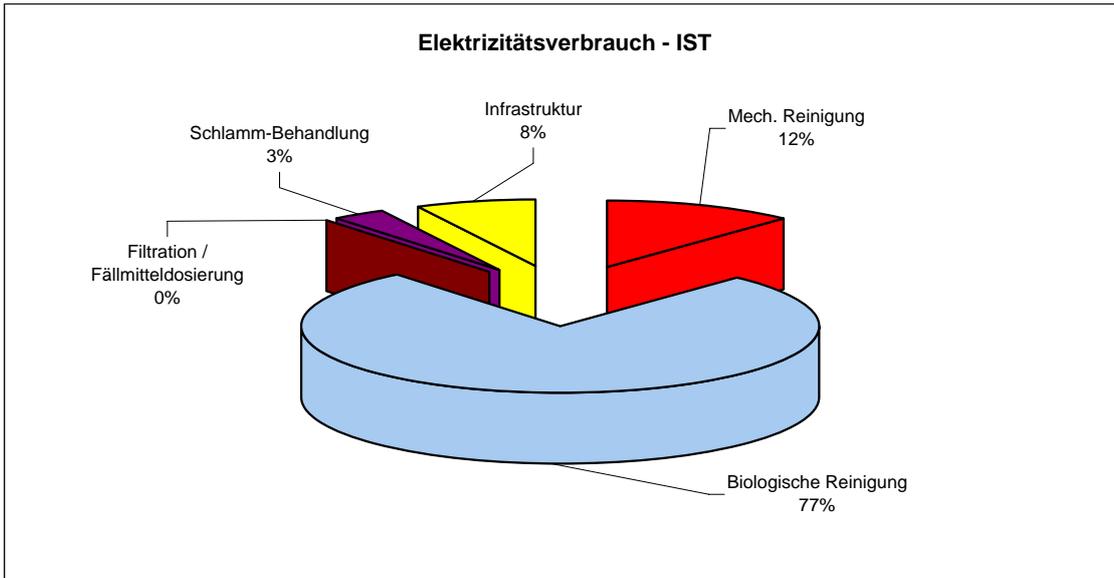
<b>Anlagedaten</b>		
Betriebsjahr	2007	
Einwohnerwert Ausbau (85%-Wert)	80.000	[EW]
BSB5 (aktuelle Frachtbelastung Zulauf KA)	1.439	[t/a]
Einwohnerwert aktuell Zulauf KA (60 g BSB5/EW*d)	65.700	[EW BSB]
Angeschlossene Einwohner	57.000	[Einw.]
C-Abbau (Schlammalter ca. 5 Tage)	Nein	
Nitrifikation (Schlammalter ca. 13 Tage)	Ja	
Nitrifikation (Schlammalter > 25 Tage)	Nein	
Filtration	Ja	
Hebwerke (Höhendifferenz aller Einlauf- und Zwischenhebwerke exkl. Filtration)	3	[m]
Abwasseranfall	5.519.586	[m3/a]
Rohschlammanfall	124.464	[m3/a]
Trockensubstanz im Rohschlamm	1.494	[t TR/a]
Organischer Anteil Schlammeintrag in Faulung	821	[t oTR/a]
Faulgasanfall gesamt [Normkubikmeter]	0	[Nm3/a]
Faulgasnutzung Kessel	0	[Nm3/a]
Faulgasnutzung BHKW	0	[Nm3/a]
Faulgasverkauf	0	[Nm3/a]
Abfackelung Faulgas	0	[Nm3/a]
Wärmeprod. intern genutzt (Kessel, BHKW)	0	[MWh/a]
Einkauf Wärme-Energie (z.B. Heizöl)	60	[MWh/a]
Endenergieverbrauch Wärme gesamt	60	[MWh/a]
Elektrizitätsproduktion intern (BHKW)	0	[MWh/a]
Einkauf Elektrizität (Netz EVU)	5.506	[MWh/a]
Elektrizitätsverbrauch Belebung	1.253	[MWh/a]
Endenergieverbrauch Elektrizität gesamt	5.506	[MWh/a]

<b>Energieverbrauch</b>	Eigenproduktion	Einkauf	Gesamt
Elektrizität	0 MWh/a	5.506 MWh/a	5.506 MWh/a
Wärme	0 MWh/a	60 MWh/a	60 MWh/a
Endenergieverbrauch gesamt	0 MWh/a	5.566 MWh/a	5.566 MWh/a

<b>Energieverbrauchs-kosten</b>	effektive Energiepreise	Energieverbrauchs-kosten	Anteil
Elektrizität (inkl. Leistung etc.)	10,5 Cent/kWh	579.709 €/a	99%
Wärme	5,4 Cent/kWh	3.249 €/a	1%
Endenergiekosten gesamt		582.958 €/a	100%

### Energieverbrauch IST-Zustand

	IST-Zustand			
	Elektrizität [MWh/a]	%	Wärme [MWh/a]	%
<b>Abwasser-Behandlung</b>		<b>82</b>		<b>0</b>
1. Regenüberlaufbecken	3		0	
2. Hebewerke	475		0	
3. Rechen	51		0	
4. Sandfang	86		0	
5. Vorklärung	0		0	
Mech. Reinigung		11		0
6. Biolog. Stufe / Belebung	1.253		0	
7. Nachklärung	2.659		0	
Biologische Reinigung		71		0
8. Fällmitteldosierung	7		0	
9. Filtration	0		0	
Filtration / Fällmitteldosierung		0		0
<b>Schlamm-Behandlung</b>		<b>3</b>		<b>0</b>
10. Siebung	0		0	
11. Voreindickung	0		0	
12. Stabilisierung	0		0	
13. Entwässerung	188		0	
14. Trocknung	0		0	
<b>Infrastruktur</b>		<b>7</b>		<b>86</b>
15. Betriebsgebäude	67		51	
16. Betriebsmittel	129		0	
17. Abluftreinigung	148		0	
18. Diverse	0		0	
Differenz zu gemessenem Energieverbrauch resp. nicht zugeordnet	439		9	
<b>Gesamter Endenergiever- brauch (gemessen)</b>	<b>5.506</b>		<b>60</b>	
<b>Gesamte Eigenerzeugung genutzt</b>	<b>0</b>		<b>0</b>	
<b>Gesamter Fremdenergiebezug</b>	<b>5.506</b>		<b>60</b>	



### Sofortmaßnahmen

Nr.	Maßnahme	Nutzungsdauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahreskosten [€/a]	Jahresnutzen [€/a]	K / N [-]
			Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
S1	Betrieb SF-Gebläse auf kleiner Polstufe	12,5	0	0	41.440		0	4.363	0,00
<b>Sofortmaßnahmen</b>			0	0	41.440		0	4.363	0,00

### Kurzfristige Maßnahmen

Nr.	Maßnahme	Nutzungsdauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahreskosten [€/a]	Jahresnutzen [€/a]	K / N [-]
			Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
K1	Anpassung CF-Gebläse	12,5	20.000	20.000	362.153		2.453	38.128	0,06
K2	Relaxation statt Rückspülung	12,5	5.000	5.000	147.000		613	15.476	0,04
K3	Optimierung der Deni- und Vario-Rührwerke	12,5	16.000	16.000	53.413		1.962	5.623	0,35
K4	Gleitdruckregelung	12,5	10.000	10.000	15.100		1.226	1.590	0,77
K5	Ersatz Sandfanggebläse	12,5	6.000	6.000	14.000		736	1.474	0,50
<b>Kurzfristige Maßnahmen</b>			57.000	57.000	591.666		6.991	62.291	0,11

### Abhängige Maßnahmen

Nr.	Maßnahme	Nutzungsdauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahreskosten [€/a]	Jahresnutzen [€/a]	K / N [-]
			Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
A1	Außerbetriebnahme Sandfanggerinne	30	1.500	1.500	13.973		121	1.471	0,08
<b>Abhängige Maßnahmen</b>			1.500	1.500	13.973		121	1.471	0,08

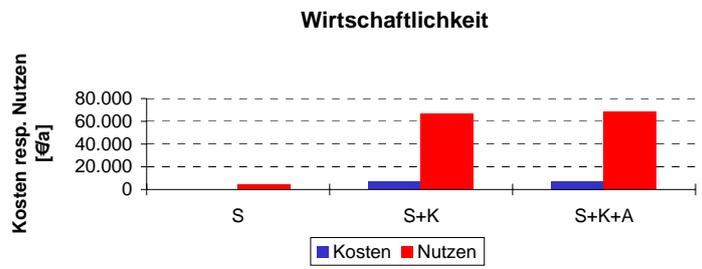
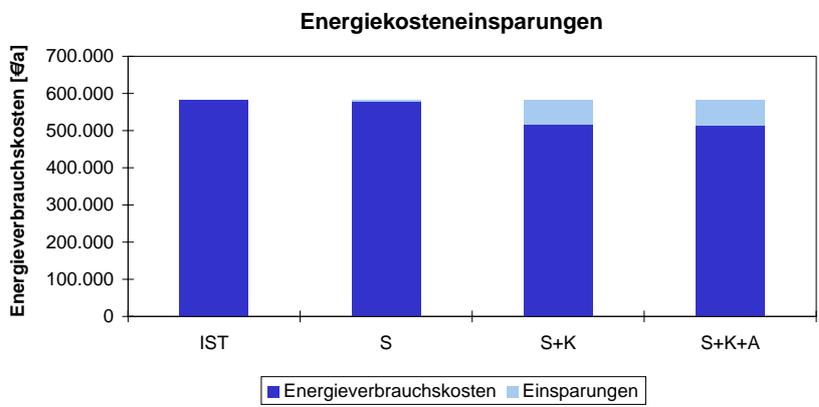
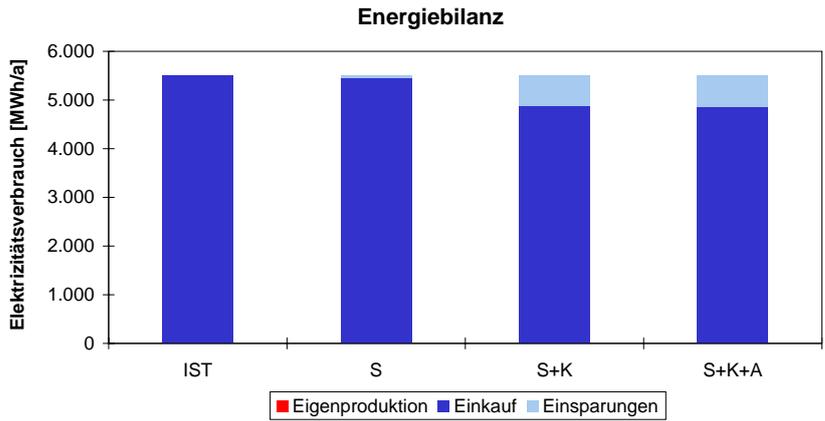
Maßnahmenpaket	Nutzungsdauer [a]	Investitionen		Energiereduktion Sparen + genutzte Eigenprod.		Jahreskosten [€/a]	Jahresnutzen [€/a]	K / N [-]
		Gesamt [€]	Energie [€]	Elektrizität [kWh/a]	Wärme [kWh/a]			
Maßnahmen S		0	0	41.440		0	4.363	0,00
Maßnahmen S+K		57.000	57.000	633.106		6.991	66.654	0,10
Maßnahmen S+K+A		58.500	58.500	647.079		7.112	68.125	0,10

Energiebilanz			IST-Zustand	nach Realisierung der Maßnahmenpakete		
				S	S+K	S+K+A
Elektrizität	-Verbrauch gesamt	[kWh/a]	5.506.319	5.464.879	4.873.213	4.859.240
	-Eigenprod. genutzt	[kWh/a]	0	0	0	0
	-Einkauf	[kWh/a]	5.506.319	5.464.879	4.873.213	4.859.240
Wärme	-Verbrauch gesamt	[kWh/a]	59.959	59.959	59.959	59.959
	-Eigenprod. genutzt	[kWh/a]	0	0	0	0
	-Einkauf	[kWh/a]	59.959	59.959	59.959	59.959

Energieverbrauchskosten			IST-Zustand	nach Realisierung der Maßnahmenpakete		
				S	S+K	S+K+A
Energieverbrauchskosten gesamt	[€/a]	582.958	578.595	516.304	514.833	
in % IST	%	100%	99%	89%	88%	
Einkauf Elektrizität	[€/a]	579.709	575.346	513.055	511.584	
Einkauf Brennstoff	[€/a]	3.249	3.249	3.249	3.249	

Investitionen und Wirtschaftlichkeit			IST-Zustand	nach Realisierung der Maßnahmenpakete		
				S	S+K	S+K+A
Gesamt - Investitionen	[€]		0	57.000	58.500	
Energie - Investitionen	[€]		0	57.000	58.500	
Jahreskosten	[€/a]		0	6.991	7.112	
Jahresnutzen	[€/a]		4.363	66.654	68.125	
K / N	[-]		0,00	0,10	0,10	

Energienachweis			IST-Zustand	nach Realisierung der Maßnahmenpakete			Richtwert	Idealwert
				S	S+K	S+K+A		
gesamter spez. Elektrizitätsverbrauch		84 kWh/EW a	83 kWh/EW a	74 kWh/EW a	74 kWh/EW a	39 kWh/EW a	25 kWh/EW a	
spez. Elektrizitätsverbrauch Belebung		19 kWh/EW a	19 kWh/EW a	18 kWh/EW a	18 kWh/EW a	23 kWh/EW a	18 kWh/EW a	
Grad der gesamten Faulgasnutzung		0 %	0 %	0 %	0 %	98 %	99 %	
Grad der Faulgasumwandlung in Kraft/Elektrizität		0 %	0 %	0 %	0 %	30 %	31 %	
spez. Faulgasproduktion pro kg oTR eingetragen		0 l/kg oTR	0 l/kg oTR	0 l/kg oTR	0 l/kg oTR	450 l/kg oTR	475 l/kg oTR	
Eigenversorgungsgrad	Wärme	0 %	0 %	0 %	0 %	97 %	98 %	
	Elektrizität	0 %	0%	0 %	0 %	50 %	68 %	



# **ANLAGE 5**

## **Bemessung nach HSG**

## Grundlagen

<b><u>Einwohnerwerte</u></b>		<b>Bemessung</b>
Einwohnerwerte angeschlossen an KA	EW	80.000 [EW]
<b><u>Wassermengen</u></b>		
Schmutzwasseranfall	qs	140 [l/(EW·d)]
Fremdwasseranfall	qf	35,0 [l/(EW·d)]
Schmutzwasserabfluss im Jahresmittel	Q <sub>S,aM</sub>	11200,00 [m³/d]
Fremdwasserabfluss im Jahresmittel	Q <sub>F,aM</sub>	2800,00 [m³/d]
Schmutzwasserabfluss im Jahresmittel	Q <sub>S,aM</sub>	129,63 [l/s]
Fremdwasserabfluss im Jahresmittel	Q <sub>F,aM</sub>	32,41 [l/s]
Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	Q <sub>T,aM</sub>	162,04 [l/s]
täglicher Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	Q <sub>T,d,aM</sub>	14000 [m³/d]
maximaler Trockenwetterabfluss als 2-Stunden-Mittel	Q <sub>T,2h,max</sub>	254,63 [l/s]
maximaler Mischwasserabfluss	Q <sub>M</sub>	476,85 [l/s]
<b><u>Schmutzfrachten im Zulauf zur Kläranlage</u></b>		
einwohnerspezifische BSB <sub>5</sub> -Fracht	B <sub>BSB,spez</sub>	60 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische CSB-Fracht	B <sub>CSB,spez</sub>	120 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische TS-Fracht	B <sub>TS,spez</sub>	70 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische TKN-Fracht	B <sub>TKN,spez</sub>	11 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische P-Fracht	B <sub>P,spez</sub>	1,8 [g/(EW·d)]
BSB <sub>5</sub> -Fracht im Zulauf zur KA	B <sub>d,BSB,Z</sub>	4800 [kg/d]
CSB-Fracht im Zulauf zur KA	B <sub>d,CSB,Z</sub>	9600 [kg/d]
TS-Fracht im Zulauf zur KA	B <sub>d,TS,Z</sub>	5600 [kg/d]
TKN-Fracht im Zulauf zur KA	B <sub>d,TKN,Z</sub>	880 [kg/d]
P-Fracht im Zulauf zur KA	B <sub>d,P,Z</sub>	144 [kg/d]

## Bemessung des Belebungsvolumens nach HSG-Ansatz

<b><u>Wassermengen</u></b>		
täglicher Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	$Q_{T,d,aM}$	14.000 [m <sup>3</sup> /d]
maximaler Trockenwetterabfluss als 2-Stunden-Mittel	$Q_{T,2h,max}$	916,667 [m <sup>3</sup> /h]
maximaler Mischwasserabfluss nach Ausgleichsbecken	$Q_M$	1716,67 [m <sup>3</sup> /h]
<b><u>Schmutzfrachten im Zulauf zur Belebung</u></b>		
BSB <sub>5</sub> -Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,BSB,ZB}$	4.800 [kg/d]
CSB-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,CSB,ZB}$	9.600 [kg/d]
TS-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,TS,ZB}$	5.600 [kg/d]
TKN-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,TKN,ZB}$	880 [kg/d]
NH <sub>4</sub> -N-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,NH_4,ZB}$	600 [kg/d]
org. N-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,orgN,ZB}$	280 [kg/d]
P-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,P,ZB}$	144 [kg/d]
<b><u>Konzentrationen im Zulauf zur Belebung</u></b>		
BSB <sub>5</sub> -Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{BSB,ZB}$	342,9 [mg/l]
CSB-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{CSB,ZB}$	685,7 [mg/l]
TS-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$X_{TS,ZB}$	400,0 [mg/l]
TKN-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{TKN,ZB}$	62,9 [mg/l]
NH <sub>4</sub> -N-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$S_{NH_4,ZB}$	42,9 [mg/l]
org. N-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$S_{orgN,ZB}$	20,0 [mg/l]
P-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{P,ZB}$	10,3 [mg/l]
<b><u>Ablaufkonzentrationen und Überwachungswerte</u></b>		
Überwachungswert anorg. N	$S_{anorgN,ÜW}$	18,0 [mg/l]
Überwachungswert NH <sub>4</sub> -N	$S_{NH_4,ÜW}$	7,0 [mg/l]
Überwachungswert P <sub>ges</sub>	$C_{P,ÜW}$	1,5 [mg/l]
mittlerer Ablaufwert org. N	$C_{orgN,e}$	0,0 [mg/l]
mittlerer Ablaufwert NH <sub>4</sub> -N	$S_{NH_4,e}$	1,00 [mg/l]
mittlerer Ablaufwert NO <sub>3</sub> -N	$S_{NO_3,e}$	11,00 [mg/l]
Bemessungsspitzenwert NH <sub>4</sub> -N	$S_{NH_4,e,Sp}$	5,00 [mg/l]

## Bemessung des Belebungsvolumens nach HSG-Ansatz

<b><u>weitere Eingabedaten</u></b>		
TS-Gehalt im Ablauf der Belebung	$TS_R$	10,00 [g/l]
biol. TS-Gehalt im Ablauf der Belebung	$TS_{R,bio}$	8,77 [g/l]
Temperatur	$T$	12 [°C]
Rücklösefaktor	$rX$	0,00 [-]
Schwankungsfaktor	$S$	1,70 [-]
<b><u>kinetische Parameter</u></b>		
Maximale Wachstumsrate	$\mu_{max}$	0,520 [1/d]
Halbwertkonzentration für max. $\mu$	$K_n$	0,700 [mg/l]
Sterberate der Autotrophen	$b_A$	0,050 [1/d]
Sterberate der Heterotrophen	$b_H$	0,170 [1/d]
Temperaturfaktor autotrophes Wachstum	$f_{T,A}$	0,745 [-]
Temperaturfaktor autotrophe Sterberate	$f_{T,bA}$	0,772 [-]
Temperaturfaktor heterotrophe Sterberate	$f_{T,bH}$	0,809 [-]
Ertragskoeffizient autotrophe Biomasse	$Y_A$	0,150 [-]
Ertragskoeffizient heterotrophe Biomasse	$Y_H$	0,750 [-]
Verlangsamung der Atmung im anoxischen Bereich	$f_d$	0,750 [-]
<b><u>stöchiometrische Parameter</u></b>		
Anteil der nichtabbaubaren Feststoffe	$f_p$	0,600 [-]
Anteil N an der Biomasse ( $X_H + X_A$ )	$B$	0,120 [-]
Anteil N am inerten Material ( $X_I$ )	$i_I$	0,010 [-]
inertes Anteil aus Biomassenerfall	$f_I$	0,200 [-]
Anteil P an der Biomasse ( $X_H + X_A$ )	$i_P$	0,030 [-]
<b><u>sonstige Parameter</u></b>		
Sicherheitsfaktor	$f'$	1,250 [-]
Substratatumung (in kg O <sub>2</sub> / kg BSB <sub>5,el.</sub> )	$f_{OV,S}$	0,560 [kg/kg]
endogene Atmungsrate (in kg O <sub>2</sub> / (kg oTS · d))	$f_{OV,e}$	0,200 [kg/(kg·d)]
Abbaugrad des BSB <sub>5</sub> im Belebungsbecken	$\eta$	0,950 [-]

## Bemessung des Belebungsvolumens nach HSG-Ansatz

<b><u>Berechnung des aeroben Schlammalters</u></b>		
erforderliches aerobes Schlammalter	$t_{TS,A}$	15,378 [d]
<b><u>iterative Berechnung des <math>V_N/V_D</math>-Verhältnisses</u></b>		
Berücksichtigung Atmungserhöhungsfaktor		nein
$V_N/V$ -Verhältnis	$V_N/V$	0,62 [-]
$V_D/V$ -Verhältnis geschätzt	$V_D/V_g$	0,3849 [-]
$V_D/V$ -Verhältnis berechnet	$V_D/V$	0,3849 [-]
Vorgabe Rückführrate	$RF_V$	3,7168 [-]
erforderliche Rückführrate	RF	3,7168 [-]
Korrekturfaktor für die anoxische Atmung	a	1,00 [-]
zu denitrifizierende Stickstoffkonzentration	$N_{d,m}^*$	40,88 [mg/l]
Hilfsgröße $P_I$	$P_I$	2,40 [mg/l]
Hilfsgröße $P_H$	$P_H$	6,98 [mg/l]
Hilfsgröße $P_A$	$P_A$	0,011 [-]
in ÜS inkorporierte Stickstoffkonzentration	$N_{ÜS}$	9,97 [mg/l]
zu denitrifizierende Stickstoffkonzentration	$N_{d,m}^{**}$	40,88 [mg/l]
<b><u>Berechnung des gesamten Schlammalters</u></b>		
erforderliches gesamtes Schlammalter	$t_{TS,G}$	25,000 [d]
<b><u>P-Fällung</u></b>		
P-Fällung vorgesehen		Ja
inkorporierter Phosphor	$P_{ink}$	1,80 [mg/l]
zu fällender Phosphor	$P_{fäll}$	6,99 [mg/l]
Molverhältnis	$\beta$	1,500 [-]
erforderliches Fällmittel (Eisen(II) oder Eisen(III))	Fe	18,905 [mg/l]
<b><u>Berechnung der Überschussschlammproduktion</u></b>		
biol. Überschussschlammproduktion	$\dot{U}_{S,R}$	0,35 [kg/(m <sup>3</sup> *d)]
Heterotrophe Biomasse	$X_H$	1,427 [kg/m <sup>3</sup> ]
Autotrophe Biomasse	$X_A$	0,127 [kg/m <sup>3</sup> ]
Inerte Biomasse	$X_I$	7,221 [kg/m <sup>3</sup> ]
Fällungsprodukte	$X_F$	1,226 [kg/m <sup>3</sup> ]

## Bemessung des Belebungsvolumens nach HSG-Ansatz

<b><u>Berechnung der Beckenvolumina</u></b>		
zu nitrifizierende Stickstoffkonzentration	$N_{n,m}$	52,88 [mg/l]
Hilfsgröße P	P	338,33 [g/m <sup>3</sup> ]
Raumbeschickung	$q_R$	1,037 [m <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> *d)]
erforderliches Gesamtvolumen der Belebung	V	13.496,0 [m <sup>3</sup> ]
erforderliches aerobes Volumen der Belebung	$V_N$	8.302 [m <sup>3</sup> ]
erforderliches anoxisches Volumen der Belebung	$V_D$	5.195 [m <sup>3</sup> ]

### Ermittlung des Sauerstoffbedarfs nach ATV-DVWK-A131<sub>2000</sub> bei 20 °C

<b><u>Zulaufmengen</u></b>		
Tageswassermenge	$Q_d$	14.000 m <sup>3</sup> /d
<b><u>Zulaufmengen zur Belebung</u></b>		
CSB	$B_{d,CSB,ZB}$	9.600 kg/d
BSB <sub>5</sub>	$B_{d,BSB,ZB}$	4.800 kg/d
TKN	$B_{d,TKN,ZB}$	880 kg/d
NO <sub>3</sub> -N	$B_{d,NO3,ZB}$	0 kg/d
P <sub>ges.</sub>	$B_{d,P,ZB}$	144 kg/d
TS <sub>0</sub>	$B_{d,TS,ZB}$	5.600 kg/d
<b><u>Zulaufkonzentrationen zur Belebung (inkl. Rückbelastung)</u></b>		
CSB	$C_{CSB,ZB}$	685,7 mg/l
BSB <sub>5</sub>	$C_{BSB,ZB}$	342,9 mg/l
TKN	$C_{TKN,ZB}$	62,9 mg/l
NO <sub>3</sub> -N	$S_{NO3,ZB}$	0,0 mg/l
Gesamtstickstoff im Zulauf BB	$C_{N,ZB}$	62,9 mg/l
P <sub>ges.</sub>	$C_{P,ZB}$	10,3 mg/l
TS <sub>0</sub>	$X_{TS,ZB}$	400,0 mg/l
<b><u>Überwachungswerte</u></b>		
CSB	$C_{CSB,AN}$	60,0 mg/l
BSB <sub>5</sub>	$C_{BSB,AN}$	20,0 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	$C_{NH4-N,AN}$	7,0 mg/l
N <sub>ges. anorg.-N</sub>	$C_{Nges,AN}$	18,0 mg/l
P <sub>ges.</sub>	$C_{P,AN}$	1,5 mg/l
<b><u>Mittlere Ablaufwerte</u></b>		
org. Stickstoff im Ablauf BB	$S_{orgN,AN}$	0,0 mg/l
Ammoniumstickstoff im Ablauf BB	$S_{NH4,AN}$	1,0 mg/l
Nitratstickstoff im Ablauf BB	$S_{NO3,AN}$	11,0 mg/l

### Ermittlung des Sauerstoffbedarfs nach ATV-DVWK-A131<sub>2000</sub> bei 20 °C

<b><u>Sauerstoffbedarf (nach BSB)</u></b>		
Schlammalter	$t_{TS,Bem}$	25,0 d
$C_{CSB}/C_{BSB5}$		2,00 g/g
Stoßfaktor C	$f_c$	1,10 ---
Stoßfaktor N	$f_N$	1,50 ---
angestrebter Sauerstoffgehalt	$C_x$	2,00 mg/l
Nitrat im Zulauf	$S_{NO3,ZB}$	0,0 mg/l
Nitrat im Ablauf	$S_{NO3,AN}$	11,0 mg/l
in Biomasse eingebaute N-Fracht (BSB)	$X_{org,N,BM}$	10,0 mg/l
zu denitrifizierende Nitratkonzentration	$S_{NO3,D}$	40,88 mg/l
zu nitrifizierende Ammoniumkonzentration	$S_{NH4,N}$	51,88 mg/l
Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation	$OV_{d,N}$	3.123 kgO <sub>2</sub> /d
Sauerstoffgewinn durch Denitrifikation	$OV_{d,D}$	1.660 kgO <sub>2</sub> /d
Temperatur	T	20,00 °C
Standardsättigungskonzentration für T	$C_{SS,T}$	9,10 mg/l
Sauerstoffsättigungskonzentration für $t_E$	$C_S$	10,41 mg/l
Temperaturfaktor	$F_T$	1,42 -
Kohlenstoffatmung	$OV_{d,C,Abb.}$	2.688 kgO <sub>2</sub> /d
endogene Atmung	$OV_{d,C,end.}$	3.632 kgO <sub>2</sub> /d
Sauerstoffverbrauch für C-Elimination	$OV_{d,C}$	6.320 kgO <sub>2</sub> /d
Spezifischer Sauerstoffverbrauch	$OV_{C,BSB}$	1,32 kgO <sub>2</sub> /kgBSB
Kohlenstoffstoß ( $f_N=1, f_C=1,10$ )	$OV_h$	344 kgO <sub>2</sub> /h
Stickstoffstoß ( $f_C=1, f_N=1,50$ )	$OV_h$	389 kgO <sub>2</sub> /h
max. erforderliche Sauerstoffzufuhr	$erf.\alpha OC_h$	482 kgO <sub>2</sub> /h
mittl. tägl. Sauerstoffzufuhr (C+N-DN)	$\alpha OC_d$	9.633 kgO <sub>2</sub> /d
<b><u>Luftbedarf</u></b>		
mittlere Einblastiefe	$t_E$	3,00 m
Grenzflächenfaktor	$\alpha$	0,65 -
spez. Sauerstoffzufuhr	$OC_{L,h}$	18,00 g/Nm <sup>3</sup> /m
max. erforderliche Sauerstoffzufuhr in Reinwasser	$erf.O C_h$	741,4 kgO <sub>2</sub> /h
Sauerstoffzufuhr	$OC_R$	54 g/Nm <sup>3</sup>
maximaler Luftbedarf	$Q_{Luft}$	13.730 Nm <sup>3</sup> /h
maximaler Luftbedarf intermittierend	$Q_{Luft}$	22.322 Nm <sup>3</sup> /h

## Bemessung der erforderlichen Membranfläche

<b><u>Wassermengen</u></b>		
täglicher Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	$Q_{T,d,aM}$	14.000 [m <sup>3</sup> /d]
maximaler Trockenwetterabfluss als 2-Stunden-Mittel	$Q_{T,2h,max}$	254,63 [l/s]
maximaler Mischwasserabfluss nach Ausgleichsbecken	$Q_M$	476,85 [l/s]
<b><u>Eingabedaten</u></b>		
Bemessungsfluss bei 10 °C (netto)	$V_{F,netto}$	20,0 [l/(m <sup>2</sup> ·h)]
Zuschlag für Reinigung etc. (für Brutto-Fläche)	F	1,00 [-]
Packungsdichte Module im eingebauten Zustand	$V_{Pack}$	11 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
spez. Luftbedarf Cross-Flow	$Q_{L,CF,s}$	0,55 [Nm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)]
<b><u>Rezirkulation und TS-Gehalt</u></b>		
TS-Gehalt Belebung	$TS_R$	10,00 [g/l]
Rezirkulationsverhältnis	RZ	6 [-]
TS-Gehalt Membranbecken	$TS_{MBR}$	11,67 [g/l]
<b><u>Bemessung Membran</u></b>		
erforderliche Membranfläche	$A_M$	85.833 [m <sup>2</sup> ]
erforderliches Volumen Membrantank	$V_M$	7688 [m <sup>3</sup> ]
Luftbedarf Cross-Flow	$Q_{L,CF}$	47.087 [Nm <sup>3</sup> /h]

## Grundlagen Mischwasser

<b><u>Einwohnerwerte</u></b>		<b>Bemessung</b>
Einwohnerwerte angeschlossen an KA	EW	80.000 [EW]
<b><u>Wassermengen</u></b>		
Schmutzwasseranfall	$q_s$	140 [l/(EW·d)]
Fremdwasseranfall	$q_f$	35,0 [l/(EW·d)]
Niederschlagswasser	$q_r$	70,0 [l/(EW·d)]
Schmutzwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{S,aM}$	11200,00 [m <sup>3</sup> /d]
Fremdwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{F,aM}$	2800,00 [m <sup>3</sup> /d]
Regenwasserzufluss im jahresmittel	$Q_{R,M}$	5600,00 [m <sup>3</sup> /d]
Schmutzwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{S,aM}$	129,63 [l/s]
Fremdwasserabfluss im Jahresmittel	$Q_{F,aM}$	32,41 [l/s]
Regenwasserzufluss im jahresmittel	$Q_{R,M}$	64,81 [l/s]
Trockenwetterabfluss inkl Regen im Jahresmittel	$Q_{T,aM}$	226,85 [l/s]
täglicher Trockenwetterabfluss inkl Regen	$Q_{T+R,d,aM}$	19600 [m <sup>3</sup> /d]
maximaler Trockenwetterabfluss als 2-Stunden-Mittel	$Q_{T,2h,max}$	319,44 [l/s]
maximaler Mischwasserabfluss	$Q_M$	476,85 [l/s]
<b><u>Schmutzfrachten im Zulauf zur Kläranlage</u></b>		
einwohnerspezifische BSB <sub>5</sub> -Fracht	$B_{BSB,spez}$	60 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische CSB-Fracht	$B_{CSB,spez}$	120 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische TS-Fracht	$B_{TS,spez}$	70 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische TKN-Fracht	$B_{TKN,spez}$	11 [g/(EW·d)]
einwohnerspezifische P-Fracht	$B_{P,spez}$	1,8 [g/(EW·d)]
BSB <sub>5</sub> -Fracht im Zulauf zur KA	$B_{d,BSB,Z}$	4800 [kg/d]
CSB-Fracht im Zulauf zur KA	$B_{d,CSB,Z}$	9600 [kg/d]
TS-Fracht im Zulauf zur KA	$B_{d,TS,Z}$	5600 [kg/d]
TKN-Fracht im Zulauf zur KA	$B_{d,TKN,Z}$	880 [kg/d]
P-Fracht im Zulauf zur KA	$B_{d,P,Z}$	144 [kg/d]

## Bemessung des Belebungsvolumens nach HSG-Ansatz (MW)

<b><u>Wassermengen</u></b>		
täglicher Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	$Q_{T,d,aM}$	19.600 [m <sup>3</sup> /d]
maximaler Trockenwetterabfluss als 2-Stunden-Mittel	$Q_{T,2h,max}$	1150,0 [m <sup>3</sup> /h]
maximaler Mischwasserabfluss nach Ausgleichsbecken	$Q_M$	1716,67 [m <sup>3</sup> /h]
<b><u>Schmutzfrachten im Zulauf zur Belebung</u></b>		
BSB <sub>5</sub> -Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,BSB,ZB}$	4.800 [kg/d]
CSB-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,CSB,ZB}$	9.600 [kg/d]
TS-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,TS,ZB}$	5.600 [kg/d]
TKN-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,TKN,ZB}$	880 [kg/d]
NH <sub>4</sub> -N-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,NH_4,ZB}$	600 [kg/d]
org. N-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,orgN,ZB}$	280 [kg/d]
P-Fracht im Zulauf zur Belebung	$B_{d,P,ZB}$	144 [kg/d]
<b><u>Konzentrationen im Zulauf zur Belebung</u></b>		
BSB <sub>5</sub> -Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{BSB,ZB}$	244,9 [mg/l]
CSB-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{CSB,ZB}$	489,8 [mg/l]
TS-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$X_{TS,ZB}$	285,7 [mg/l]
TKN-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{TKN,ZB}$	44,9 [mg/l]
NH <sub>4</sub> -N-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$S_{NH_4,ZB}$	30,6 [mg/l]
org. N-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$S_{orgN,ZB}$	14,3 [mg/l]
P-Konzentration im Zulauf zur Belebung	$C_{P,ZB}$	7,3 [mg/l]
<b><u>Ablaufkonzentrationen und Überwachungswerte</u></b>		
Überwachungswert anorg. N	$S_{anorgN,ÜW}$	18,0 [mg/l]
Überwachungswert NH <sub>4</sub> -N	$S_{NH_4,ÜW}$	7,0 [mg/l]
Überwachungswert P <sub>ges</sub>	$C_{P,ÜW}$	1,5 [mg/l]
mittlerer Ablaufwert org. N	$C_{orgN,e}$	0,0 [mg/l]
mittlerer Ablaufwert NH <sub>4</sub> -N	$S_{NH_4,e}$	1,00 [mg/l]
mittlerer Ablaufwert NO <sub>3</sub> -N	$S_{NO_3,e}$	11,00 [mg/l]
Bemessungsspitzenwert NH <sub>4</sub> -N	$S_{NH_4,e,Sp}$	5,00 [mg/l]

## Bemessung des Belebungsvolumens nach HSG-Ansatz (MW)

<b><u>weitere Eingabedaten</u></b>		
TS-Gehalt im Ablauf der Belebung	$TS_R$	10,00 [g/l]
biol. TS-Gehalt im Ablauf der Belebung	$TS_{R,bio}$	8,87 [g/l]
Temperatur	$T$	12 [°C]
Rücklösefaktor	$rX$	0,00 [-]
Schwankungsfaktor	$S$	1,70 [-]
<b><u>kinetische Parameter</u></b>		
Maximale Wachstumsrate	$\mu_{max}$	0,520 [1/d]
Halbwertkonzentration für max. $\mu$	$K_n$	0,700 [mg/l]
Sterberate der Autotrophen	$b_A$	0,050 [1/d]
Sterberate der Heterotrophen	$b_H$	0,170 [1/d]
Temperaturfaktor autotrophes Wachstum	$f_{T,A}$	0,745 [-]
Temperaturfaktor autotrophe Sterberate	$f_{T,bA}$	0,772 [-]
Temperaturfaktor heterotrophe Sterberate	$f_{T,bH}$	0,809 [-]
Ertragskoeffizient autotrophe Biomasse	$Y_A$	0,150 [-]
Ertragskoeffizient heterotrophe Biomasse	$Y_H$	0,750 [-]
Verlangsamung der Atmung im anoxischen Bereich	$f_d$	0,750 [-]
<b><u>stöchiometrische Parameter</u></b>		
Anteil der nichtabbaubaren Feststoffe	$f_p$	0,600 [-]
Anteil N an der Biomasse ( $X_H + X_A$ )	$B$	0,120 [-]
Anteil N am inerten Material ( $X_I$ )	$i_I$	0,010 [-]
inertes Anteil aus Biomassenzersetzung	$f_I$	0,200 [-]
Anteil P an der Biomasse ( $X_H + X_A$ )	$i_P$	0,030 [-]
<b><u>sonstige Parameter</u></b>		
Sicherheitsfaktor	$f'$	1,250 [-]
Substratatmung (in kg O <sub>2</sub> / kg BSB <sub>5,el.</sub> )	$f_{OV,S}$	0,560 [kg/kg]
endogene Atmungsrate (in kg O <sub>2</sub> / (kg oTS · d))	$f_{OV,e}$	0,200 [kg/(kg·d)]
Abbaugrad des BSB <sub>5</sub> im Belebungsbecken	$\eta$	0,950 [-]

## Bemessung des Belebungsvolumens nach HSG-Ansatz (MW)

<b><u>Berechnung des aeroben Schlammalters</u></b>		
erforderliches aerobes Schlammalter	$t_{TS,A}$	16,500 [d]
<b><u>iterative Berechnung des <math>V_N/V_D</math>-Verhältnisses</u></b>		
Berücksichtigung Atmungserhöhungsfaktor		nein
$V_N/V$ -Verhältnis	$V_N/V$	0,66 [-]
$V_D/V$ -Verhältnis geschätzt	$V_D/V_g$	0,3399 [-]
$V_D/V$ -Verhältnis berechnet	$V_D/V$	0,3399 [-]
Vorgabe Rückführrate	$RF_V$	3,7168 [-]
erforderliche Rückführrate	RF	2,3444 [-]
Korrekturfaktor für die anoxische Atmung	a	1,00 [-]
zu denitrifizierende Stickstoffkonzentration	$N_{d,m}^*$	25,79 [mg/l]
Hilfsgröße $P_I$	$P_I$	1,71 [mg/l]
Hilfsgröße $P_H$	$P_H$	4,99 [mg/l]
Hilfsgröße $P_A$	$P_A$	0,011 [-]
in ÜS inkorporierte Stickstoffkonzentration	$N_{ÜS}$	7,11 [mg/l]
zu denitrifizierende Stickstoffkonzentration	$N_{d,m}^{**}$	25,79 [mg/l]
<b><u>Berechnung des gesamten Schlammalters</u></b>		
erforderliches gesamtes Schlammalter	$t_{TS,G}$	24,996 [d]
<b><u>P-Fällung</u></b>		
P-Fällung vorgesehen		Ja
inkorporierter Phosphor	$P_{ink}$	1,28 [mg/l]
zu fällender Phosphor	$P_{fäll}$	4,57 [mg/l]
Molverhältnis	$\beta$	1,500 [-]
erforderliches Fällmittel (Eisen(II) oder Eisen(III))	Fe	12,353 [mg/l]
<b><u>Berechnung der Überschussschlammproduktion</u></b>		
biol. Überschussschlammproduktion	$\dot{U}_{S,R}$	0,35 [kg/(m <sup>3</sup> *d)]
Heterotrophe Biomasse	$X_H$	1,443 [kg/m <sup>3</sup> ]
Autotrophe Biomasse	$X_A$	0,124 [kg/m <sup>3</sup> ]
Inerte Biomasse	$X_I$	7,300 [kg/m <sup>3</sup> ]
Fällungsprodukte	$X_F$	1,134 [kg/m <sup>3</sup> ]

**Bemessung des Belebungsvolumens nach HSG-Ansatz (MW)**

<b><u>Berechnung der Beckenvolumina</u></b>		
zu nitrifizierende Stickstoffkonzentration	$N_{n,m}$	37,79 [mg/l]
Hilfsgröße P	P	241,57 [g/m <sup>3</sup> ]
Raumbeschickung	$q_R$	1,468 [m <sup>3</sup> /(m <sup>3</sup> *d)]
erforderliches Gesamtvolumen der Belebung	V	13.347,8 [m <sup>3</sup> ]
erforderliches aerobes Volumen der Belebung	$V_N$	8.811 [m <sup>3</sup> ]
erforderliches anoxisches Volumen der Belebung	$V_D$	4.537 [m <sup>3</sup> ]

### Ermittlung des Sauerstoffbedarfs nach ATV-DVWK-A131<sub>2000</sub> bei 20 °C (MW)

<b><u>Zulaufmengen</u></b>		
Tageswassermenge	$Q_d$	19.600 m <sup>3</sup> /d
<b><u>Zulaufmengen zur Belebung</u></b>		
CSB	$B_{d,CSB,ZB}$	9.600 kg/d
BSB <sub>5</sub>	$B_{d,BSB,ZB}$	4.800 kg/d
TKN	$B_{d,TKN,ZB}$	880 kg/d
NO <sub>3</sub> -N	$B_{d,NO3,ZB}$	0 kg/d
P <sub>ges.</sub>	$B_{d,P,ZB}$	144 kg/d
TS <sub>0</sub>	$B_{d,TS,ZB}$	5.600 kg/d
<b><u>Zulaufkonzentrationen zur Belebung (inkl. Rückbelastung)</u></b>		
CSB	$C_{CSB,ZB}$	489,8 mg/l
BSB <sub>5</sub>	$C_{BSB,ZB}$	244,9 mg/l
TKN	$C_{TKN,ZB}$	44,9 mg/l
NO <sub>3</sub> -N	$S_{NO3,ZB}$	0,0 mg/l
Gesamtstickstoff im Zulauf BB	$C_{N,ZB}$	44,9 mg/l
P <sub>ges.</sub>	$C_{P,ZB}$	7,3 mg/l
TS <sub>0</sub>	$X_{TS,ZB}$	285,7 mg/l
<b><u>Überwachungswerte</u></b>		
CSB	$C_{CSB,AN}$	60,0 mg/l
BSB <sub>5</sub>	$C_{BSB,AN}$	20,0 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	$C_{NH4-N,AN}$	7,0 mg/l
N <sub>ges. anorg.-N</sub>	$C_{Nges,AN}$	18,0 mg/l
P <sub>ges.</sub>	$C_{P,AN}$	1,5 mg/l
<b><u>Mittlere Ablaufwerte</u></b>		
org. Stickstoff im Ablauf BB	$S_{orgN,AN}$	0,0 mg/l
Ammoniumstickstoff im Ablauf BB	$S_{NH4,AN}$	1,0 mg/l
Nitratstickstoff im Ablauf BB	$S_{NO3,AN}$	11,0 mg/l

### Ermittlung des Sauerstoffbedarfs nach ATV-DVWK-A131<sub>2000</sub> bei 20 °C (MW)

<b><u>Sauerstoffbedarf (nach BSB)</u></b>		
Schlammalter	$t_{TS,Bem}$	25,0 d
$C_{CSB}/C_{BSB5}$		2,00 g/g
Stoßfaktor C	$f_c$	1,10 ---
Stoßfaktor N	$f_N$	1,50 ---
angestrebter Sauerstoffgehalt	$C_x$	2,00 mg/l
Nitrat im Zulauf	$S_{NO3,ZB}$	0,0 mg/l
Nitrat im Ablauf	$S_{NO3,AN}$	11,0 mg/l
in Biomasse eingebaute N-Fracht (BSB)	$X_{org,N,BM}$	7,1 mg/l
zu denitrifizierende Nitratkonzentration	$S_{NO3,D}$	25,79 mg/l
zu nitrifizierende Ammoniumkonzentration	$S_{NH4,N}$	36,79 mg/l
Sauerstoffverbrauch für Nitrifikation	$OV_{d,N}$	3.101 kgO <sub>2</sub> /d
Sauerstoffgewinn durch Denitrifikation	$OV_{d,D}$	1.466 kgO <sub>2</sub> /d
Temperatur	T	20,00 °C
Standardsättigungskonzentration für T	$C_{SS,T}$	9,10 mg/l
Sauerstoffsättigungskonzentration für $t_E$	$C_S$	10,41 mg/l
Temperaturfaktor	$F_T$	1,42 -
Kohlenstoffatmung	$OV_{d,C,Abb.}$	2.688 kgO <sub>2</sub> /d
endogene Atmung	$OV_{d,C,end.}$	3.632 kgO <sub>2</sub> /d
Sauerstoffverbrauch für C-Elimination	$OV_{d,C}$	6.320 kgO <sub>2</sub> /d
Spezifischer Sauerstoffverbrauch	$OV_{C,BSB}$	1,32 kgO <sub>2</sub> /kgBSB
Kohlenstoffstoß ( $f_N=1, f_C=1,10$ )	$OV_h$	352 kgO <sub>2</sub> /h
Stickstoffstoß ( $f_C=1, f_N=1,50$ )	$OV_h$	396 kgO <sub>2</sub> /h
max. erforderliche Sauerstoffzufuhr	$erf.\alpha OC_h$	490 kgO <sub>2</sub> /h
mittl. tägl. Sauerstoffzufuhr (C+N-DN)	$\alpha OC_d$	9.845 kgO <sub>2</sub> /d
<b><u>Luftbedarf</u></b>		
mittlere Einblastiefe	$t_E$	3,00 m
Grenzflächenfaktor	$\alpha$	0,65 -
spez. Sauerstoffzufuhr	$OC_{L,h}$	18,00 g/Nm <sup>3</sup> /m
max. erforderliche Sauerstoffzufuhr in Reinwasser	$erf.O C_h$	754,1 kgO <sub>2</sub> /h
Sauerstoffzufuhr	$OC_R$	54 g/Nm <sup>3</sup>
maximaler Luftbedarf	$Q_{Luft}$	13.965 Nm <sup>3</sup> /h
maximaler Luftbedarf intermittierend	$Q_{Luft}$	21.155 Nm <sup>3</sup> /h

## Bemessung der erforderlichen Membranfläche

<b><u>Wassermengen</u></b>		
täglicher Trockenwetterabfluss im Jahresmittel	$Q_{T,d,aM}$	19.600 [m <sup>3</sup> /d]
maximaler Trockenwetterabfluss als 2-Stunden-Mittel	$Q_{T,2h,max}$	319,44 [l/s]
maximaler Mischwasserabfluss nach Ausgleichsbecken	$Q_M$	476,85 [l/s]
<b><u>Eingabedaten</u></b>		
Bemessungsfluss bei 10 °C (netto)	$V_{F,netto}$	20,0 [l/(m <sup>2</sup> ·h)]
Zuschlag für Reinigung etc. (für Brutto-Fläche)	F	1,00 [-]
Packungsdichte Module im eingebauten Zustand	$V_{Pack}$	11 [m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]
spez. Luftbedarf Cross-Flow	$Q_{L,CF,s}$	0,55 [Nm <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·h)]
<b><u>Rezirkulation und TS-Gehalt</u></b>		
TS-Gehalt Belebung	$TS_R$	10,00 [g/l]
Rezirkulationsverhältnis	RZ	6 [-]
TS-Gehalt Membranbecken	$TS_{MBR}$	11,67 [g/l]
<b><u>Bemessung Membran</u></b>		
erforderliche Membranfläche	$A_M$	85.833 [m <sup>2</sup> ]
erforderliches Volumen Membrantank	$V_M$	7688 [m <sup>3</sup> ]
Luftbedarf Cross-Flow	$Q_{L,CF}$	47.087 [Nm <sup>3</sup> /h]

## **ANLAGE 6**

### **Bemessung der Modellanlage**

## mechanische Vorreinigung

**Trockenwetter**

Q <sub>T,d,aM</sub>	14000	[m <sup>3</sup> /d]	
Trockenwetterabfluss	5.110.000	[m <sup>3</sup> /a]	
Hebewerk	13,90	[Wh/m <sup>3</sup> ]	Handbuch
Rechen	1,50	[Wh/m <sup>3</sup> ]	Handbuch
Sandfang	5,50	[Wh/m <sup>3</sup> ]	Handbuch
Feinsieb	3,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]	Huber
Querförderer	0,21	[Wh/m <sup>3</sup> ]	1,5 kW, 2 h/d
Waschpresse	0,36	[Wh/m <sup>3</sup> ]	2,5 kW, 2 h/d

**Regenwetter**

Q <sub>T,d,aM</sub>	19600	[m <sup>3</sup> /d]	
Mischwasserabfluss	7.154.000	[m <sup>3</sup> /a]	
Hebewerk	13,90	[Wh/m <sup>3</sup> ]	Handbuch
Rechen	1,50	[Wh/m <sup>3</sup> ]	Handbuch
Sandfang	5,50	[Wh/m <sup>3</sup> ]	Handbuch
Feinsieb	3,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]	Huber
Querförderer	0,15	[Wh/m <sup>3</sup> ]	1,5 kW, 2 h/d
Waschpresse	0,26	[Wh/m <sup>3</sup> ]	2,5 kW, 2 h/d

**Rechengutmenge**

Anfall 1 mm	22,72	[l/(Ea)]
Anfall 6 mm	7,90	[l/(Ea)]
Einwohner	80.000	[EW]
Menge 6 mm	1,73	[m <sup>3</sup> /d]
Menge 1 mm	4,98	[m <sup>3</sup> /d]
Menge Rest	3,25	[m <sup>3</sup> /d]

**Trockenwetter**

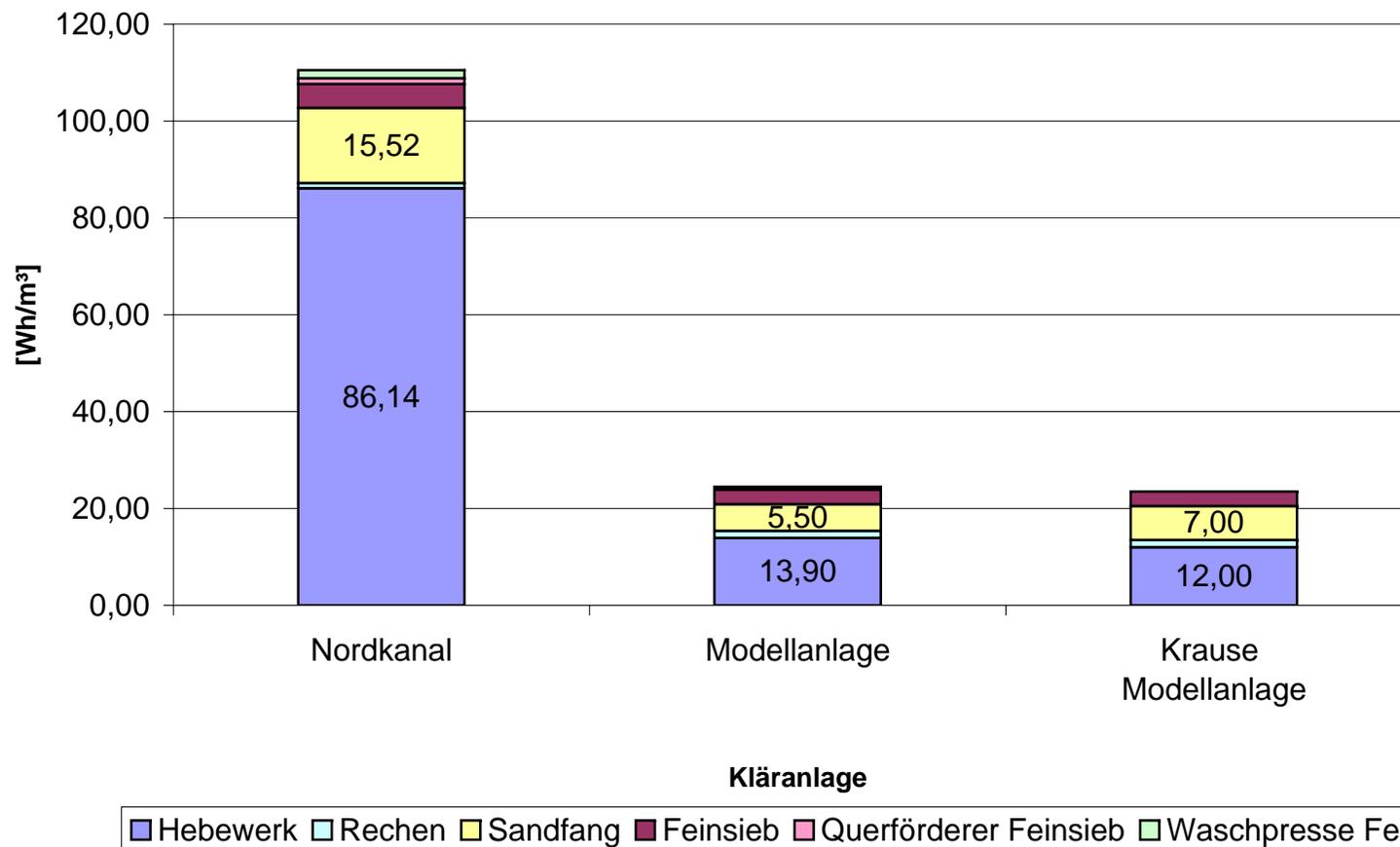
Verbraucher	Nordkanal	Modellanlage	Krause Modellanlage	
Hebewerk	86,14	13,90	12,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Rechen	1,06	1,50	1,50	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Sandfang	15,52	5,50	7,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Feinsieb	4,92	3,00	3,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Querförderer Feinsieb	1,19	0,21	0,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Waschpresse Feinsieb	1,71	0,36	0,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]
<b>Summe:</b>	<b>110,54</b>	<b>24,47</b>	<b>23,50</b>	<b>[Wh/m<sup>3</sup>]</b>

**Regenwetter**

Verbraucher	Nordkanal	Modellanlage	Krause Modellanlage	
Hebewerk	86,14	13,90	12,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Rechen	1,06	1,50	1,50	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Sandfang	15,52	5,50	7,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Feinsieb	4,92	3,00	3,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Querförderer Feinsieb	1,19	0,15	0,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Waschpresse Feinsieb	1,71	0,26	0,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]
<b>Summe:</b>	<b>110,54</b>	<b>24,31</b>	<b>23,50</b>	<b>[Wh/m<sup>3</sup>]</b>

Diagramm mechanische Vorreinigung

Vergleich Energieverbrauch mechanische Vorreinigung



## Rührwerke

**Trockenwetter**

Trockenwetterabfluss	5.110.000	[m <sup>3</sup> /a]
Volumen Belebung	14.000	[m <sup>3</sup> ]
Energiebedarf im Becken	28.000	[W]
Energie im Jahr	245.280.000	[Wh/a]
Energie spez.	48,00	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Energie spez.	<b>0,048</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]

**Regenwetter**

Mischwasserabfluss	7.154.000	[m <sup>3</sup> /a]
Volumen Belebung	14.000	[m <sup>3</sup> ]
Energiebedarf im Becken	28.000	[W]
Energie im Jahr	245.280.000	[Wh/a]
Energie spez.	34,29	[Wh/m <sup>3</sup> ]
Energie spez.	<b>0,034</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]

## Gebläse Crossflow

ohne Air-Cycling

### Trockenwetter

Trockenwetterabfluss	5.110.000	[m³/a]
Anzahl Kassetten	176,00	[Stk]
Belüftung	280,00	[m³/h]
Luft gesamt	49.280	[m³/h]
Einblastiefe	3,00	[m]
Filtrationsdauer	8,310	[h/d]
Gebläseleistung	83,924	[kW]
Anzahl Gebläse	8,00	[Stk]
Energie pro Tag	5.579,25	[kWh/d]
Energie im Jahr	2.036.425,50	[kWh/a]
Energie spez.	<b>0,40</b>	[kWh/m³]

mit Air-Cycling 10s/10s

### Trockenwetter

Trockenwetterabfluss	5.110.000	[m³/a]
Anzahl Kassetten	176,00	[Stk]
Belüftung	140,00	[m³/h]
Luft gesamt	24.640,00	[m³/h]
Einblastiefe	3,00	[m]
Filtrationsdauer	8,310	[h/d]
Gebläseleistung	41,962	[kW]
Anzahl Gebläse	8,00	[Stk]
Energie pro Tag	2.789,62	[kWh/d]
Energie im Jahr	1.018.212,75	[kWh/a]
Energie spez.	<b>0,20</b>	[kWh/m³]

### Regenwetter

Mischwasserabfluss	7.154.000	[m³/a]
Anzahl Kassetten	176,00	[Stk]
Belüftung	280,00	[m³/h]
Luft gesamt	49.280,00	[m³/h]
Einblastiefe	3,00	[m]
Filtrationsdauer	11,64	[h/d]
Gebläseleistung	83,924	[kW]
Anzahl Gebläse	8,00	[Stk]
Energie pro Tag	7.814,98	[kWh/d]
Energie im Jahr	2.852.466,05	[kWh/a]
Energie spez.	<b>0,40</b>	[kWh/m³]

### Regenwetter

Mischwasserabfluss	7.154.000	[m³/a]
Anzahl Kassetten	176,00	[Stk]
Belüftung	140,00	[m³/h]
Luft gesamt	24.640,00	[m³/h]
Einblastiefe	3,00	[m]
Filtrationsdauer	11,64	[h/d]
Gebläseleistung	41,962	[kW]
Anzahl Gebläse	8,00	[Stk]
Energie pro Tag	3.907,49	[kWh/d]
Energie im Jahr	1.426.233,02	[kWh/a]
Energie spez.	<b>0,20</b>	[kWh/m³]

## Permeatpumpen

## Trockenwetter

## Abziehen

Trockenwetterabfluss	5.110.000	[m³/a]
Brutto-Netto-Verh.	1,17	[-]
Wassermenge	5.978.700	[m³/a]
Durchfluss	0,2	[m³/s]
Förderhöhe / Saugdruck	1,20	[m]
Erdbeschleunigung	9,81	[m/s²]
Gesamtwirkungsgrad	0,60	[%]
benötigte Leistung	3,728	[kW]
benötigte Energie	32.657,28	[kWh/a]
benötigte Energie spez.	0,006	[kWh/m³]

## Rückspülen

Trockenwetterabfluss	5.110.000	[m³/a]
Rückspülverhältnis	0,104	[-]
Wassermenge	531.440	[m³/a]
Durchfluss	0,017	[m³/s]
Förderhöhe / Spüldruck	2,50	[m]
Erdbeschleunigung	9,81	[m/s²]
Gesamtwirkungsgrad	0,60	[%]
benötigte Leistung	0,695	[kW]
benötigte Energie	6088,20	[kWh/a]
benötigte Energie spez.	0,001	[kWh/m³]
<b>Summe:</b>	<b>0,00700</b>	

## Regenwetter

## Abziehen

Mischwasserabfluss	7.154.000	[m³/a]
Brutto-Netto-Verh.	1,17	[-]
Wassermenge	8.370.180	[m³/a]
Durchfluss	0,27	[m³/s]
Förderhöhe / Saugdruck	1,20	[m]
Erdbeschleunigung	9,81	[m/s²]
Gesamtwirkungsgrad	0,60	[%]
benötigte Leistung	5,21	[kW]
benötigte Energie	45.617,48	[kWh/a]
Energie spez.	0,006	[kWh/m³]

## Rückspülen

max Mischwasserabfluss	7.154.000	[m³/a]
Rückspülverhältnis	0,09	[-]
Wassermenge	671.045	[m³/a]
Durchfluss	0,02	[m³/s]
Förderhöhe / Spüldruck	2,50	[m]
Erdbeschleunigung	9,81	[m/s²]
Gesamtwirkungsgrad	0,60	[%]
benötigte Leistung	0,87	[kW]
benötigte Energie	7619,16	[kWh/a]
benötigte Energie spez.	0,001	[kWh/m³]
<b>Summe:</b>	<b>0,00744</b>	

## Belüftung BB

ohne Air-Cycling

**Trockenwetter**

täglicher Trockenwetterabfluss	$Q_{T,d,aM}$	14.000	[m <sup>3</sup> /d]
Flux	$v$	20,00	[l/(m <sup>2</sup> ·h)]
Membranfläche	$A_M$	89.830,40	[m <sup>2</sup> ]
Luftbedarf Crossflow: $Q_{L,CF}$	$Q_{L,CF}$	49.280	[m <sup>3</sup> /h]
gemessener Sauerstoffeintrag CF	$\alpha OC_{L,h}$	3,50	[g/(Nm <sup>3</sup> ·m)]
Förderhöhe $h$	$h$	3,00	[m]
$Q$		1.796,61	[m <sup>3</sup> /h]
Laufzeit der Crossflow Gebläse	$t_{G,CF}$	8,31	[h/d]
Luftbedarf Belebung pro Tag	$Q_{L,d}$	409.516,80	[Nm <sup>3</sup> /d]
Sauerstoffmenge aus Crossflow	$OC_{CF}$	4.299,93	[kgO <sub>2</sub> /d]
mittlerer Sauerstoff pro Tag	$\alpha OC_d$	<b>9.633,00</b>	[kgO <sub>2</sub> /d]
mittlerer Sauerstoff pro Stunde	$OC_{CF,h}$	401,38	[kgO <sub>2</sub> /h]
genutzte Luft aus CF pro Tag	$OC_{CF,d}$	<b>3.335,47</b>	[kgO <sub>2</sub> /d]
Sauerstoff noch benötigt für Belebung	$OC_{BB,d}$	<b>6.297,53</b>	[kgO <sub>2</sub> /d]
Grenzflächenfaktor	$\alpha_{BB}$	0,65	[-]
in Reinwasser	$OC_R$	9.688,51	[kgO <sub>2</sub> /d]
Sauerstoffertrag	$OP$	3,90	[kg/kWh]
Energiebedarf	$E_d$	2.484,23	[kWh/d]
Jahresenergiebedarf	$E_a$	906.745,17	[kWh/a]
Energiebedarf spez.	$E_{spez}$	<b>0,18</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]

**Regenwetter**

maximaler Mischwasserabfluss	$Q_M$	19.600	[m <sup>3</sup> /d]
Flux	$v$	20,00	[l/(m <sup>2</sup> ·h)]
Membranfläche	$A_M$	89.830,40	[m <sup>2</sup> ]
Luftbedarf Crossflow: $Q_{L,CF}$	$Q_{L,CF}$	49.280	[m <sup>3</sup> /h]
Gem Sauerstoff CF	$\alpha OC_{L,h}$	3,50	[g/(Nm <sup>3</sup> ·m)]
Förderhöhe $h$	$h$	3,00	[m]
$Q$		1.796,61	[m <sup>3</sup> /h]
Laufzeit der Gebläse	$t_G$	11,64	[h/d]
Luftbedarf Belebung pro Tag	$Q_{L,d}$	573.619,20	[Nm <sup>3</sup> /d]
Sauerstoffmenge aus Crossflow	$OC_{CF}$	6.023,00	[kgO <sub>2</sub> /d]
mittlerer Sauerstoff pro Tag	$\alpha OC_d$	<b>9.845,16</b>	[kgO <sub>2</sub> /d]
mittlerer Sauerstoff pro Stunde	$OC_{CF,h}$	410,21	[kgO <sub>2</sub> /h]
genutzte Luft aus CF pro Tag	$OC_{CF,d}$	<b>4.774,84</b>	[kgO <sub>2</sub> /d]
Sauerstoff noch benötigt für Belebung	$OC_{BB,d}$	<b>5.070,32</b>	[kgO <sub>2</sub> /d]
Grenzflächenfaktor	$\alpha_{BB}$	0,65	[-]
in Reinwasser	$OC_R$	7.800,49	[kgO <sub>2</sub> /d]
Sauerstoffertrag	$OP$	3,90	[kg/kWh]
Energiebedarf	$E_d$	2.000,13	[kWh/d]
Jahresenergiebedarf	$E_a$	730.045,86	[kWh/a]
Energiebedarf spez.	$E_{spez}$	<b>0,10</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]

mit Air-Cycling 10s/10s

**Trockenwetter**

täglicher Trockenwetterabfluss	$Q_{T,d,aM}$	14.000	[m <sup>3</sup> /d]
Flux	$v$	20,00	[l/(m <sup>2</sup> ·h)]
Membranfläche	$A_M$	89.830,40	[m <sup>2</sup> ]
Luftbedarf Crossflow: $Q_{L,CF}$	$Q_{L,CF}$	24.640	[m <sup>3</sup> /h]
Gem Sauerstoff CF	$\alpha_{OC_{L,h}}$	3,50	[g/(Nm <sup>3</sup> ·m)]
Förderhöhe $h$	$h$	3,00	[m]
$Q$		1.796,61	[m <sup>3</sup> /h]
Laufzeit der Gebläse	$t_G$	8,31	[h/d]
Luftbedarf Belebung pro Tag	$Q_{L,d}$	204.758,40	[Nm <sup>3</sup> /d]
Sauerstoffmenge aus Crossflow	$OC_{CF}$	2.149,96	[kgO <sub>2</sub> /d]
mittlerer Sauerstoff pro Tag	$\alpha_{OC_d}$	<b>9.633,00</b>	[kgO <sub>2</sub> /d]
Sauerstoff benötigt für Belebung:		<b>7.483,04</b>	[kgO <sub>2</sub> /d]
Grenzflächenfaktor	$\alpha_{BB}$	0,65	[-]
in Reinwasser	$OC_R$	11.512,36	[kgO <sub>2</sub> /d]
Sauerstoffertrag	$OP$	3,90	[kg/kWh]
Energiebedarf	$E_d$	2.951,89	[kWh/d]
Jahresenergiebedarf	$E_a$	1.077.438,82	[kWh/a]
Energiebedarf spez.	$E_{spez}$	<b>0,21</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]

**Regenwetter**

maximaler Mischwasserabfluss	$Q_M$	19.600	[m <sup>3</sup> /d]
Flux	$v$	20,00	[l/(m <sup>2</sup> ·h)]
Membranfläche	$A_M$	89.830,40	[m <sup>2</sup> ]
Luftbedarf Crossflow: $Q_{L,CF}$	$Q_{L,CF}$	24.640	[m <sup>3</sup> /h]
Gem Sauerstoff CF	$\alpha_{OC_{L,h}}$	3,50	[g/(Nm <sup>3</sup> ·m)]
Förderhöhe $h$	$h$	3,00	[m]
$Q$		1.796,61	[m <sup>3</sup> /h]
Laufzeit der Gebläse	$t_G$	11,64	[h/d]
Luftbedarf Belebung pro Tag	$Q_{L,d}$	286.809,60	[Nm <sup>3</sup> /d]
Sauerstoffmenge aus Crossflow	$OC_{CF}$	3.011,50	[kgO <sub>2</sub> /d]
mittlerer Sauerstoff pro Tag	$\alpha_{OC_d}$	<b>9.845,16</b>	[kgO <sub>2</sub> /d]
Sauerstoff benötigt für Belebung:		<b>6.833,66</b>	[kgO <sub>2</sub> /d]
Grenzflächenfaktor	$\alpha_{BB}$	0,65	[-]
in Reinwasser	$OC_R$	10.513,32	[kgO <sub>2</sub> /d]
Sauerstoffertrag	$OP$	3,90	[kg/kWh]
Energiebedarf	$E_d$	2.695,72	[kWh/d]
Jahresenergiebedarf	$E_a$	983.938,92	[kWh/a]
Energiebedarf spez.	$E_{spez}$	<b>0,14</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]

## Rezipumpen

**Trockenwetter**

Trockenwetterabfluss	5.110.000	[m <sup>3</sup> /a]
Reziverhältnis	6,00	[-]
Wassermenge	30.660.000	[m <sup>3</sup> /a]
Durchfluss	0,97	[m <sup>3</sup> /s]
Förderhöhe	0,40	[m]
Erdeschleunigung	9,81	[m/s <sup>2</sup> ]
Gesamtwirkungsgrad	50%	[%]
benötigte Leistung	8	[kW]
benötigte Energie	66.839	[kWh/a]
Energie spez.	<b>0,013</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]

**Regenwetter**

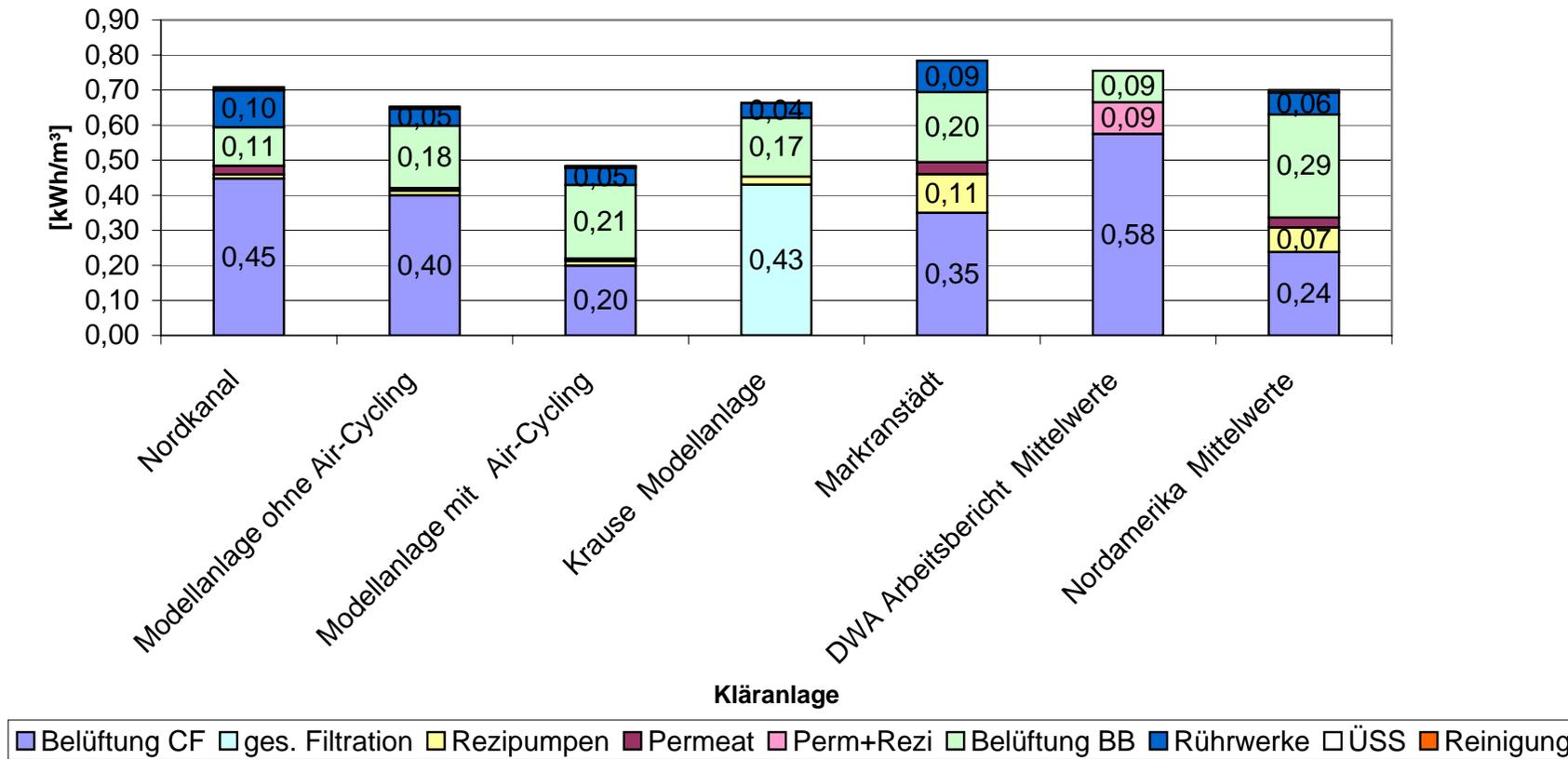
Mischwasserabfluss	7.154.000	[m <sup>3</sup> /a]
Reziverhältnis	6,00	[-]
Wassermenge	42.924.000	[m <sup>3</sup> /a]
Durchfluss	1,36	[m <sup>3</sup> /s]
Förderhöhe	0,40	[m]
Erdeschleunigung	9,81	[m/s <sup>2</sup> ]
Gesamtwirkungsgrad	50%	[%]
benötigte Leistung	11	[kW]
benötigte Energie	93.574	[kWh/a]
Energie spez.	<b>0,013</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]

## Energieverbrauch Membranfiltration

## Trockenwetter

Verbraucher	Nordkanal	Modellanlage ohne Air-Cycling	Modellanlage mit Air-Cycling	Krause Modellanlage	Markranstädt	DWA Arbeitsbericht Mittelwerte	Nordamerika Mittelwerte	
Belüftung CF	0,45	0,40	0,20	0,00	0,35	0,58	0,24	[kWh/m <sup>3</sup> ]
ges. Filtration	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rezipumpen	0,01	0,01	0,01	0,02	0,11	0,00	0,07	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Permeat	0,02	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,03	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Perm+Rezi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Belüftung BB	0,11	0,18	0,21	0,17	0,20	0,09	0,29	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rührwerke	0,10	0,05	0,05	0,04	0,09	0,00	0,06	[kWh/m <sup>3</sup> ]
ÜSS	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Reinigung	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
<b>Summe:</b>	<b>0,71</b>	<b>0,65</b>	<b>0,48</b>	<b>0,66</b>	<b>0,78</b>	<b>0,76</b>	<b>0,70</b>	<b>[kWh/m<sup>3</sup>]</b>

Vergleich Energieverbrauch Membranfiltration (TW)

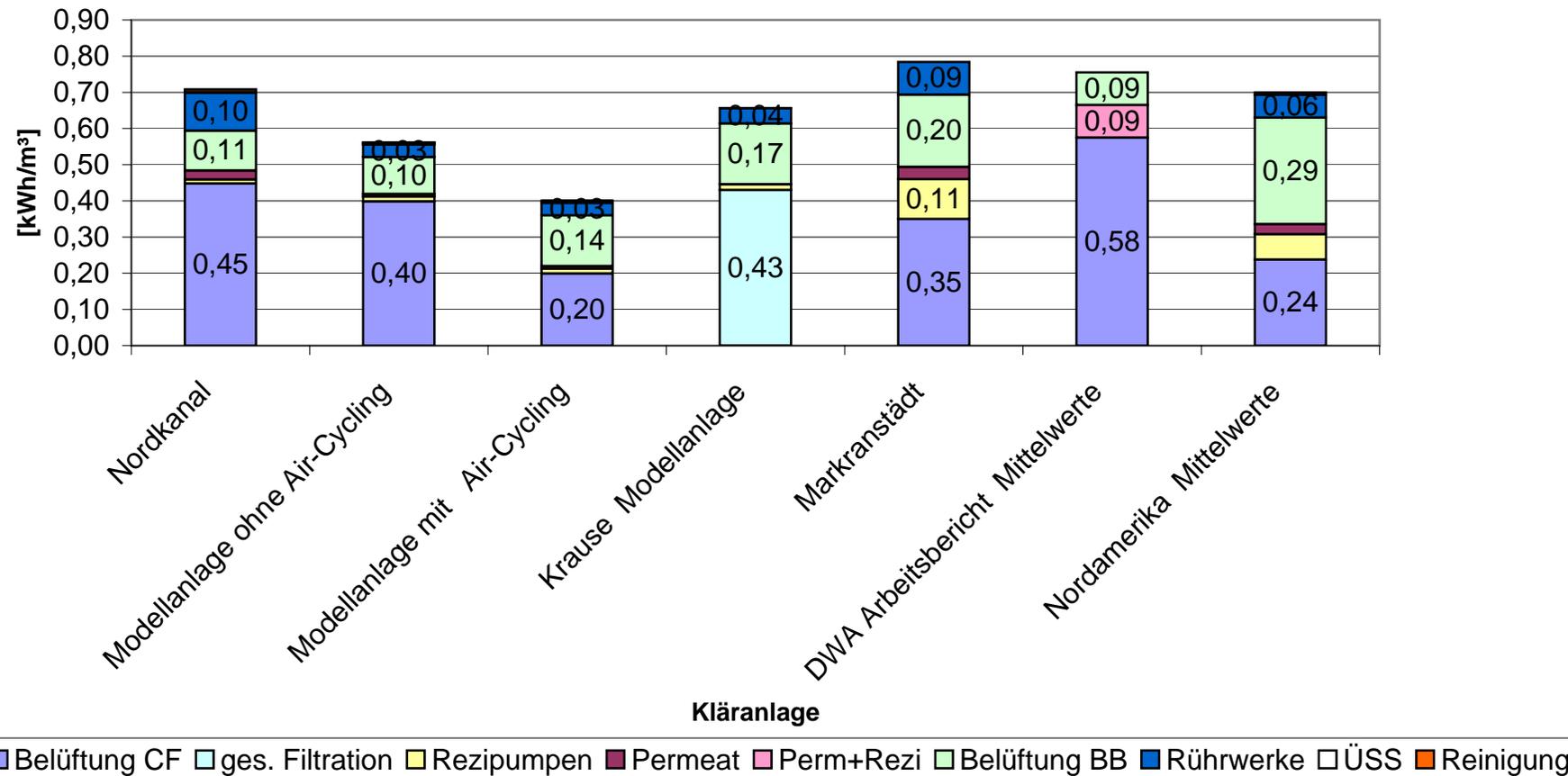


## Energieverbrauch Membranfiltration

## Regenwetter

Verbraucher	Nordkanal	Modellanlage ohne Air-Cycling	Modellanlage mit Air-Cycling	Krause Modellanlage	Markranstädt	DWA Arbeitsbericht Mittelwerte	Nordamerika Mittelwerte	
Belüftung CF	0,45	0,40	0,20	0,00	0,35	0,58	0,24	[kWh/m <sup>3</sup> ]
ges. Filtration	0,00	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rezipumpen	0,01	0,01	0,01	0,02	0,11	0,00	0,07	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Permeat	0,02	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,03	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Perm+Rezi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Belüftung BB	0,11	0,10	0,14	0,17	0,20	0,09	0,29	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rührwerke	0,10	0,03	0,03	0,04	0,09	0,00	0,06	[kWh/m <sup>3</sup> ]
ÜSS	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Reinigung	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
<b>Summe:</b>	<b>0,71</b>	<b>0,56</b>	<b>0,40</b>	<b>0,66</b>	<b>0,78</b>	<b>0,76</b>	<b>0,70</b>	<b>[kWh/m<sup>3</sup>]</b>

Vergleich Energieverbrauch Membranfiltration (MW)

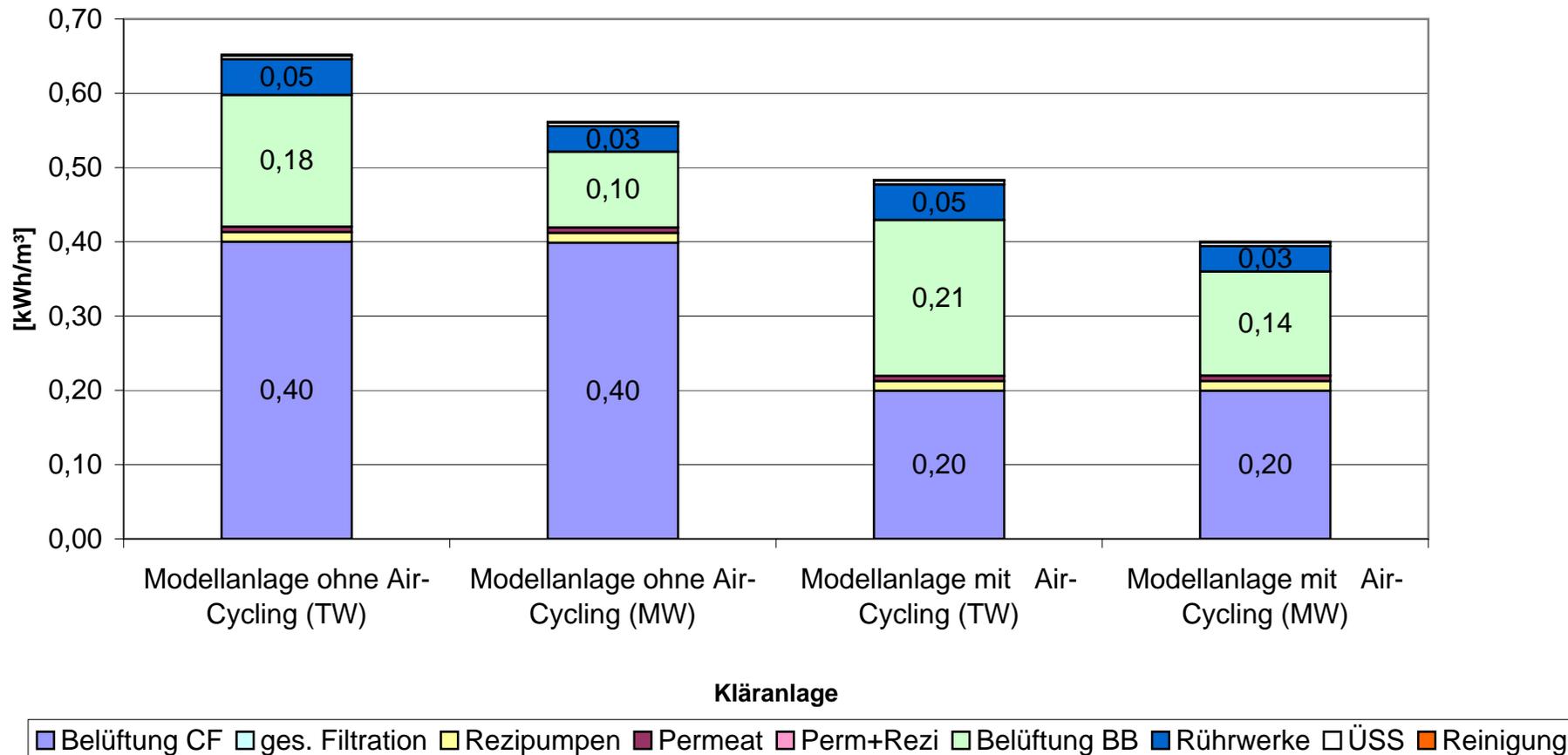


## Energieverbrauch Membranfiltration

## Trockenwetter

Verbraucher	Modellanlage ohne Air-Cycling (TW)	Modellanlage ohne Air-Cycling (MW)	Modellanlage mit Air-Cycling (TW)	Modellanlage mit Air-Cycling (MW)	
Belüftung CF	0,40	0,40	0,20	0,20	[kWh/m <sup>3</sup> ]
ges. Filtration	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rezipumpen	0,01	0,01	0,01	0,01	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Permeat	0,01	0,01	0,01	0,01	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Perm+Rezi	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Belüftung BB	0,18	0,10	0,21	0,14	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rührwerke	0,05	0,03	0,05	0,03	[kWh/m <sup>3</sup> ]
ÜSS	0,01	0,01	0,01	0,01	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Reinigung	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
<b>Summe:</b>	<b>0,65</b>	<b>0,56</b>	<b>0,48</b>	<b>0,40</b>	<b>[kWh/m<sup>3</sup>]</b>

Vergleich Membranfiltration Modell TW - MW



## Infrastruktur

**Trockenwetter**

Energieverbrauch Handbuch	1,1	[kWh/Ea]
Einwohner	80.000	[EW]
Trockenwetterabfluss	5.110.000	[m <sup>3</sup> /a]
Energie spez.	<b>0,017</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]

**Regenwetter**

Energieverbrauch Handbuch	1,1	[kWh/Ea]
Einwohner	80.000	[EW]
Mischwasserabfluss	7.154.000	[m <sup>3</sup> /a]
Energie spez.	<b>0,012</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]

## Schlammbehandlung

**Trockenwetter**

Energie (Schlamm)	1,19	[kWh/m <sup>3</sup> ]	Handbuch
TS Gehalt	10,00	[g/l]	
TR Gehalt	25,00	[g/l]	Imhoff
Schalmmalter	25,00	[d]	
Schlammmenge	0,40	[kg/m <sup>3</sup> d]	
Beckeninhalt	14.000	[m <sup>3</sup> ]	
Schlammmenge als Volumenstrom	4.000	[kg/d]	Imhoff
	160.000	[l/d]	Imhoff
V <sub>s</sub>	160,00	[m <sup>3</sup> /d]	
Energie (Wasser)	190,40	[kWh/d]	
Energie (Wasser)	69.496,00	[kWh/a]	
Energie spez. (Wasser)	<b>0,0136</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]	

**Regenwetter**

Energie (Schlamm)	1,19	[kWh/m <sup>3</sup> ]	Handbuch
TS Gehalt	10,00	[g/l]	
TR Gehalt	25,00	[g/l]	Imhoff
Schalmmalter	25,00	[d]	
Schlammmenge	0,40	[kg/m <sup>3</sup> d]	
Beckeninhalt	14.000	[m <sup>3</sup> ]	
Schlammmenge als Volumenstrom	4.000	[kg/d]	Imhoff
	160.000	[l/d]	Imhoff
V <sub>s</sub>	160,00	[m <sup>3</sup> /d]	
Energie (Wasser)	190,40	[kWh/d]	
Energie (Wasser)	69.496,00	[kWh/a]	
Energie spez. (Wasser)	<b>0,0097</b>	[kWh/m <sup>3</sup> ]	

## Gesamter Energieverbrauch

## Trockenwetter

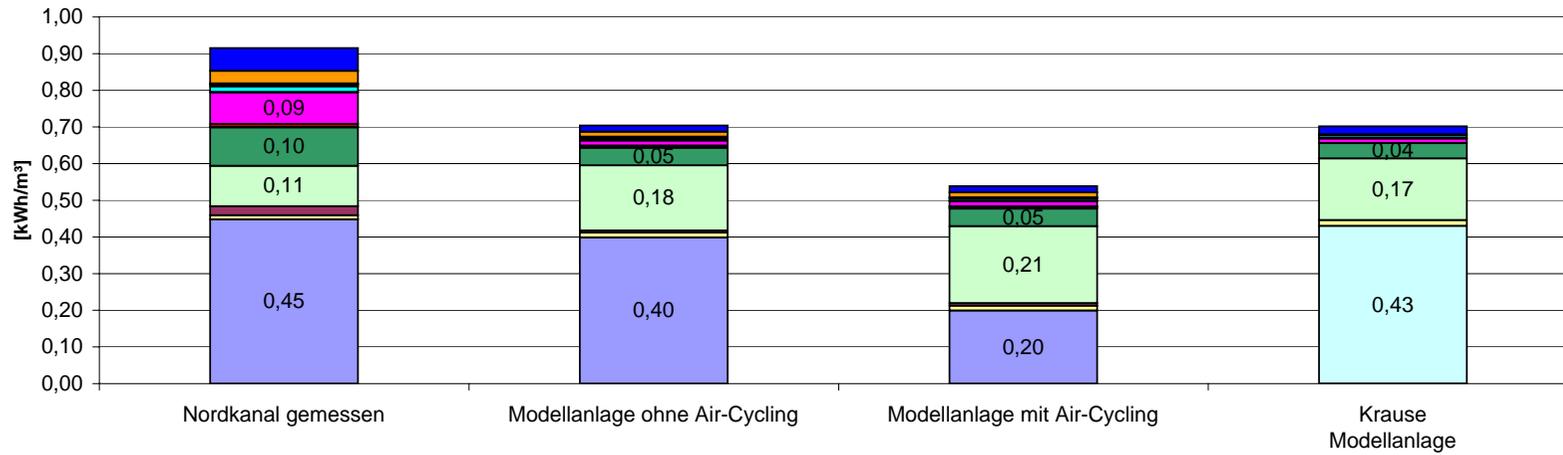
Verbraucher	Nordkanal gemessen	Modellanlage ohne Air-Cycling	Modellanlage mit Air-Cycling	Krause Modellanlage	
Belüftung CF	0,45	0,40	0,20	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
ges. Filtration	0,00	0,00	0,00	0,43	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rezipumpen	0,01	0,01	0,01	0,02	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Permeat	0,02	0,01	0,01	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Perm+Rezi	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Belüftung BB	0,11	0,18	0,21	0,17	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rührwerke	0,10	0,05	0,05	0,04	[kWh/m <sup>3</sup> ]
ÜSS Abzug	0,00	0,01	0,01	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Reinigung	0,01	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Hebewerk	0,09	0,01	0,01	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rechen	0,00	0,00	0,00	0,01	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Sandfang	0,02	0,01	0,01	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Feinsieb	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Querförderer Feinsieb	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Waschpresse Feinsieb	0,00	0,00	0,00	0,02	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Schlamm	0,03	0,01	0,01	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Infrastruktur	0,06	0,02	0,02	0,02	[kWh/m <sup>3</sup> ]
<b>Summe:</b>	<b>0,92</b>	<b>0,70</b>	<b>0,54</b>	<b>0,71</b>	<b>[kWh/m<sup>3</sup>]</b>

## Regenwetter

Verbraucher	Nordkanal gemessen	Modellanlage ohne Air-Cycling	Modellanlage mit Air-Cycling	Krause Modellanlage	
Belüftung CF	0,45	0,40	0,20	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
ges. Filtration	0,00	0,00	0,00	0,43	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rezipumpen	0,01	0,01	0,01	0,02	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Permeat	0,02	0,01	0,01	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Perm+Rezi	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Belüftung BB	0,11	0,10	0,14	0,17	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rührwerke	0,10	0,03	0,03	0,04	[kWh/m <sup>3</sup> ]
ÜSS Abzug	0,00	0,01	0,01	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Reinigung	0,01	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Hebewerk	0,09	0,01	0,01	0,01	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Rechen	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Sandfang	0,02	0,01	0,01	0,01	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Feinsieb	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Querförderer Feinsieb	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Waschpresse Feinsieb	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Schlamm	0,03	0,01	0,01	0,00	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Infrastruktur	0,06	0,01	0,01	0,02	[kWh/m <sup>3</sup> ]
<b>Summe:</b>	<b>0,92</b>	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>	<b>0,70</b>	<b>[kWh/m<sup>3</sup>]</b>

Gesamter Energieverbrauch

Vergleich gesamter Energieverbrauch (TW)

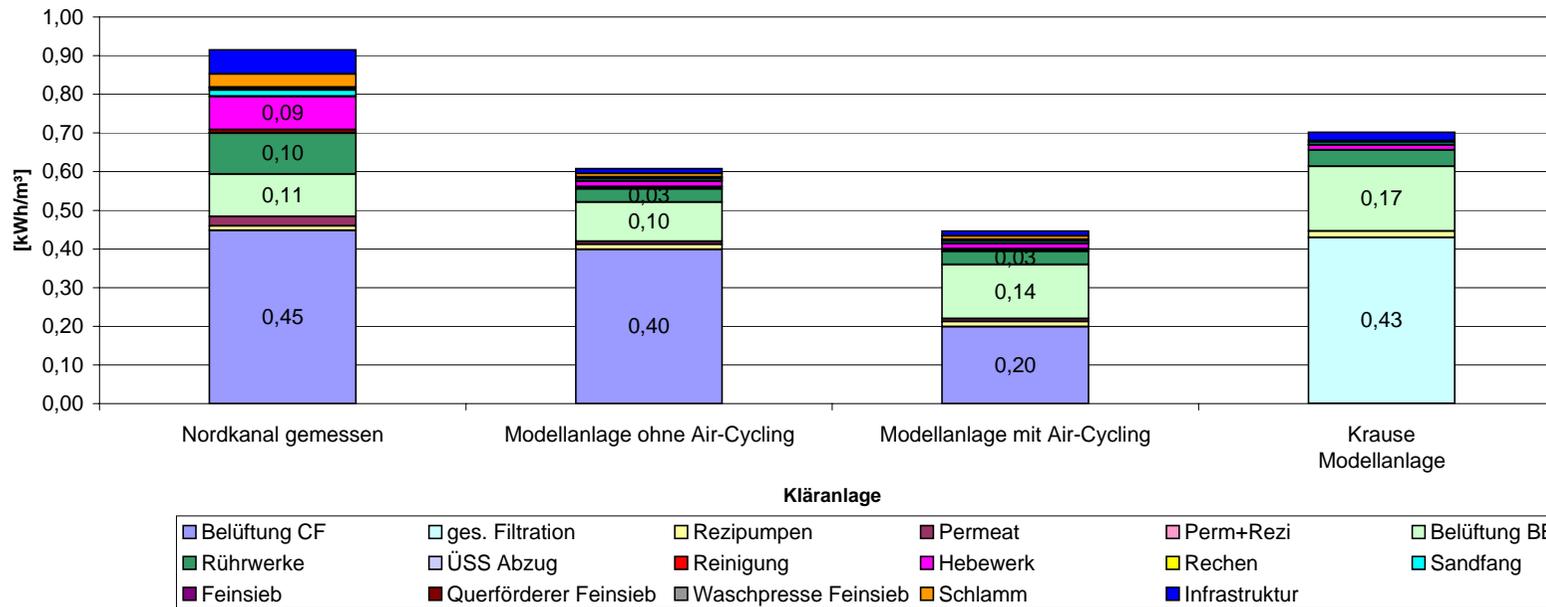


**Kläranlage**

Belüftung CF	ges. Filtration	Rezipumpen	Permeat	Perm+Rezi	Belüftung BB
Rührwerke	ÜSS Abzug	Reinigung	Hebewerk	Rechen	Sandfang
Feinsieb	Querförderer Feinsieb	Washpresse Feinsieb	Schlamm	Infrastruktur	

Gesamter Energieverbrauch

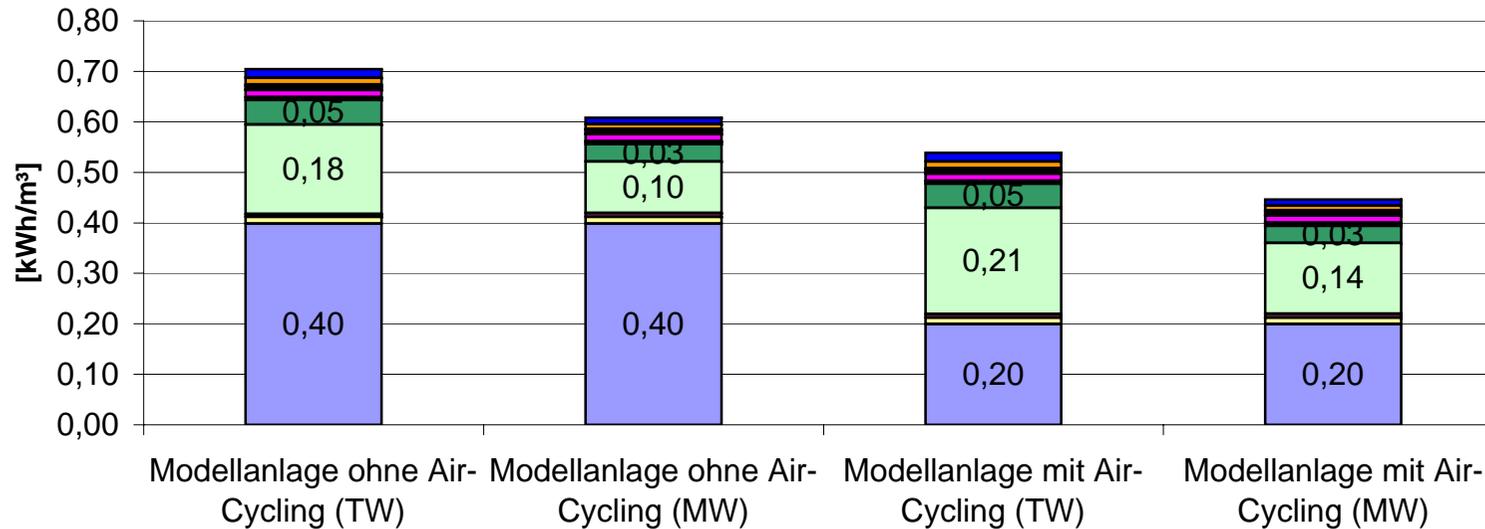
Vergleich gesamter Energieverbrauch (MW)



## Gesamter Energieverbrauch

Verbraucher	Modellanlage ohne Air-Cycling (TW)	Modellanlage ohne Air-Cycling (MW)	Modellanlage mit Air-Cycling (TW)	Modellanlage mit Air-Cycling (MW)	
Belüftung CF	0,40	0,40	0,20	0,20	[kWh/m³]
ges. Filtration	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m³]
Rezipumpen	0,01	0,01	0,01	0,01	[kWh/m³]
Permeat	0,01	0,01	0,01	0,01	[kWh/m³]
Perm+Rezi	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m³]
Belüftung BB	0,18	0,10	0,21	0,14	[kWh/m³]
Rührwerke	0,05	0,03	0,05	0,03	[kWh/m³]
ÜSS Abzug	0,01	0,01	0,01	0,01	[kWh/m³]
Reinigung	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m³]
Hebewerk	0,01	0,01	0,01	0,01	[kWh/m³]
Rechen	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m³]
Sandfang	0,01	0,01	0,01	0,01	[kWh/m³]
Feinsieb	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m³]
Querförderer Fein	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m³]
Waschpresse Fein	0,00	0,00	0,00	0,00	[kWh/m³]
Schlamm	0,01	0,01	0,01	0,01	[kWh/m³]
Infrastruktur	0,02	0,01	0,02	0,01	[kWh/m³]
<b>Summe:</b>	<b>0,70</b>	<b>0,61</b>	<b>0,54</b>	<b>0,45</b>	<b>[kWh/m³]</b>

Vergleich gesamte Energie Modell TW-MW



Kläranlage



## **ANLAGE 7**

### **Nebenrechnungen zu den Maßnahmen**

## Betrieb der Sandfanggebläse in kleiner Polstufe - S1

**Steuerzelle für alle folgenden Berechnungen**

Betrachtung kontinuierlichen Bet	0	[Steuerzelle]
oder Betriebszeiten 2007 (1)	8760	

**Abschätzung der tatsächlichen Leistungsaufnahme der Drehkolbengebläse in kleiner Polstufe (PU 2)**

	P Nenn	P Kupplung	P tats	P tats korr.
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
Gebläse PU 1	11,00	5,55	10,13	
Gebläse PU 2	9,50	2,35	4,29	4,95

Anmerkung: P Nenn ungleich Verbraucherliste, Angaben per Mail durch EV.

P Kupplung durch Auslegung der Gebläse mit exe: Aerzenblower ermittelt.

P tats mit Geradengleichung aus P Kupplung und gemessener Leistung PU 1 berechnet.

**Abschätzung der el. Energieeinsparung durch Betrieb der Drehkolbengebläse in kleiner Polstufe (PU 2)**

el. Energiepreis eff.	0,11	[€/kWh]
-----------------------	------	---------

el. Arbeit "IST"

	Leistung	Laufstunden	el. Arbeit
	[kW]	[h/a]	[kWh/a]
Gebläse Sandfang 1	10,13	4.000	40.520
Gebläse Sandfang 2	10,13	4.000	40.520
Summe			81.040

el. Arbeit "Neu"

	Leistung	Laufstunden	el. Arbeit
	[kW]	[h/a]	[kWh/a]
Gebläse Sandfang 1	4,95	4.000	19.800
Gebläse Sandfang 2	4,95	4.000	19.800
Summe			39.600

**Potenzial**

Einsparung el. Arbeit	[kWh/a]		41.440
Einsparung Kosten	[€a]		4.363

## Optimierung Cross-Flow-Belüftung - K1

<b>Energieverbrauch 2007</b>	<b>Betriebsstunden [h/a]</b>	<b>Energieverbrauch [kWh/a]</b>	<b>Leistungsaufnahme [kW]</b>
<b>Gebäse Gesamt</b>	<b>37.259</b>	<b>2.457.989</b>	<b>65,97</b>
Gebäse im Mittel	<b>4.657</b>	<b>307.249</b>	
Gebäse 1.1 Membranfiltration	4.944	326.157	
Gebäse 1.2 Membranfiltration	3.884	256.229	
Gebäse 2.1 Membranfiltration	4.526	298.582	
Gebäse 2.2 Membranfiltration	4.551	300.231	
Gebäse 3.1 Membranfiltration	4.563	301.023	
Gebäse 3.2 Membranfiltration	4.443	293.106	
Gebäse 4.1 Membranfiltration	5.199	342.980	
Gebäse 4.2 Membranfiltration	5.149	339.681	
<b>Ventilatoren Gesamt</b>	<b>37.259</b>	<b>13.791</b>	<b>0,37</b>
Ventilatoren im Mittel	<b>4.657</b>	<b>1.724</b>	
Ventilator Gebäse 1.1 Membranfiltration	4.944	1.830	
Ventilator Gebäse 1.2 Membranfiltration	3.884	1.438	
Ventilator Gebäse 2.1 Membranfiltration	4.526	1.675	
Ventilator Gebäse 2.2 Membranfiltration	4.551	1.684	
Ventilator Gebäse 3.1 Membranfiltration	4.563	1.689	
Ventilator Gebäse 3.2 Membranfiltration	4.443	1.644	
Ventilator Gebäse 4.1 Membranfiltration	5.199	1.924	
Ventilator Gebäse 4.2 Membranfiltration	5.149	1.906	
<b>Permeatpumpen Gesamt inkl. Rücksp.</b>	<b>29.119</b>	<b>136.057</b>	<b>4,67</b>
Permeatpumpen im Mittel	<b>3.640</b>	<b>17.007</b>	
Permeat Extraktionspumpe 1.1	3.713	17.323	
Permeat Extraktionspumpe 1.2	3.579	16.881	
Permeat Extraktionspumpe 2.1	3.626	17.289	
Permeat Extraktionspumpe 2.2	3.630	16.749	
Permeat Extraktionspumpe 3.1	3.693	17.987	
Permeat Extraktionspumpe 3.2	3.645	17.566	
Permeat Extraktionspumpe 4.1	3.627	16.178	
Permeat Extraktionspumpe 4.2	3.606	16.084	

Relation Laufzeit CF/Permeat:

128%

**Auswertung Zulauf zum GWK in 2007**

<u>Trockenwetterzulauf</u>	< 10.300 m <sup>3</sup> /d	(s. Diagramm "Summenhäufigkeit Zulauf GWK Nordkanal")
Anteil pro Jahr	50 %	
mittlere Filtrationszeit TW	942 s	
	15,7 min	
	0,26 h	
Vorlaufzeit CF	1,00 min	
Nachlaufzeit CF	1,00 min	
Relation Laufzeit CF/Permeat:	113%	
<u>mittl. Mischwasserzulauf</u>	> 10.300 m <sup>3</sup> /d	
Anteil pro Jahr	45 %	
mittlere Filtrationszeit RW	1.842 s	
	30,7 min	
	0,51 h	
Vorlaufzeit CF	1,00 min	
Nachlaufzeit CF	1,00 min	
Relation Laufzeit CF/Permeat:	107%	
<u>max. Mischwasserzulauf</u>	> 35.000 m <sup>3</sup> /d	
Anteil pro Jahr	5 %	
mittlere Filtrationszeit RW	25.716 s	
	428,6 min	
	7,14 h	
Vorlaufzeit CF	1,00 min	
Nachlaufzeit CF	1,00 min	
Relation Laufzeit CF/Permeat:	100%	

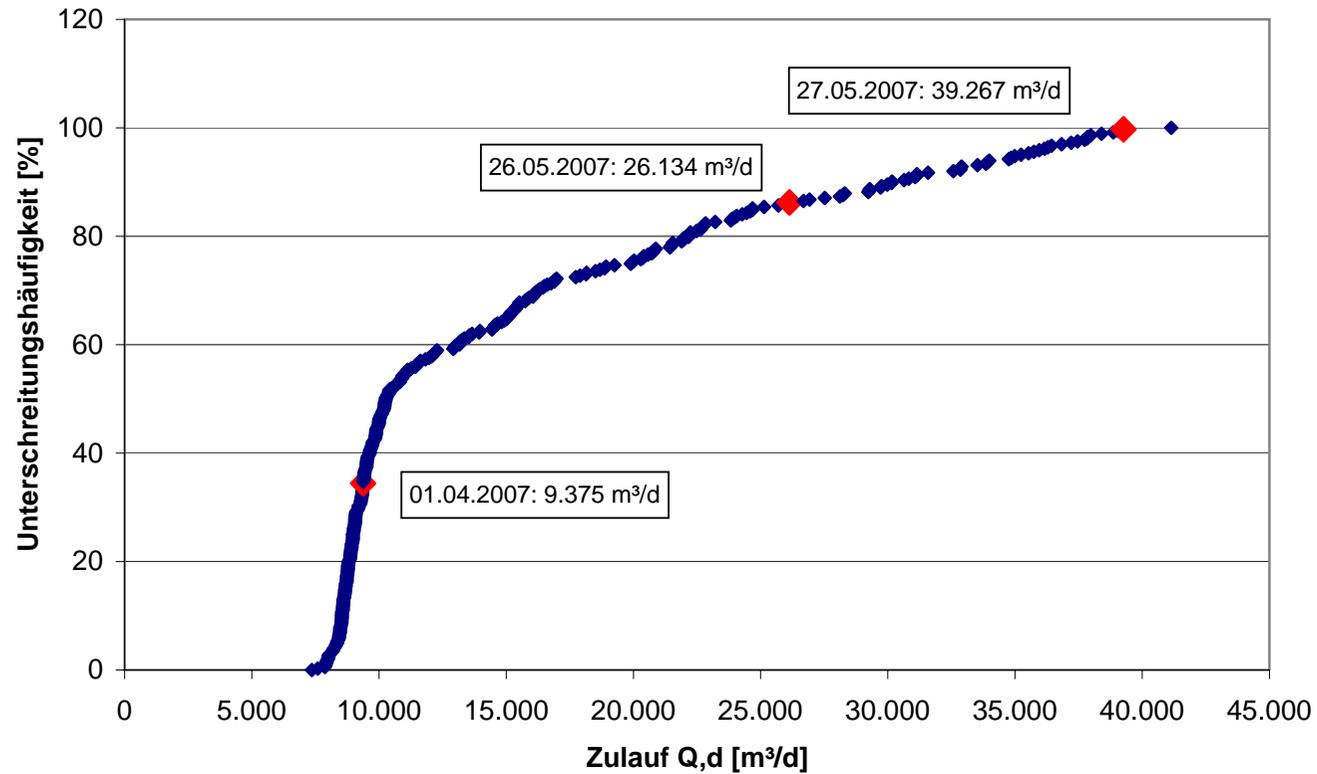
Theoretischer Energieverbrauch:	Betriebsstunden [h/a]	Energieverbrauch [kWh/a]	Leistungsaufnahme [kW]
Permeat Gesamt	29.119	136.057	4,67
Gebäse Gesamt	31.834	2.100.109	65,97
gerundet	<b>31.800</b>	<b>2.097.857</b>	65,97
Ventilatoren Gesamt	31.834	11.783	0,37
gerundet	<b>31.800</b>	<b>11.770</b>	0,37
$\Delta$ (Gebläse <sub>tats.</sub> - Gebläse <sub>theor., gerundet</sub> )	5.459	360.132	
$\Delta$ (Ventilatoren <sub>tats.</sub> - Ventilatoren <sub>theor., gerundet</sub> )	5.459	2.021	

Relation Laufzeit CF/Permeat theor.: 109%

**Einsparung:** 38.026 €a  
effektiver Energiepreis 10,5 Ct/kWh

Optimierung Cross-Flow-Belüftung - K1

Summenhäufigkeit Zulauf GKW Nordkanal



## Optimierung der Rührwerke der Denitrifikations- und Variozonen – K3

Variante Flygt**Abschätzung der el. Energieeinsparung durch Betrieb der RW Deni mit Frequenzumwandlern**

el. Energiepreis eff.	0,11	[€/kWh]
Betrachtung FU	1	[0=Nein;1=Ja]

el. Arbeit "IST"

	Leistung [kW]	Laufstunden [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Rührwerk DENI Strasse 1	1,67	8.718	14.538
Rührwerk DENI Strasse 2	1,67	8.717	14.537
Rührwerk DENI Strasse 3	1,67	8.699	14.507
Rührwerk DENI Strasse 4	1,67	8.695	14.500
Summe			58.081

el. Arbeit "Neu-Flygt"

	Leistung [kW]	Laufstunden [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Rührwerk DENI Strasse 1	1,03	8.718	8.971
Rührwerk DENI Strasse 2	1,03	8.717	8.970
Rührwerk DENI Strasse 3	1,03	8.699	8.951
Rührwerk DENI Strasse 4	1,03	8.695	8.947
Summe			35.839

Potential

<b>Einsparung el. Arbeit</b>	<b>[kWh/a]</b>		<b>22.242</b>
<b>Einsparung Kosten</b>	<b>[€a]</b>		<b>2.342</b>

## Abschätzung der el. Energieeinsparung durch Betrieb der RW Vario mit Frequenzumwandlern

### el. Arbeit "IST"

	Leistung [kW]	Laufstunden [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Rührwerk VARIO Strasse 1 BB1	1,50	8.717	13.033
Rührwerk VARIO Strasse 2 BB2	1,67	8.715	14.533
Rührwerk VARIO Strasse 3	1,55	8.699	13.506
Rührwerk VARIO Strasse 4	1,55	8.697	13.503
Summe			54.575

### el. Arbeit "Neu-Flygt"

	Leistung [kW]	Laufstunden [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Rührwerk VARIO Strasse 1 BB1	0,67	8.717	5.858
Rührwerk VARIO Strasse 2 BB2	0,67	8.715	5.856
Rührwerk VARIO Strasse 3	0,67	8.699	5.846
Rührwerk VARIO Strasse 4	0,67	8.697	5.844
Summe			23.404

### Potential

<b>Einsparung el. Arbeit</b>	<b>[kWh/a]</b>		<b>31.171</b>
<b>Einsparung Kosten</b>	<b>[€a]</b>		<b>3.282</b>

### Potential beider Becken

<b>Einsparung el. Arbeit</b>	<b>[kWh/a]</b>		<b>53.413</b>
<b>Einsparung Kosten</b>	<b>[€a]</b>		<b>5.623</b>

## Implementierung einer Gleitdruckregelung - K4

Abschätzung der el. Energieeinsparung durch Implementierung einer Gleitdruckregelung für die Nitrifikationsgebläse auf dem GWK Nordkanal

el. Energiepreis eff.	0,11	[€/kWh]
-----------------------	------	---------

Reduktion der Leistungsauf	2,5%	[%]
----------------------------	------	-----

el. Arbeit "IST"

	Leistung [kW]	Betriebszeit [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Gebläse 1 Belebung	58,6	2.017	118.284
Gebläse 2 Belebung	57,7	2.125	122.660
Gebläse 3 Belebung	57,3	2.125	121.821
Gebläse 4 Belebung	55,7	2.126	118.380
Gebläse 5 Belebung	57,8	2.126	122.858
Summe			604.003

el. Arbeit "Neu"

	Leistung [kW]	Betriebszeit [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Gebläse 1 Belebung	57,2	2.017	115.327
Gebläse 2 Belebung	56,3	2.125	119.593
Gebläse 3 Belebung	55,9	2.125	118.775
Gebläse 4 Belebung	54,3	2.126	115.420
Gebläse 5 Belebung	56,3	2.126	119.786
Summe			588.903

Potential

Einsparung el. Arbeit	[kWh/a]	15.100
Einsparung Kosten	[€a]	1.590

## Ersatz der Sandfanggebläse - K5

**Steuerzelle für alle folgenden Berechnungen**

Betrachtung kontinuierlichen Betriebszeiten 2007 (1)	0	[Steuerzelle]
oder Betriebszeiten 2007 (1)	8760	

**Variante 1: "Ohne Betrachtung der Sofortmaßnahme"**

el. Energiepreis eff.	0,11	[€/kWh]
-----------------------	------	---------

el. Arbeit "IST" bei täglich alternierendem Betrieb der vorhandenen Gebläse

	Leistung [kW]	Laufstunden [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Gebläse Sandfang 1	10,13	4.000	40.520
Gebläse Sandfang 2	10,13	4.000	40.520
Summe			81.040

el. Arbeit "Neu"

	Leistung [kW]	Laufstunden [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Gebläse Sandfang 1	1,60	8.000	12.800
Gebläse Sandfang 2	1,60	8.000	12.800
Summe			25.600

**Potenzial**

<b>Einsparung el. Arbeit</b>	<b>[kWh/a]</b>		<b>55.440</b>
<b>Einsparung Kosten</b>	<b>[€/a]</b>		<b>5.837</b>

**Variante 2: "Mit Betrachtung der Sofortmaßnahme"**

el. Energiepreis eff.	0,11	[€/kWh]
-----------------------	------	---------

el. Arbeit "IST" bei täglich alternierendem Betrieb der vorhandenen Gebläse

	Leistung [kW]	Laufstunden [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Gebläse Sandfang 1	4,95	4.000	19.800
Gebläse Sandfang 2	4,95	4.000	19.800
Summe			39.600

el. Arbeit "Neu"

	Leistung [kW]	Laufstunden [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Gebläse Sandfang 1	1,60	8.000	12.800
Gebläse Sandfang 2	1,60	8.000	12.800
Summe			25.600

**Potenzial**

<b>Einsparung el. Arbeit</b>	<b>[kWh/a]</b>		<b>14.000</b>
<b>Einsparung Kosten</b>	<b>[€/a]</b>		<b>1.474</b>

## Außerbetriebnahme des Sandfanggerinnes - A1

### Steuerzelle für alle folgenden Berechnungen

Betrachtung kontinuierlichen Be	0	[Steuerzelle]
oder Betriebszeiten 2007 (1)	8760	

el. Energiepreis eff.	0,11	[€/kWh]
-----------------------	------	---------

el. Arbeit "IST" bei Betrieb der optimierten Gebläse ohne Außerbetriebnahme eines Gerinnes

	Leistung [kW]	Laufstunden [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Gebläse Sandfang 1	1,60	8.000	12.800
Gebläse Sandfang 2	1,60	8.000	12.800
Sandentnahmepumpe 1	1,86	700	1.303
Sandentnahmepumpe 2	1,86	700	1.303
Summe			28.206

el. Arbeit "Neu"

	Leistung [kW]	Laufstunden [h/a]	el. Arbeit [kWh/a]
Gebläse Sandfang 1	1,60	8.000	12.800
Gebläse Sandfang 2	1,60	0	0
Sandentnahmepumpe 1	2,05	700	1.434
Sandentnahmepumpe 2	1,86	0	0
Summe			14.234

Anmerkung: Leistungsaufnahme der Entnahmepumpe um 10 % erhöht um "höhere Menge" Sandfanggut abzubilden.

### Potenzial

<b>Einsparung el. Arbeit</b>	<b>[kWh/a]</b>		<b>13.973</b>
<b>Einsparung Kosten</b>	<b>[€a]</b>		<b>1.471</b>

## **ANLAGE 8**

### **Verfahrensbeschreibung Abluftbehandlung**

## **Allgemeines**

Die Luftionisation ist ein Naturvorgang, der seit Urzeiten die Lufthülle der Erde entkeimt und desodoriert. Im Prinzip geschieht dies durch die Mikrooxydation des elektrisch geladenen Luftsauerstoffs. Diese Molekularladung entsteht in grosser Quantität durch die Umwandlung der Sonnenstrahlen in freie Elektronen, welche die Sauerstoffatome mit ca. 1,5 Volt laden. Die elektronegativ geladenen Sauerstoffatome nennt man Sauerstoffionen. Sie haben gegenüber neutralem Sauerstoff eine erhöhte Anlagerungsfähigkeit und Oxidabilität. Diese Eigenschaften befähigen sie, Luftverunreinigungen im molekularen Bereich innerhalb von Sekunden zu oxidieren und damit zu neutralisieren.

Nicht anders ist es bei der Wirkungsweise und Funktion der Ionisationssysteme. Reine, gesunde, frische Luft entsteht durch Inaktivierung von Keimen und Geruchsmolekülen durch Oxidation mittels hochreaktiven Sauerstoffionen. Eine gleichzeitige Ionisation des Luftsauerstoffes hat nachweislich eine positive Auswirkung auf das Wohlbefinden des Menschen. Vorgänge, die in einer intakten Umwelt die Luft in unserem Lebensraum ständig regenerieren. Diese natürliche Art, Keime abzutöten, Gerüche zu neutralisieren und Schadstoffe abzubauen, wird von Ionisationssystemen kopiert und auf die Verhältnisse in geschlossenen Räumen oder Abluftströmen übertragen. Mit Hilfe der Elektronik wird dieser natürliche Vorgang künstlich in Gang gesetzt und bedarfsgerecht dosiert.

Die Frage, ob die mit den Ionisationselementen erzeugten Sauerstoffionen den natürlichen Sauerstoffionen entsprechen, wurde in einer fünfjährigen Untersuchung des Forschungsdepartements der CIBA-GEIGY AG Schweiz, unter der Leitung von Direktor Dr. H. Hurni, unter Reinraumbedingungen, untersucht. Der darüber vorliegende Bericht - Luftdesinfektion - stellt fest, dass beim Ionisations - Element 1. schon bei: 0,001 ppm, eine Keimabtötungsrate von 80 - 90 % erreicht wurde. Außerdem wurden im Raum die Gerüche neutralisiert und es entstand eine verbesserte Atemluft. Das entspricht den natürlichen Werten, der von der Sonne erzeugten Sauerstoffionen in der Biosphäre. Publiziert in: Reinraumtechnik II 1974.

Die Funktion der Ionisations - Elemente besteht somit darin, die natürlichen Sauerstoffionen wieder herzustellen. Dies geschieht durch Elektronenröhren, welche mit kleinsten Energien strahlungsfrei arbeiten. Durch die erzeugten Sauerstoffionen werden die normalen, bioklimatischen Verhältnisse wieder hergestellt.

Die Messung des Oxidationswertes in der Luft, im Volksmund fälschlicherweise als "Ozonwert" bezeichnet, ist eine summarische Messung der Ozonkonzentration sowie von Sauerstoffionen, um in der Luft einen gemeinsamen Grenzwert bestimmen zu können.

Der zulässige "Ozonwert" in der Luft, der sogenannte MAK-Wert (= Maximale Arbeitskonzentration) beträgt in Europa

### **0.1 ppm, beziehungsweise 0.2 mg/kg**

Früher sprach man oft von ozonreicher Luft, welche die Luft frisch und gesund machen. Heute weiß man, dass es sich dabei um die natürlichen Sauerstoff - Ionen handelt. Streng genommen ist Ozon jener Sauerstoff, der vom Chemiker als O<sub>3</sub> bezeichnet wird. Dieses O<sub>3</sub> reagiert spontan und aggressiv. Das Einatmen von Ozon in höheren Konzentrationen ab 0.1 ppm ist daher schädlich. Es greift die Schleimhäute der Augen und der Atemwege an und ist daher von Medizinern leicht zu diagnostizieren.

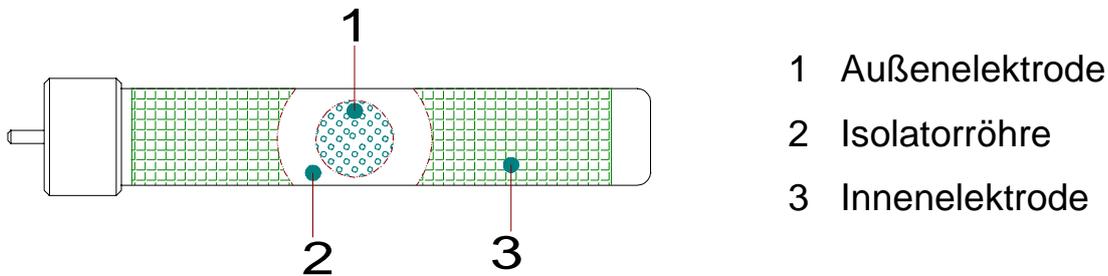
Demgegenüber reagieren Sauerstoff - Ionen in der Luft langsamer und milder, so dass sie für Mensch und Tier gut verträglich sind. In der Luft führen die Sauerstoff - Ionen zu folgenden Charakteristiken:

- a) Die Luftentkeimung reduziert die Anzahl der Bakterien in der Luft und verhindert so die Ansteckung.
- b) Die Geruchsneutralisation hat Einfluss auf die Atemtiefe und auf unser Befinden.
- c) Die Atembarkeit der Luft wird durch die Luftionen messbar verbessert und hebt den Blutsauerstoff.

## Aufbau und Funktion

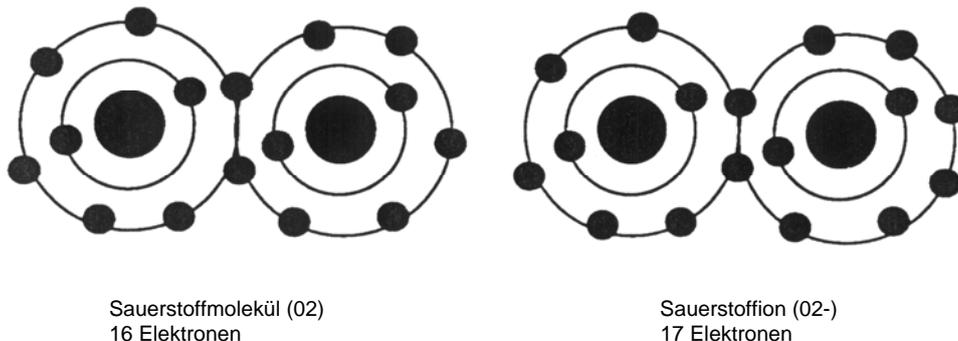
Das NEUTROX - Luftionisationsgerät besitzt eine Isolatorröhre, in deren Innenraum sich eine hülsenförmige Innenelektrode befindet, während eine hülsenförmige Außenelektrode auf der Außenfläche der Isolatorröhre aufgeschoben ist. Die Außenelektrode ist aus einem speziellen Drahtgewebe geformt, an dem nach Anlegen einer Hochspannung von ca. 2.800 Volt Koronaren entstehen, durch die eine diffuse Elektronenemission erreicht wird.

Abb. 1  
Ionisationsröhre



Wird einem Elektron gewisse Energie zugeführt, wird es angeregt und springt in eine höhere, kernfreie Energiestufe (Schale). Wird ausreichend Energie zugeführt, verlässt das Elektron das neutrale Atom. Diesen Vorgang nennt man Ionisation. Die notwendige Energie, um ein Elektron aus dem Atom herauszureißen heißt Ionisierungsenergie oder Ionisierungspotential.

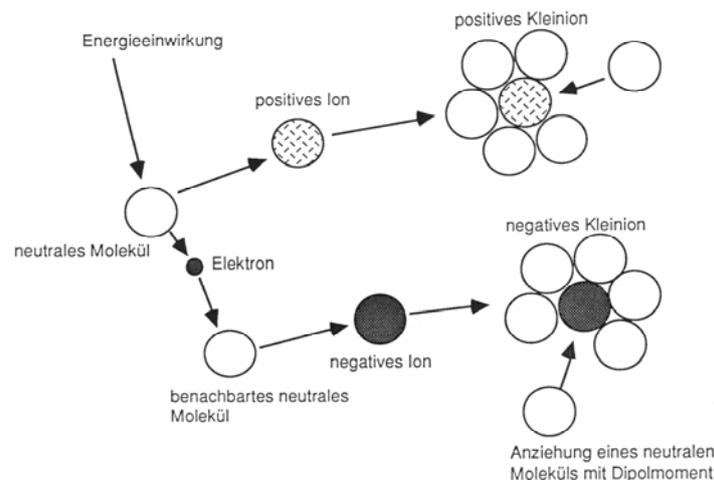
Abb. 2  
Sauerstoff - Molekül und Sauerstoffion



Für saubere Luft  
 Für angenehmes Klima  
 Für eine gesunde Umwelt

Diese spezielle Elektronenemission bewirkt, dass jeweils nur ein Atom eines Sauerstoff-Moleküls ( $O_2$ ) mit zusätzlichen Elektronen versehen wird. Die so ungleich geladenen Sauerstoffionen verketteten und gruppieren sich in der Folge zu aktiven, traubenförmigen Sauerstoffkomplexen (Sauerstoff-Molekül-Komplexe).

Abb. 3  
 Schematische Darstellung der Entstehung von Luftionen



Die Sauerstoffionen sind gegen außen praktisch neutral, bewirken aber aufgrund ihres höheren energetischen Potentials eine wirksame Oxydation von Keimen, Bakterien, Luftschadstoffen und Geruchsaerosolen.

Es entstehen beim Ionisationsprozess in der Luft Sauerstoffmoleküle mit ungleicher Polarität, welche sich zu Sauerstoffmolekülen von 10 - 60  $O_2$  Ionen, zusammen schliessen.

Die luftreinigende Wirkung der Sauerstoffionen beruht auf ihrer höheren energetischen Stufe und auf ihrer molekularen Konzentration, so dass sie die Schadstoffe und Keime in der Luft eliminieren können.

Sauerstoffionen erhöhen zudem die Sauerstoffabsorption der Lunge und steigern damit das physische Leistungsvermögen wodurch das Wohlbefinden und die Konzentration, dank gereinigter Frischluft, gefördert wird.

## Drei Ionenkategorien

Die diversen Wasser- und Sauerstoffionen haben die Tendenz, sich mit anderen Ionen und Molekülen traubenförmig zusammenzuballen. Dabei bilden diese Gruppen, je nach involvierten Partikeln und Partikelzahl a) Kleinionen, b) Mittelionen, c) Großionen. Die wichtigsten Eigenschaften der Ionenkategorien sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1

Eigenschaften der Ionen in Erdbodennähe

	<b>Kleinionen</b>	<b>Mittelionen</b>	<b>Großionen</b>
Radius (cm)	$6 \times 10^{-8}$	$(1-5) \times 10^{-7}$	$10^{-6} - 10^{-5}$
Elementarladungen	$\pm 1$	0 oder $\pm 1$	0 bis $\pm 10$
Beweglichkeit ( $\text{cm}^2/\text{Vs}$ )	1.5	$10^{-1} - 10^{-2}$	$10^{-2} - 10^{-4}$
Lebensdauer	30 - 300 sec	Minuten - Stunden	Tage - Wochen
Konzentration ( $\text{cm}^3$ )	100 - 1000	$(1-10) \times 10^3$	ca. $10^6$

### **Kleinionen**

bestehen aus mehreren bis einigen Dutzend Luftmolekülen, welche gesamthaft elektrisch geladen sind (ca.  $16 \times 10^{-20}$  Coulomb), d.h. auch Ionen beinhalten. Kleinionen sind sehr mobil und können durch die Lungen oder auch durch die Haut in den Körper eindringen. In den Lungenalveolen werden elektrisch negative Sauerstoffionen durch die leicht positiven roten Blutkörper bevorzugt aufgenommen.

Im Mittel enthält ein Kubikzentimeter reiner Luft auf Meereshöhe etwa 500 negative und 600 positive Kleinionen. Vergleichsweise ist der mittlere Molekülgehalt desselben Kubikzentimeters bei ca.  $2.75 \times 10^{19}$  anzusetzen. Die Lebensdauer der Kleinionen ist sehr kurz und kann in stark verschmutzter Luft nur wenige Sekunden betragen. Je reiner die Luft, desto länger ist die Lebensdauer der Kleinionen.

## **Mittelionen**

entstehen durch die fortdauernde Anlagerung von neuen Molekülen (Ionen) an Kleinionen. Sie beinhalten entsprechend im Vergleich zu Kleinionen eine größere Anzahl von aneinander haftenden Teilchen. Sie haben entsprechend eine kleinere Beweglichkeit, dafür eine längere Lebenserwartung.

## **Großionen**

auch Langevin - Ionen genannt, unterscheiden sich deutlich von den oben genannten Typen. Sie bestehen im wesentlichen aus elektrisch geladenen Staubpartikeln und haben deshalb deutlich verschiedene Eigenschaften wie eine äußerst lange Lebenszeit und eine sehr geringe Mobilität. Sie neigen dazu, Feuchtigkeit hygroskopisch aufzunehmen und können als Kondensationskerne ("Aitken -Nuklei") Wolkenbildungen injizieren. Sie neigen zudem zu rascher Sedimentation am Boden oder an exponierten Flächen. In stark verunreinigter Luft sind Großionen weitaus häufiger als Klein- und Mittelionen. Werte von 50.000 Ionen und mehr sind im Bereich von Großstädten typisch. Die Großionen können sowohl positiv wie auch negativ geladen sein, doch zeigen diverse Beobachtungen, dass die Anzahl positiver Ionen in der Regel weitaus größer ist.

## Luftionen in der Natur

Die Anzahl der Ionen je Kubikzentimeter Luft unterliegt großen Schwankungen. Kleinionen in reiner Luft, beispielsweise in Wäldern, gibt es bis 1.000 pro cm<sup>3</sup>, am Meeresspiegel 500 - 600 pro cm<sup>3</sup>.

In verunreinigter und belasteter Stadtluft dagegen beträgt die Zahl der Kleinionen typischerweise 80 - 300 pro cm<sup>3</sup>. In geschlossenen Büroräumen, besonders in denjenigen, welche aus Umweltschutz- und Energiespargründen gegen die Außenwelt gut isoliert sind, sinkt die Kleinionen - Konzentration mangels Luftaustausch und eigener Quellen noch weiter ab.

Untenstehende Tabelle gibt einen Überblick über die Konzentration positiver und negativer Kleinionen unter verschiedenartigen Bedingungen.

Tabelle 2

Typische Ionenkonzentrationen im freien und in geschlossenen Gebäuden

Ort	positive Kleinionen	negative Kleinionen
ländliche Gebiete	1200	1000
Kleinstadt	800	700
Großstadt	500	300
Privathäuser(Land)	1000	800
klim. Büroräume (Land)	100	100
klim. Bürogebäude (Großstadt)	150	50

Für saubere Luft  
Für angenehmes Klima  
Für eine gesunde Umwelt

## Anlagenkonzepte

Abb. 1  
Ein Gesamtkonzept

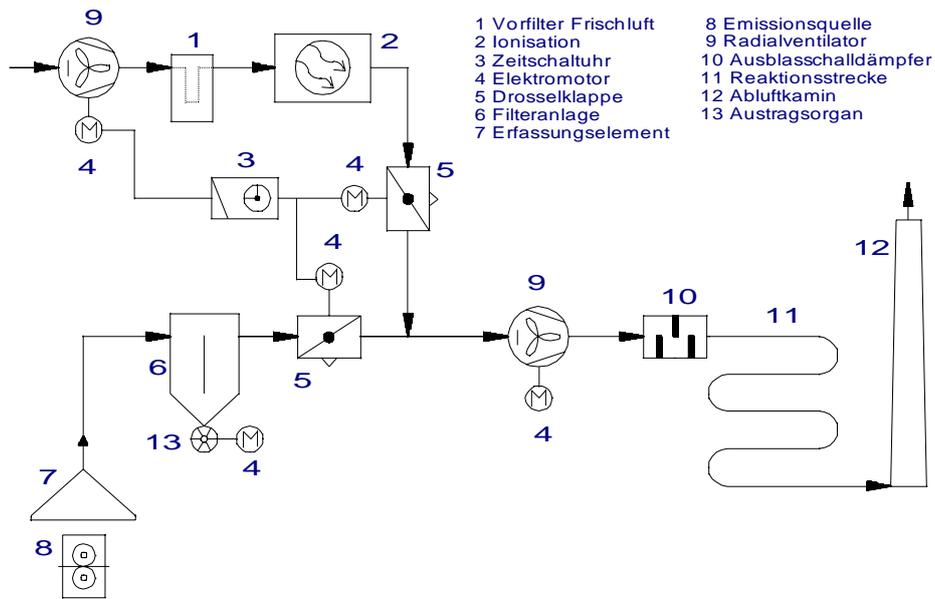


Abb. 2  
Bypass – System zum Einbringen hochionisierter Additivluft in feststoffbeladene bzw. verschmutzte Abluft

- > Rohgas ggf. vorbehandelt
- > max. 5 mg/m<sup>3</sup> Staubbelastung
- > vorteilhaft partikelfrei
- > max. 80°C
- > max. 90 % rel. Feuchte

