Anleitung zur Analyse des Energieverbrauchs in Abwasserreinigungsanlagen des Kantons Zürich

Baudirektion
Kanton Zürich

AWEL Amt für
Abfall, Wasser, Energie und Luft

Januar 2007/ August 2009

Impressum

Herausgeber:

AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft

Abteilung Gewässerschutz
Sektion Abwasserreinigungsanlagen
Hardturmstrasse 105
8090 Zürich

Abteilung Energie
Stampfenbachstrasse 12
Postfach
8090 Zürich

www.awel.zh.ch

Autoren

Erich Hungerbühler, Hunziker-Betatech AG, Winterthur
Erich Meier, AWEL, Abteilung Gewässerschutz, Zürich
Heinz Villa, AWEL, Abteilung Energie, Zürich

Titelbild:
ARA Furt, Bülach

Zürich, Januar 2007 / August 2009

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung 4

2. Zielsetzung der Studie 5

3. Energieanalyse bei Grossverbrauchern 6

3.1 Zielsetzung 6
3.2 Energieflüsse in Abwasserreinigungsanlagen 7
3.3 Energieanalyse Strom 7
3.4 Energieanalyse Wärme 8

4. Energieverbraucher in Abwasserreinigungsanlagen 9

4.1 Stromverbraucher 9
4.2 Wärmeverbraucher 12

5. Richtwerte für den Energiebedarf 12

5.1 Einleitung 12
5.2 Richtwerte für den Strombedarf 12
5.3 Richtwerte für den Wärmebedarf 23

6. Energieverbrauch in Zürcher Abwasserreinigungsanlagen 25

6.1 Einleitung 25
6.2 Trocknung / Wärme 25
6.3 Strombedarf einzelner Verfahrensstufen 26
6.3.1 ARA Furt, Bülach 26
6.3.2 ARA Flos, Wetzikon 27

7. Verifizierung der Richtwerte für den Strombedarf 28

Anhang 30

Literaturverzeichnis

Idealwerte Energieverbrauch pro Verfahrensstufe für eine Modellanlage von 100'000 EW [2]

Verwendete Abkürzungen

1. Einleitung

Paragraf 13a des Kantonalen Energiegesetzes Zürich (EnG) verlangt, dass Grossverbraucher von Energie ihren Verbrauch analysieren und Massnahmen für die Energieeinsparung aufzeigen (Energieverbrauchsanalyse). Als Grossverbraucher gilt ein Bezüger mit einem jährlichen Verbrauch von mehr als 0.5 Gigawattstunden elektrisch oder 5 Gigawattstunden thermisch. Rund 20 Abwasserreinigungsanlagen (ARA) im Kanton Zürich gehören in diese Kategorie der Grossverbraucher.

Im Mai 2002 wurden die betroffenen Inhaber und Betreiber von ARA mittels Broschüren und Infoveranstaltungen über den Vollzug von §13a des EnG orientiert. Dabei wurden sie eingeladen, mit der Baudirektion entweder eine Zielvereinbarung in einer Gruppe abzuschliessen oder einzeln eine Energieverbrauchsanalyse mit Nennung von Massnahmen zur Energieeinsparung zu erstellen und diese innert drei Jahren umzusetzen.

Im Mai 2005 fand eine weitere Infoveranstaltung mit den ARA-Betreibern statt. Dabei zeigte sich, dass eine Zielvereinbarung in einer Gruppe für die ARA-Inhaber nicht als erstrangig in Betracht gezogen wurde. Gründe hierfür waren die bereits durchgeführten Energieverbrauchsanalysen (Grob- und Feinanalysen) sowie kürzlich erfolgte umfangreiche Sanierungen der betroffenen Anlagen.

Mit dem Programm "Energie auf Abwasseranlagen" wurde bereits Mitte der Neunziger-Jahre ein Projekt gestartet, mit dem die Energieverbrauchssituation in ARA systematisch untersucht und Sparmassnahmen bei der Realisierung von Sanierungsprojekten umgesetzt wurden. Das erste Energiehandbuch "Energie in ARA" aus dem Jahr 1994 [1] wurde 1999 [2] für das Bundesland Nordrhein - Westfalen weitergeführt. Weitere Studien zur Thematik folgten. [3, 6].

Grobanalyse

Grundlage für die grobe Beurteilung des Energieverbrauchs bilden Richtwerte für:

- den spezifischen Energieverbrauch pro EW für die biologische Stufe und die gesamte ARA
- die Ausnutzung der Energieträger
- den Eigenversorgungsgrad der Anlagen mit Elektrizität und Wärme

Feinanalyse

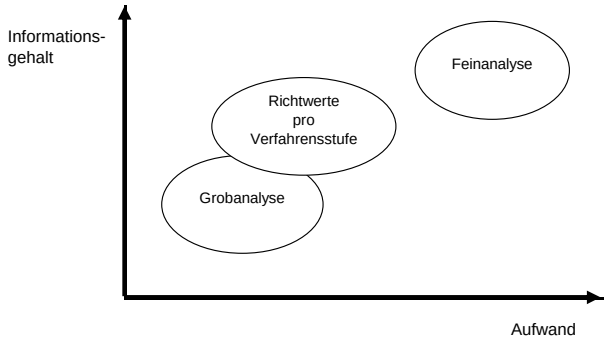
Bei einer Feinanalyse wird zusätzlich der Energieverbrauch einzelner Aggregate überprüft und mit dem Energieverbrauch bei einem optimierten Betrieb verglichen. Mit einer Feinanalyse können Massnahmen und deren Kosten / Nutzen- Verhältnis abgeleitet werden. Dies sind Schritte, die Bestandteil der Energieanalyse bei Grossverbrauchern sind.

Fachleute gehen davon aus, dass, verglichen mit einer ARA, die 1990 saniert wurde, bei später sanierte ARA bereits einen Grossteil des Optimierungspotentials ausgeschöpft ist. Knapp die Hälfte der betroffenen ARA im Kanton Zürich hat zu diesem Zweck eine Grob- und/oder Feinanalyse nach den Vorgaben des Energiehandbuchs durchgeführt. Der Einbezug dieser vorhandenen Untersuchungen wird als notwendig erachtet.

2. Zielsetzung der Studie

Die vorliegende Studie soll den ARA-Grossverbrauchern die Möglichkeit geben, mittels Richtwerten, die sich auf die einzelnen Verfahrensstufen beziehen und mit Anlagen im Kanton Zürich verifiziert wurden, die Energiesituation auf ihrer Anlage zu überprüfen.

Mit den Richtwerten liegt ein Instrument für die energetische Beurteilung einzelner Verfahrensstufen und der Gesamtanlage vor. Die im Bericht erarbeiteten Richtwerte erlauben für die Analyse des Stromverbrauchs eine detailliertere Aussage als mit der Grobenergieanalyse, wie sie im Energiehandbuch [1] beschrieben wird. Die Aussage der Feinanalyse, in der einzelne Aggregate beurteilt werden, ist noch aussagekräftiger. Der Aufwand für eine Feinanalyse ist aber entsprechend grösser.



Der Vergleich zwischen Richtwert und IST-Wert pro Verfahrensstufe zeigt den ARA-spezifischen Handlungsbedarf auf. Verfahrensstufen mit Einsparpotenzial können in der Folge mit einer Feinanalyse genauer beurteilt werden.

Aus der Feinanalyse wird ein Energieoptimierungspotenzial abgeleitet, das im Rahmen künftiger Sanierungsschritte realisiert werden kann. Voraussetzung dafür ist ein Nachweis der Wirtschaftlichkeit der Massnahmen.

Die Richtwerte basieren auf aktuell verbreiteten Technologien. Das Potenzial von Weiterentwicklungen von Aggregaten - wie die Optimierung von Blockheizkraftwerken (BHKW) oder der Einsatz von Brennstoffzellen - ist im jetzigen Zeitpunkt nicht quantifizierbar und wird deshalb bei der Festlegung von Richtwerten für den Energieverbrauch nicht berücksichtigt.

Die Richtwerte zeigen ein mögliches Sparpotenzial bei den Stromverbrauchern auf. Eine Einsparung von extern bezogenem Strom ist aber auch mit einer Optimierung im Bereich der Gasproduktion/Gasnutzung auf der ARA möglich. Auf dieses Reduktionspotenzial wird in der Studie nicht weiter eingegangen, es soll aber - soweit dies mit wirtschaftlichen Massnahmen möglich ist - ausgeschöpft werden.

Beispiel: Anhand von Tabelle 4 kann für eine ARA mit einer Belastung von 30'000 Einwohnerwerten (EW) folgender Strombedarf bzw. das folgende Sparpotential abgeschätzt werden:
Der gesamte Strombedarf beträgt gemäss Richtwert in Tabelle 4 ca. 3'000 kWh/d.
((36.1 kWh/(EW*a) / 365 d/a)* 30'000 EW)

Die spezifische Gasproduktion sollte > 450 l/kg org. TS resp. 25 - 30 l/(EW*d) erreichen.

Bei 25 l/EW*d Faulgasproduktion und vollständiger Nutzung des Gases über ein BHKW mit 30% Wirkungsgrad beträgt der Strombezug ab Netz noch ca. 1’600 kWh/d.
Bei 30 l/EW*d reduziert sich der Strombezug ab Netz auf ca. 1'350 kWh/d.

Nur schon mit der Steigerung der Gasproduktion kann bei optimaler Nutzung des Gases im BHKW der Strombezug ab Netz um ca. 16 % reduziert werden.

3. Energieanalyse bei Grossverbrauchern

3.1 Zielsetzung

Private und öffentliche Unternehmen oder Körperschaften mit einer Verbrauchsstätte (z.B. ARA), deren jährlicher Wärmeverbrauch 5 GWh oder deren jährlicher Stromverbrauch 0.5 GWh übersteigt, gelten als Grossverbraucher. Massgebend ist der Strombezug ab Netz.

Grossverbraucher sind aufgefordert, eine Energieanalyse vorzunehmen. Dazu stehen ihnen zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

Variante 1: Zielvereinbarung von Gruppen oder einzelnen Verbrauchern mit der Baudirektion.

Variante 2: Die einzelnen ARA-Grossverbraucher führen eine individuelle Energieverbrauchsanalyse durch, woraus das Energiesparpotenzial ermittelt werden kann.

Dabei sind unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit technisch und betrieblich realisierbare Massnahmen aufzuzeigen und realisieren, mit denen der gesamte aktuelle Energieverbrauch der Anlage um 15 % über einen Zeitraum von 10 Jahren reduziert werden kann. Die elektrische Energie wird dabei mit einem Faktor 2 gewichtet [5].

Wichtig für die betroffenen ARA sind folgende Rahmenbedingungen:

- Wurden in den vergangenen 5 Jahren massgebliche Energieeinsparungen durch bereits realisierte Massnahmen bewirkt, kann die anzustrebende Reduktion geringer ausfallen.
- Massnahmen zur Energieeinsparung sollen im Rahmen einer langfristigen Finanzplanung realisiert werden. Wirtschaftlich interessante Massnahmen sind vorzuziehen.
- Der Einbezug vorhandener Grob- und Feinanalysen und deren Umsetzung als Bestandteil der Energieverbrauchsanalyse sind generell erforderlich.
- Die bereits in den letzten 5 Jahren umgesetzten Massnahmen werden als Vorleistung berücksichtigt.

3.2 Energieflüsse in Abwasserreinigungsanlagen

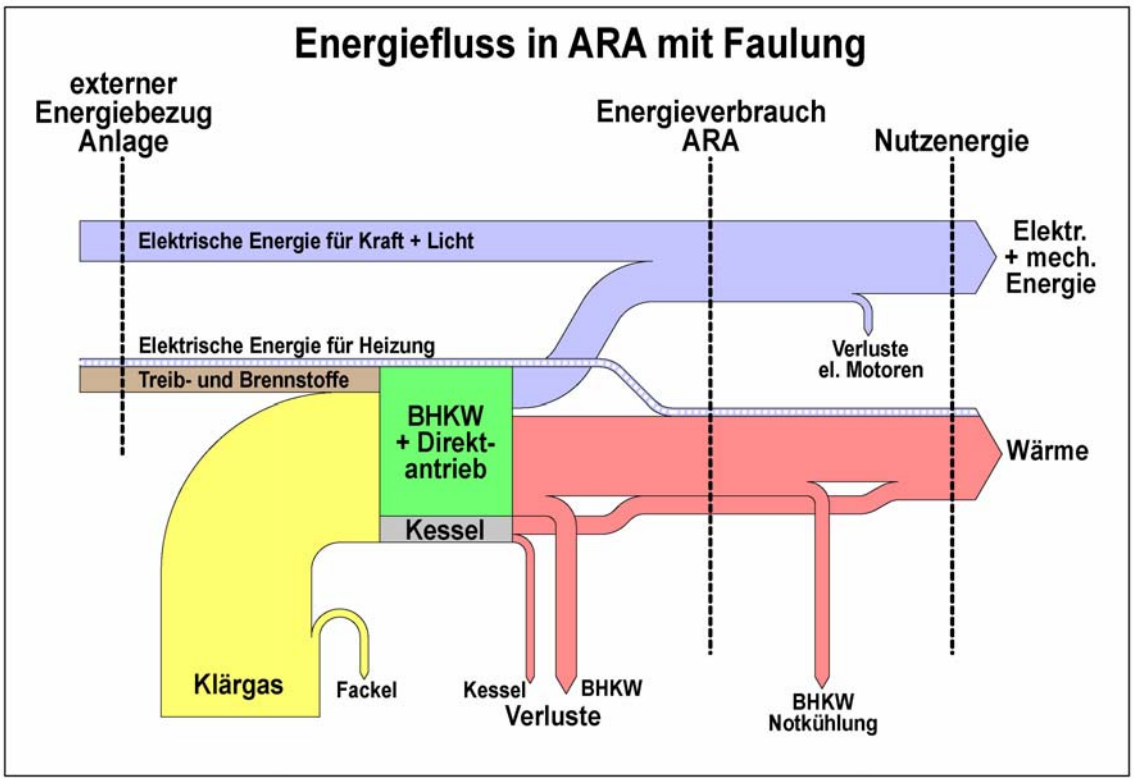


Abbildung 1: Energiefluss in ARA mit Faulung aus "Energieoptimierung von ARA" [3]

Die Abbildung 1 zeigt ein Beispiel für die spezielle Situation in einer ARA. Der Hauptanteil der Wärmeenergie wird mit der Verwertung des produzierten Klärgases zur Verfügung gestellt. Wie im vorliegenden Bericht später beschrieben (Kap. 5.3 Richtwerte Wärme), sollte der Eigendeckungsgrad mit Wärme für die Energiegrossverbraucher mehr als 98 % betragen.

Der Bedarf an elektrischer Energie und somit auch das Einsparpotenzial werden durch mehrere Faktoren massgeblich beeinflusst:

- Klärgasmenge, die in BHKW verwertet wird (möglichst 100 % des Klärgasanfalls)
- Wirkungsgrad des BHKW (angestrebter Wert in der Grobenergieanalyse mehr als 27 %, [1])
- Angewendete Verfahrenstechnik zur biologischen Abwasserbehandlung (z.B. Belebtschlammanlage, Festbett, Wirbelbett, TTK , Hebewerke, etc.)
- Leistungsanforderungen ARA (Einleitungsbedingungen)
- Wirkungsgrad der einzelnen Aggregate resp. Verfahrensstufen

Der vorliegende Bericht stellt Richtwerte für die Beurteilung der einzelnen Verfahrensstufen unter Angabe der Leistungsanforderungen und der Verfahrenstechnik zur Verfügung.

Die Beurteilung der Klärgasverwertung und des Wirkungsgrades des BHKW sind Bestandteil der Grobenergieanalyse, die jede der Grossverbraucher-Anlagen bereits durchgeführt haben sollte.

3.3 Energieanalyse Strom

Ursprünglich war beabsichtigt, nur diejenigen elektrisch betriebenen Aggregate bei der Energieverbrauchsanalyse zu berücksichtigen, die mehr als 5% des gesamten Stromverbrauchs aufweisen.

Auf einer grossen ARA existiert eine Vielzahl von Aggregaten, die einzeln - mit Ausnahme der Gebläse der biologischen Reinigungsstufe - diesen Wert nicht überschreiten. Es werden daher wichtige Verfahrensstufen auf der ARA zusammengefasst und der Energieverbrauch dieser Gruppen mit dem gesamten Stromverbrauch der Anlage verglichen. Die Zusammenfassung in Gruppen entspricht auch eher der üblichen Erfassung des Stromverbrauchs in den ARA.

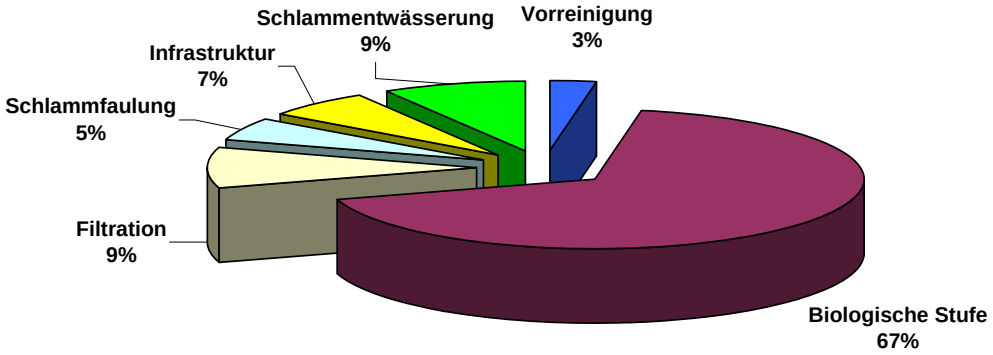


Abbildung 2: Energieverbraucher (Strom) in Abwasserreinigungsanlagen (Modellanlage 100'000 EW, [2])

Die Abbildung 2 stellt die Energieverbraucher dar, wie sie Kapitel 4.1, Tabelle 2 aufgeführt sind. Die Schlammentwässerung umfasst hier die Eindickung von Überschuss- und Abgabeschlamm.

3.4 Energieanalyse Wärme

Die Energiesituation betreffend Wärme ist in Schweizer ARA geprägt durch die Eigenproduktion des Wärmeenergieträgers Klärgas. Angestrebt wird die 100 %-ige Eigendeckung des Wärmebedarfs durch Nutzung des Klärgases.

Eine Auswertung des mittleren Energieverbrauchs für Wärme von 340 ARA (solche mit Faulung) ergibt einen Wert von 45 kWh/EW*a. [2,6] Dieser Wert repräsentiert sowohl optimierte als auch nicht optimierte Anlagen. Mit Optimierungsmassnahmen im Wärmebereich wird dieser Wert gemäss Literatur deutlich unterschritten [3].

Der Wärmebedarf, bezogen auf einzelne Verfahrensstufen (relevant sind Raumwärme, Schlammerwärmung und Faulraumbeheizung), wird nicht über den Wärmeverbrauch pro EW definiert, sondern über Kennzahlen pro m^2 Bauwerkoberfläche. Beispielsweise ist in der Wärmeschutzverordnung ein maximal zulässiger Wert für den Jahresheizwärmebedarf des Betriebsgebäudes pro m^2 festgelegt.

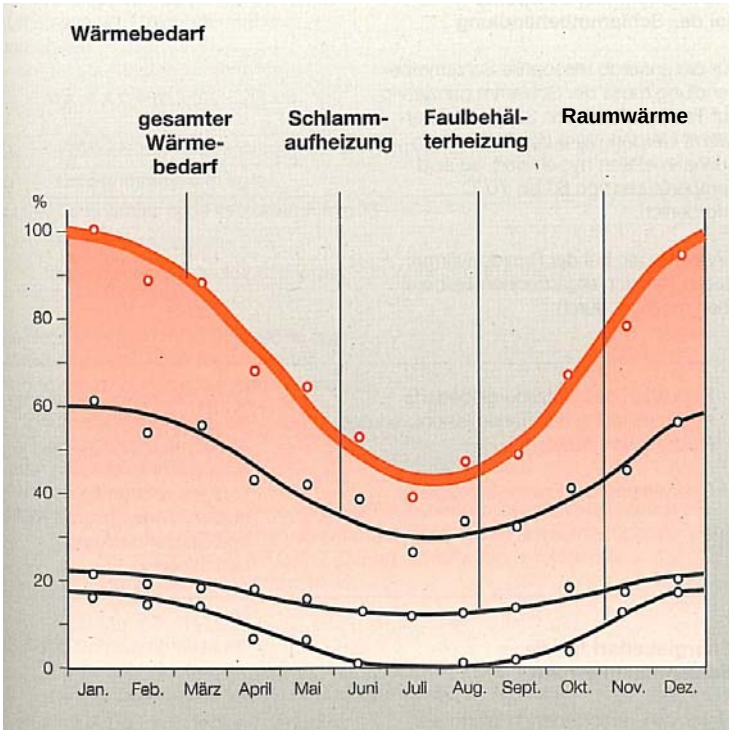


Abbildung 3: Wärmeverbraucher in ARA im Jahresverlauf (aus: Energie in ARA [1])

4. Energieverbraucher in Abwasserreinigungsanlagen

4.1 Stromverbraucher

Am Beispiel der ARA Furt, Bülach, soll aufgezeigt werden, wie umfangreich die Liste der Stromverbraucher in einer ARA ist.

Die ARA Bülach wurde vor wenigen Jahren saniert und erweitert (Inbetriebnahme 2000). Die Anlage umfasst eine biologische Reinigungsstufe (Nitrifikation, Denitrifikation), eine chemische Phosphat-Elimination, eine Raumfiltration, eine Schlammfaulung, Schlammentwässerung und eine Schlammtrocknung. Ausser der Überschussschlammentwässerung sind alle im Energiehandbuch erfassten Verfahrensstufen in der ARA Bülach enthalten.

Tabelle 1 zeigt die Stromverbraucher der ARA Bülach im Bereich Vorreinigung bis und mit Vorklärung. Die Tabelle umfasst 55 von insgesamt über 280 erfassten Aggregaten, die auf der gesamten Anlage in Funktion sind.

Aufgeführt sind die Aggregate und deren Leistungsaufnahme. Grau hinterlegt sind Aggregate mit relevanter Leistungsaufnahme, die in den später beschriebenen Richt- und Idealwerten aus den Energiehandbüchern nicht unter dieser Verfahrensstufe berücksichtigt sind.

Es wird davon ausgegangen, dass dieses Beispiel für alle grösseren ARA im Kanton Zürich repräsentativ ist. Auf die Problematik von nicht erfassten oder "falsch" zugeordneten Aggregaten wird im Kapitel 6.2 eingegangen.

AK-Bez.	Text	NB	kW
	SW 11 Rechen / Sandfang		
111 41 01	Rechen 1	Y	1.50
111 43 02	Förderband Rechen	Y	1.50
111 56 01	Magnetventil Rechen 1	Y	0.002
111 56 02	Magnetventil Rechen 1	Y	0.002
111 56 03	Magnetventil Rechen 1	Y	0.002
111 56 04	Magnetventil Rechen 1	Y	0.002
112 41 01	Rechen 2	Y	1.50
112 56 01	Magnetventil Rechen 2	Y	0.002
112 56 02	Magnetventil Rechen 2	Y	0.002
112 56 03	Magnetventil Rechen 2	Y	0.002
112 56 04	Magnetventil Rechen 2	Y	0.002
113 43 01	Rechengutpresse Welle 1	Y	1.50
113 43 02	Rechengutpresse Welle 2	Y	1.50
113 56 01	Magnetventil Rechengutpresse	Y	0.002
113 56 02	Magnetventil Rechengutpresse	Y	0.002
121 51 01	Absenkschütz SF 1	N	0.70
121 52 01	Schwimmschlamm SF	N	0.002
121 85 01	Räumer Sandfang	N	3.00
122 51 01	Absenkschütz SF 2	N	0.70
123 41 03	Mammutgebläse	N	3.00
123 49 01	SF-Gebläse 1	Y	3.00
123 49 02	SF-Gebläse 2	Y	3.00
123 56 01	Magnetventil Mammutpumpe SF 1	N	0.002
123 56 02	Magnetventil Mammutpumpe SF 2	N	0.002
124 43 01	Sandförderung	N	1.50
124 43 02	Sandaustragförderer	N	1.50
124 43 03	Rürwerk Sandwäscher	N	1.50
124 52 01	Sand Abzu Trichter SF 1	N	0.002
124 52 02	Sand Abzu Trichter SF 2	N	0.002
124 56 01	BRW Anschluss Sandwäscher	N	0.002
130 41 01	Abwasserpumpe PW VKB	Y	2.20
131 85 01	Räumer VKB 1	N	3.00
132 85 01	Räumer VKB 2	N	3.00
131 41 01	Krählwerk VKB 1	N	3.00
132 41 01	Krählwerk VKB 2	N	3.00
201 41 01	Frischschlammpumpe 1 VKB	N	5.50
201 41 02	FRS/SCS Pumpe VKB	N	5.50
201 52 01	FRS Abzug Trichter VKB 1	N	0.002
201 52 02	FRS Abzug Trichter VKB 2	N	0.002
201 52 03	SCS Abzug VKB	N	0.002
202 41 01	FRS Pumpe 1 Rechen	N	5.50
202 41 02	FRS Pumpe 2 Rechen	N	5.50
202 41 03	Fremdschlammpumpe Rechen	N	5.50
202 41 04	Rührwerk FRS Schachtb Rechen	N	2.20
202 41 05	Rührwerk Fremdschlammschacht Rechen	N	2.20
202 41 11	Strainpresse 1	N	3.00
202 41 21	Strainpresse 2	N	3.00
202 41 31	FRS Pumpe 3 Rechen	N	5.50
202 41 32	FRS Pumpe 4 Rechen	N	5.50
202 52 01	Zulauf Strainpresse 1	N	0.002
202 52 02	Zulauf Strainpresse 2	N	0.002
202 52 03	Fremdschlammförderung	N	0.002
202 52 04	Zu Vorlage NED	N	0.002
288 41 04	Venti 1 zu Biofilter v. RE	Y	1.50
288 41 05	Venti 2 zu Biofilter v. RE	Y	1.50

Tabelle 1: Aggregate (inklusive Leistungsaufnahme), die in der ARA Bülach der Gruppe Rechen / Sandfang (vergleichbar mit der Stufe Vorreinigung in Tabelle 2) zugeordnet werden. (Y="Ja", NB= Notstromberechtigt))

Die Energieanalyse beurteilt diejenigen Energieverbraucher, die mehr als 5 % des Gesamtbedarfs konsumieren. Es sollen mindestens 80 % der Energieverbraucher erfasst sein.

In Tabelle 2 sind die üblichen Verfahrensstufen einer ARA mit konventionellem Belebtschlammverfahren inkl. Denitrifikation aufgelistet. Es sind pro Stufe die Anteile am gesamten Stromverbrauch zugeordnet. Basis für diese Angaben bildet die Modellanlage, wie sie im Energiehandbuch für das Land Nordrhein - Westfalen beschrieben [2] ist. Die Werte bilden die Datengrundlage für die Abbildung 2.

Verfahrensstufe	**Aggregate**	**Energiebedarf Strom; Anteil** [%]
Vorreinigung	Rechen	0.4
	Sandfang bel. Total	2.0
	Gebläse	
	Sandwäscher	
	Räumer	
	Sandentnahme	
Vorklärung total	Räumer	0.4
	Schlammpumpen	
Biologie DN / C / N	**Biologie Gesamt**	66.9
ohne int. Rezirkulation	Gebläse (57.4)	
	Umwälzung	
	Rücklaufschlammpumpen	
	Fällmitteldosierung	
Nachklärung total	Räumer	0.6
	UeSS - Pumpen	
Raum - Filtration	Filtration	
für Q CH	mit Hebewerk 3m	9.4
Grobstoffentfernung	Schlammsiebung	0.2
FS Eindickung	statisch	0.3
UeS **Eindickung**	Dekanter	6.1
mesophile Faulung		4.6
Schlammentwässerung	Dekanter	2.4
Infrastruktur	Betriebsgebäude	
	Brauchwasser	
	Druckluft	
* Während Heizperiode	Heizung *	
	Lüftung	
	Abluftreinigung	
Summe Infrastruktur		6.6
SUMME		100

Tabelle 2: Verfahrensstufen in ARA und prozentualer Anteil am Strombedarf ohne Hebewerk [2]

Die massgeblichen Bezüger von Strom in ARA sind:

- biologische Reinigungsstufe inkl. Gebläse
- Filtration
- Eindickung / Entwässerung
- Schlammfaulung

Diese Verfahrensstufen benötigen bereits 90 % der gesamten Strommenge einer ARA.

Die Summe der Infrastrukturanlagen ergibt zusätzlich knapp 7 % des Strombedarfs einer ARA.

Für die Energieanalyse "Strom" sind die massgeblichen Verfahrensstufen Biologie, Filtration, Schlammfaulung, Eindickung/Entwässerung und der gesamte Verbrauch im Vergleich zu den Kennzahlen zu überprüfen. Hebewerke sind zu berücksichtigen.

Zuschlag für Hebewerke pro Höhenmeter: + 0.5 kWh/EW*a [2]

4.2 Wärmeverbraucher

Wärme wird in ARA benötigt für die

- Schlammaufheizung
- Die Faulbehälterheizung
- Die Raumwärme

Die Schlammaufheizung benötigt den Haupanteil der Wärme. Siehe auch Abbildung 2.

5. Richtwerte für den Energiebedarf

5.1 Einleitung

Die für den vorliegenden Bericht wichtigsten Quellen zur Ermittlung von Richtwerten sind die beiden Energiehandbücher, die im Literaturverzeichnis aufgeführt sind. [1,2] Sie enthalten anerkannte und breit abgestützte Datensätze.

Zusätzlich wurden diese Angaben mit Daten anderer Publikationen ergänzt.

Die spezifischen Richtwerte beziehen sich immer auf die aktuelle Belastung in Einwohnerwerten (EW) der ARA. Die Ermittlung der EW basiert auf dem 85 %-Wert der aktuellen, effektiven Belastung. Dieser 85 %-Wert der Belastung wird durch die spezifischen EW nach ATV (heute DWA) dividiert.

5.2 Richtwerte für den Strombedarf

In den Energiehandbüchern werden Richtwerte und Idealwerte für den spezifischen Stromverbrauch wie folgt definiert.

Richtwert

Der Richtwert ist ein aus bestehenden Energieanalysen und der Bestandesaufnahme in ARA über 10'000 EW in Nordrhein-Westfalen abgeleiteter Wert, der realistischerweise in einer ARA erreicht werden kann. Diese Werte wurden gemäss den Autoren verifiziert an über 100 Anlagen im Bereich 10'000 bis 500'000 EW. Die meisten Anlagen sind inzwischen saniert und auf Nitrifikation ausgelegt. 25 % der Anlagen verfügen über eine Filtration.

Idealwert

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

Im Folgenden wird von der ARA-Grösse gesprochen. Zu verstehen sind die entsprechenden aktuellen Belastungen!

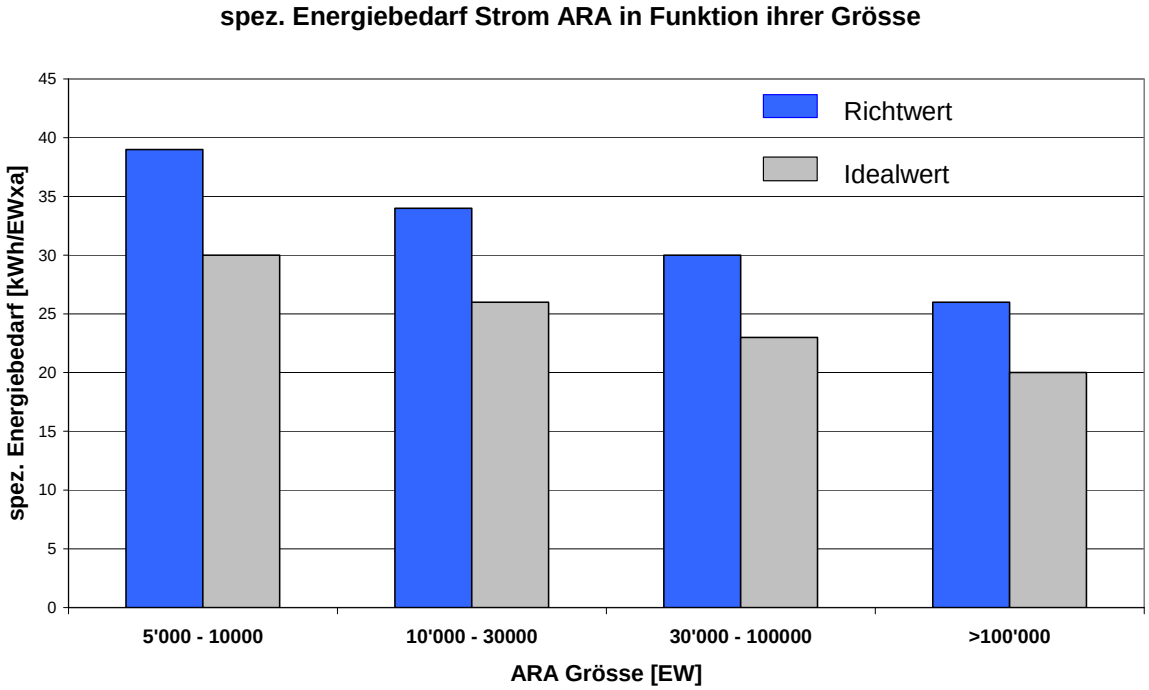


Abbildung 4: Spez. Energiebedarf (Strom) einer ARA in Funktion ihrer Grösse [2, 3, 6] (aus: Energiehandbuch [2])

In Abbildung 4 ist der spez. Energieverbrauch für 4 verschiedene Bereiche von ARA-Ausbaugrössen dargestellt. Die überwiegende Mehrheit der ARA-Grossverbraucher im Kanton Zürich liegen im Bereich von 30'000 - 100'000 EW. Zu beachten: Die Filtration und das zugehörige Hebewerk sind in diesen Werten nicht enthalten.

Wie Abbildung 4 zeigt, sind die Richt- und Idealwerte von der Grösse der ARA abhängig (Basis Handbuch NRW, [2], S.300; [3, 7]).

Mit einer weiteren grafischen Auswertung werden die spezifischen Energiewerte für andere Anlagengrössen interpoliert. Basis für (Abbildung 5) sind die Werte aus Abbildung 4.

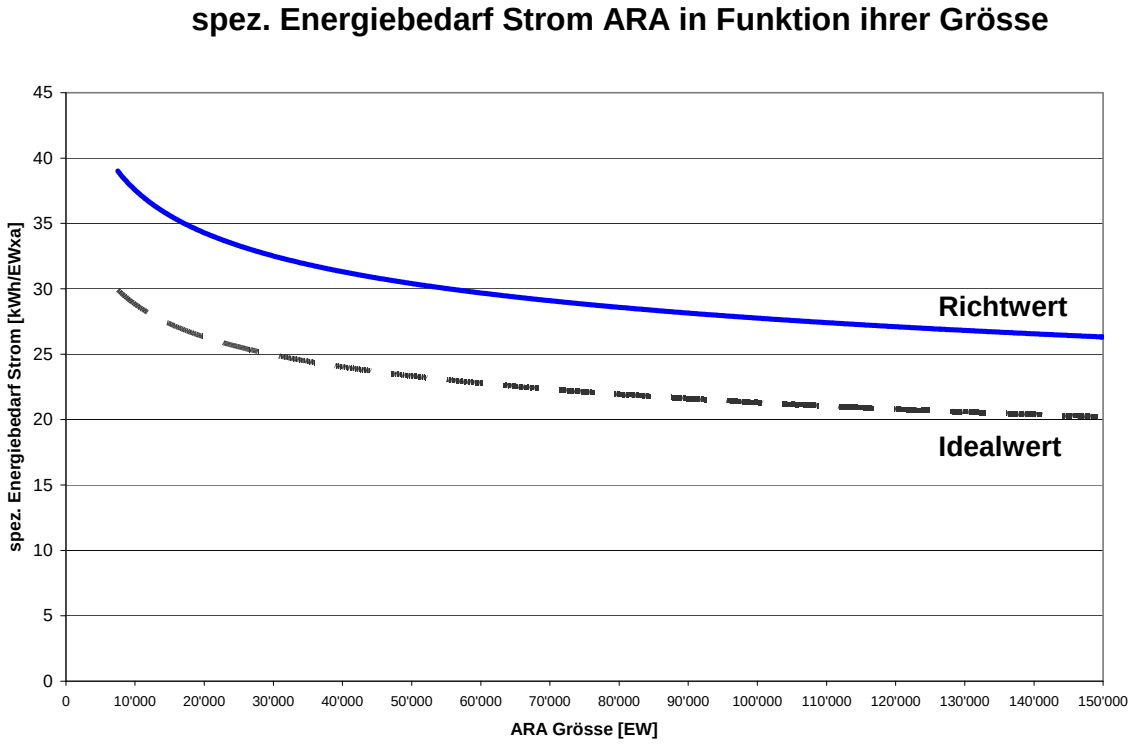


Abbildung 5: Gesamter spez. Energiebedarf (Strom) einer ARA in Abhängigkeit der Anlagegrösse (Belastung) (aus: Energiehandbuch [2])

Mit den spezifischen Idealwerten der Modellanlage für 100'000 EW im Energiehandbuch [2] (siehe auch Tabellen im Anhang) und dem Verhältnis zwischen diesem Idealwert und dem Richtwert für verschiedene Anlagegrössen ist es möglich, die Richtwerte in Abhängigkeit der Anlagegrösse zu berechnen (konventionelle Belebtschlammanlage).

Die errechneten Richtwerte für die verschiedenen Anlagegrössen sind in Tabelle 4 und in den Abbildungen 6 - 12 dargestellt.

In einem nächsten Schritt werden die in der Literatur publizierten Energiekennzahlen aufgeschlüsselt nach Verfahrensstufen dargestellt und ein Beispiel für den Richtwert für eine ARA mit 30'000 EW gegeben.

Verfahrensstufe	**Aggregat**	Energiehandbuch (EHB) D 100'000 EW Idealwerte [kWh/EW·a]	30'000 Richtwerte [kWh/EW·a]	EHB CH 20'000 EW Bereich [kWh/EW·a]	Österreich 40000 EW Idealwerte [kWh/EW·a]
Vorreinigung	Rechen	**0.09**	**0.14**	**0.05 - 0.16**	
	Vorreinigung gesamt				**0.70**
	Sandfang bel.	**0.49**	**0.74**	**0.64 - 1.46**	
	Gebläse	0.29	0.44		
	Sandwäscher	0.11	0.17		
	Räumer	0.03	0.05		
	Sandentnahme	0.06	0.09		
Vorklärung		**0.10**	**0.15**	**0.22**	**0.20**
	Räumer	0.09	0.14		
	PS Pumpe	0.01	0.02		
Biologie DN / C / N	**Biologie Gesamt**	**16.13**	**24.20**	**16.4 - 23.0**	**12.90**
ohne int. Rezirkulation	Gebläse	13.72	20.58	15.7 - 21.5	10.50
	Umwälzung	1.75	2.63		1.40
	RLS	0.62	0.93	0.7 - 1.5	1.00
	Fällung	0.04	0.06	0.04 - 0.05	
Nachklärung		**0.15**	**0.23**	**0.22**	**0.50**
	Räumer	0.11	0.17		
	UeSS - Pumpe	0.04	0.06		
Raum - Filtration	**Filtration**				
für Q CH	mit Hebewerk 3m	**2.27**	**3.41**		
	ohne Hebewerk	0.86	1.29		
Grobstoffentfernung	Schlammsiebung	**0.05**	**0.08**	**0.05 - 0.09**	
FS Eindickung	statisch	**0.07**	**0.11**		
UeS Eindickung	Dekanter	**1.46**	**2.19**	**1.64 - 3.3**	
mesophile Faulung		**1.1**	**1.65**	**1.28 - 1.83**	
					2.8
Schlammentwässerung	Dekanter	**0.58**	**0.87**	**1.0 - 1.64**	
Infrastruktur	Betriebsgebäude	0.18	0.27	0.13 - 0.18	
	Brauchwasser	0.26	0.39	0.36 - 0.55	
	Druckluft	0.05	0.08	0.02 - 0.09	
* Während Heizperiode	Heizung *	0.37	0.56	0.18 - 0.55	
	Lüftung	0.15	0.23	0.09 - 0.15	
	Abluftreinigung	0.58	0.87		
Summe Infrastruktur		**1.59**	**2.39**	**0.78 - 1.82**	**1.4**
Summe ARA		**24.1**	**36.2**	**max. 33.7**	
	Lit [4]	**26.9**		**min. 22.3**	

Tabelle 3: Spez. Energiekennzahlen pro Verfahrensstufe aus diversen Literaturangaben.

Diejenigen ARA im Kanton Zürich, die als Grossverbraucher gelten, verfügen über die meisten der in Tabelle 3 aufgeführten Verfahrensstufen.

In der Regel handelt es sich bei den Zürcher Anlagen um nitrifizierende Belebtschlammanlagen mit Denitrifikation, Schlammfaulung und Gasnutzung. Mehrere Anlagen verfügen über eine Schlammentwässerung und eine Filtration.

Die Abweichungen von den verschiedenen in Tabelle 3 aufgeführten Literaturangaben sind gering.

Folgende Aussagen sind möglich:

- Der **Idealwert** für eine ARA mit 100'000 EW liegt bei der in der Tabelle 3 aufgeführten technischen Ausrüstung (Inkl. Filtration und Hebewerk) bei rund 24 kWh/EW*a (Abb. 4).
- Der **Richtwert** für die gleiche Anlage liegt bei ungefähr 30 kWh/EW*a. Der Richtwert liegt etwa 25 % über dem Idealwert (Abb. 4).
- Die Kennzahlen sind vor allem abhängig von der ARA-Grösse und ihrer technischen Ausrüstung.

Achtung: Nicht alle Aggregate, die auf einer ARA installiert sind, sind in der Tabelle 3 aufgeführt und damit bei den Richt- und Idealwerten berücksichtigt. Aggregate wie Beckenkronenheizung, Krählwerk VKB, Entkalkung, Fremdschlammannahmepumpe, Notkühlung etc. sind in diesem Ideal- resp. Richtwert nicht enthalten (in der Tabelle 3 sind nur die in den Energiehandbüchern berücksichtigten Aggregate aufgelistet).

ARA, die zu einer Energieanalyse verpflichtet sind, können anhand der Richtwerte, unter Berücksichtigung der ARA-Grösse und der einzelnen Verfahrensstufen (Tabelle 4), ihren Energieverbrauch beurteilen.

Für die Energieanalyse ist auf die in der Folge grafisch dargestellten Richtwerte abzustützen, die gemäss Erfahrungen in jeder Anlage realistischerweise erreicht werden können.

Für die exakte Zuordnung der Richtwerte zur jeweiligen ARA-Grösse sind die Abbildungen 6 - 12 zu verwenden. Für jede Verfahrensstufe ist die Abhängigkeit des spez. Energiebedarfs (Strom) von der ARA-Grösse (aktuelle Belastung) dargestellt.

Verfahrensstufe	**Aggregat**	Energiekennzahlen		
		50'000 EW Richtwert [kWh/EWxa]	30'000 EW Richtwert [kWh/EWxa]	20'000 EW Richtwert [kWh/EWxa]
Abwasserbehandlung				
Vorreinigung	Rechen	**0.13**	**0.14**	**0.14**
	Sandfang Total	**0.70**	**0.74**	**0.78**
	Gebläse	0.41	0.44	0.46
	Sandwäscher	0.16	0.17	0.17
	Räumer	0.04	0.05	0.05
	Sandentnahme	0.09	0.09	0.10
Vorklärung	VKB Total	**0.14**	**0.16**	**0.16**
	Räumer	0.13	0.14	0.14
	PS Pumpe	0.01	0.02	0.02
Biologie DN / C / N	Biologie Total	**22.90**	**24.20**	**25.65**
ohne int. Rezirkulation	Gebläse	19.48	20.58	21.81
Belebtschlammanlagen	Umwälzung	2.49	2.63	2.78
	RLS	0.88	0.93	0.99
	Fällung	0.06	0.06	0.06
Nachklärung	NKB Total	**0.22**	**0.23**	**0.23**
	Räumer	0.16	0.17	0.17
	UeSS - Pumpe	0.06	0.06	0.06
Raum - Filtration	Filtration			
für Q CH	mit Hebewerk 3m	**3.22**	**3.41**	**3.61**
	ohne Hebewerk	1.22	1.29	1.37
Schlammbehandlung				
Grobstoffentfernung	Schlammsiebung	**0.07**	**0.08**	**0.08**
FS Eindickung	statisch	**0.10**	**0.11**	**0.11**
UeS Eindickung	Dekanter	**2.07**	**2.19**	**2.32**
Schlammfaulung		**1.56**	**1.65**	**1.75**
Schlammentwässerung	Dekanter	**0.82**	**0.87**	**0.92**
Infrastruktur	Betriebsgebäude	0.26	0.27	0.29
	Brauchwasser	0.37	0.39	0.41
	Druckluft	0.07	0.08	0.08
* Während Heizperiode	Heizung *	0.53	0.56	0.59
	Lüftung	0.21	0.23	0.24
	Abluftreinigung	0.82	0.87	0.92
Summe Infrastruktur		**2.26**	**2.39**	**2.46**
Summe ARA		**34.2**	**36.1**	**38.2**

Tabelle 4: Energiekennzahlen - Richtwerte für verschiedene ARA-Grössen und Ausrüstungen (Belebtschlammanlagen; Wirbel - & Festbett siehe Abb. 8, 9)

Die angegebenen Richtwerte sind relativ hoch und können z. T. deutlich unterschritten werden (bis auf das Niveau der Idealwerte).

Nachdem in den Energiehandbüchern [1,2] nur die Biologie beschrieben wurde, können mit einer neueren Publikation [7] und ergänzenden Abklärungen neu auch Richtwerte für Wirbel- und Festbettanlagen angegeben werden.

Um die Zuordnung der Richtwerte zu den verschiedenen ARA-Grössen besser vornehmen zu können, sind in den Abbildungen 6 - 13 die Richtwerte pro Verfahrensgruppe in Abhängigkeit der ARA-Grösse (aktuelle Belastung) grafisch dargestellt.

Folgende Verfahrensgruppen werden dargestellt:

- Vorreinigung / Vorklärung (Auswertung nicht verlangt)
- Biologie / Nachklärung; Festbett; Wirbelbett
- Raumfiltration
- Grobstoffentfernung und Schlammfaulung
- Schlammentwässerung
- UeSS-Eindickung

Damit sind die massgeblichen Stromverbraucher derart in Gruppen erfasst, wie sie auf ARA häufig gemeinsam erfasst werden.

In Abbildung 12 ist zusätzlich die Abhängigkeit des Energieverbrauchs der Gebläse für die biologische Reinigungsstufe in Abhängigkeit der aktuellen Belastung dargestellt.

Zu beachten:

In einer Annäherung wird die Abhängigkeit des Energieverbrauchs von einzelnen Verfahrensgruppen als identisch angenommen, so wie sie gemäss Energiehandbuch für den Energieverbrauch der gesamten ARA beschrieben wird.

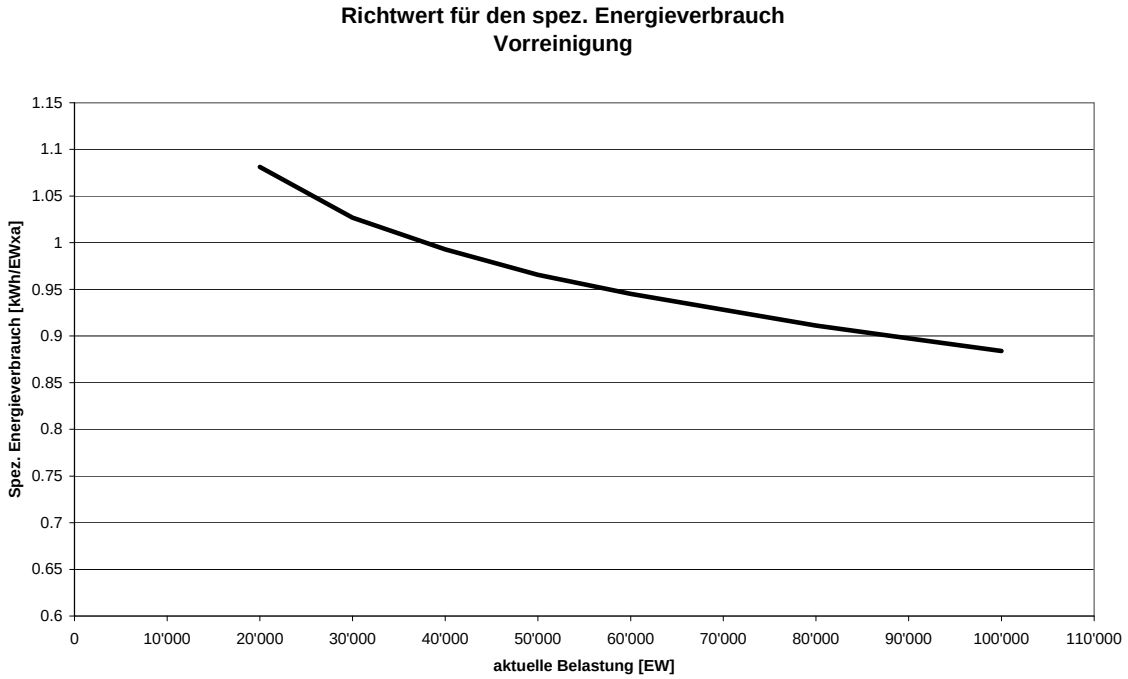


Abbildung 6: Spez. Energieverbrauch (Strom) für die Vorreinigung, umfassend Rechen, Sandfang, Vorklärung, FS Förderung aus VKB

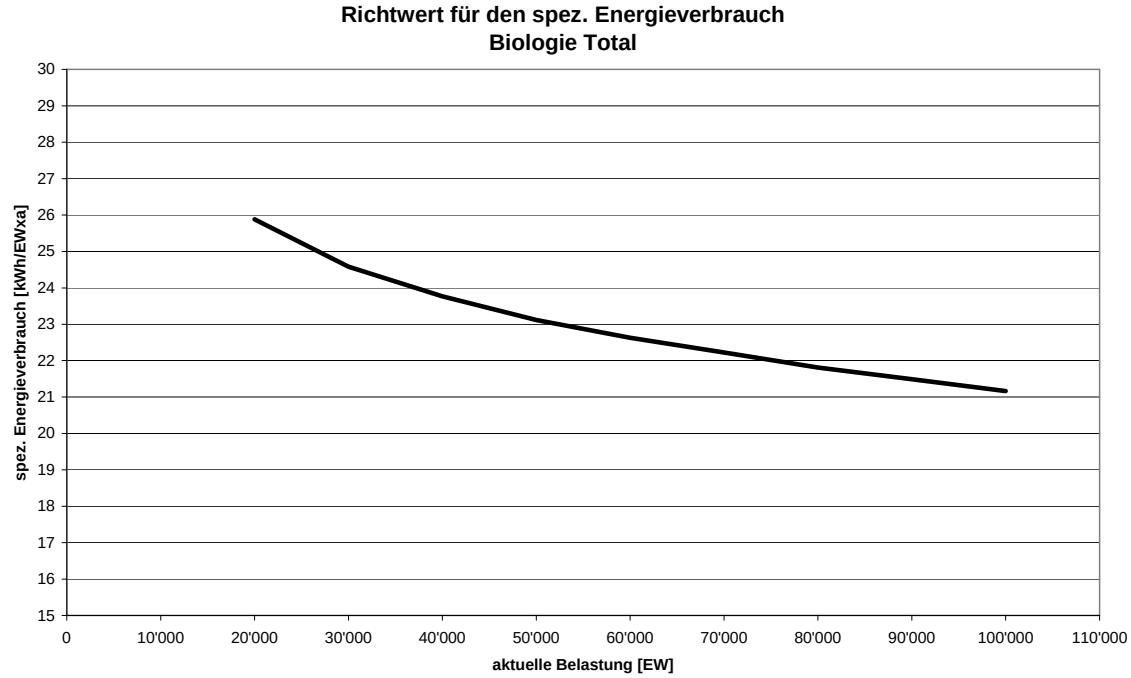


Abbildung 7: Spez. Energieverbrauch (Strom) für die gesamte biologische Stufe, umfassend Biologie inkl. Gebläse, Nachklärung inkl. Räumung, RLS und UeSS-Entnahme, Fällung

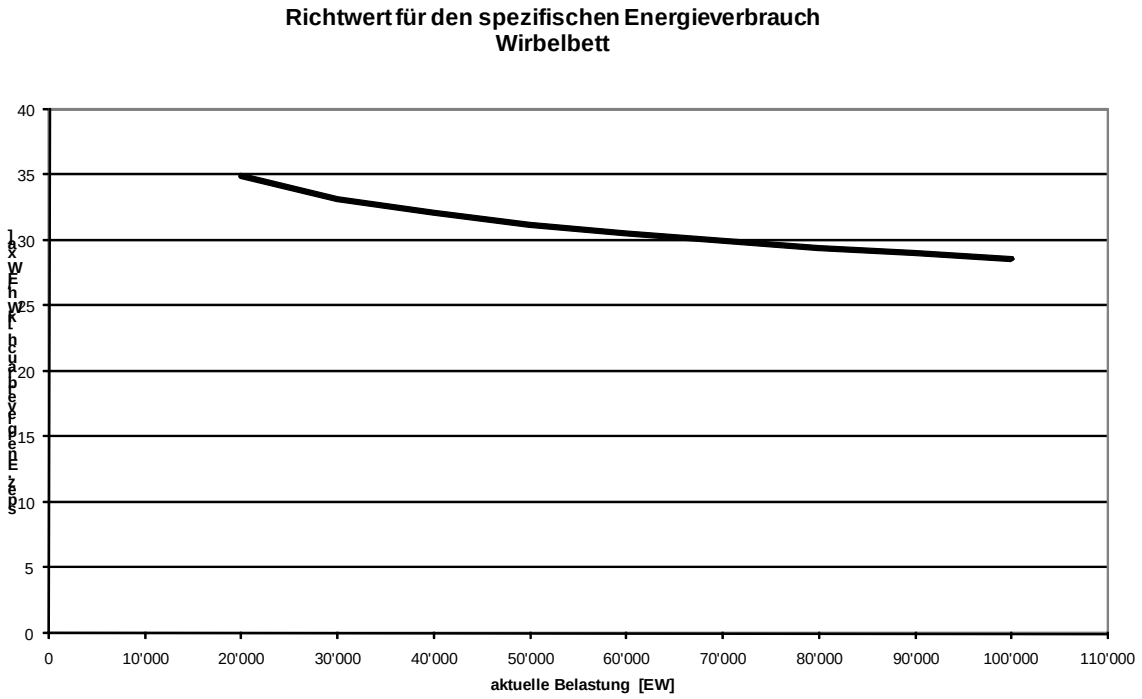


Abbildung 8: Spez. Energieverbrauch (Strom) für die gesamte biologische Stufe wenn sie als Wirbelbett ausgelegt ist

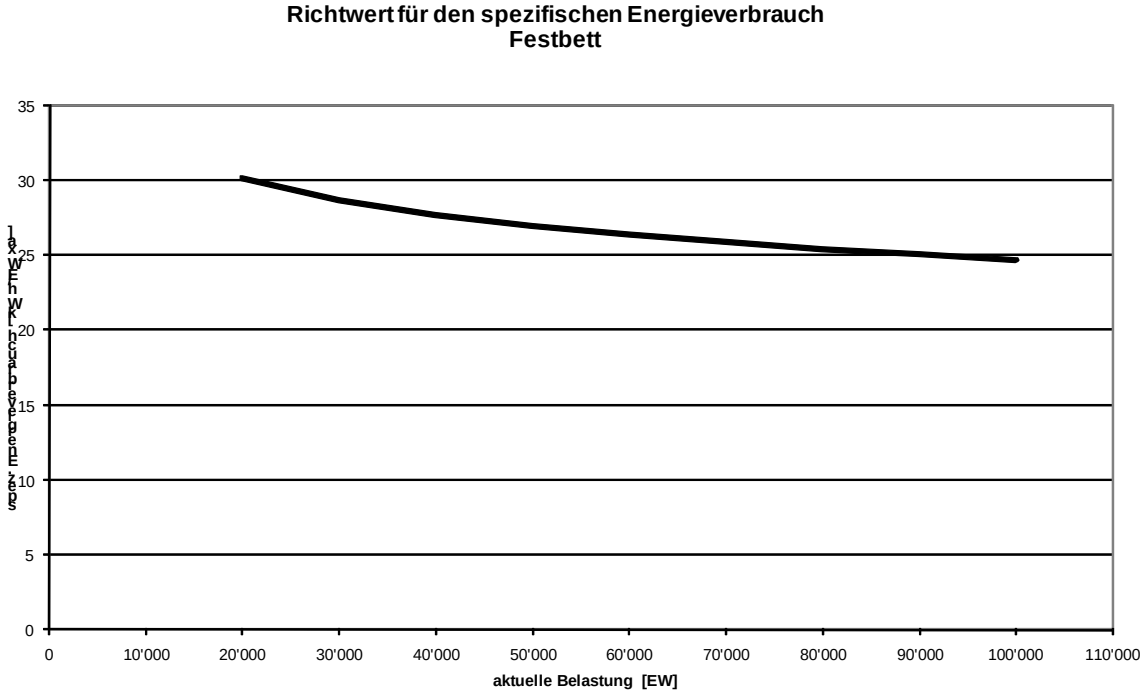


Abbildung 9: Spez. Energieverbrauch (Strom) für die gesamte biologische Stufe wenn sie als Festbett ausgelegt ist

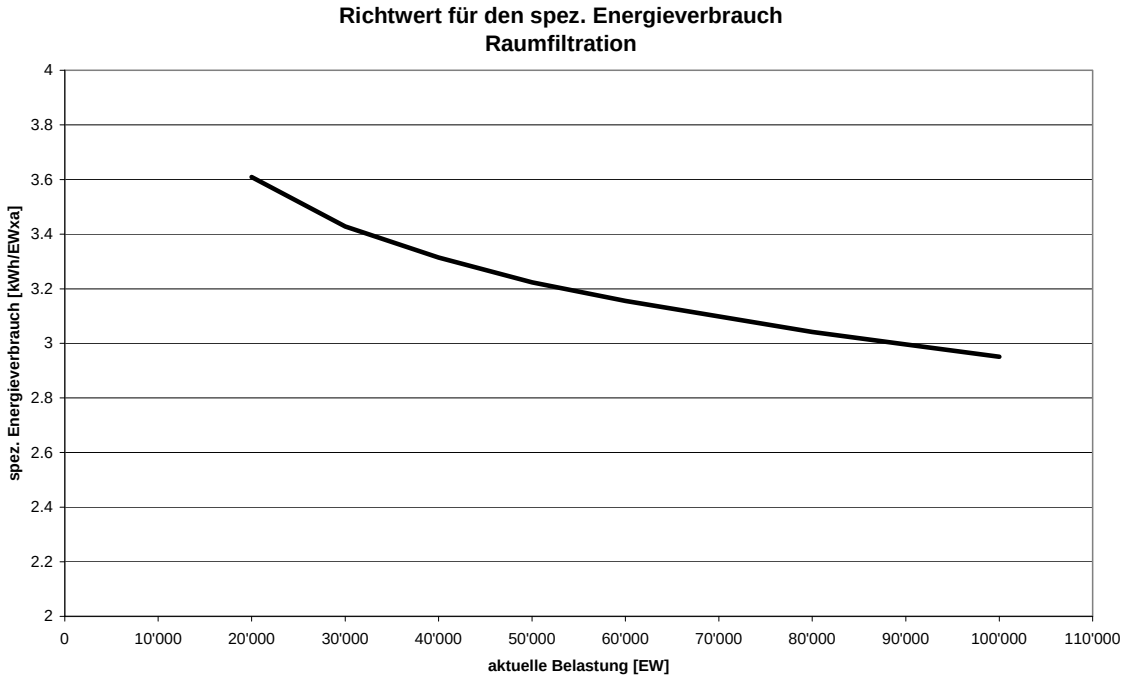


Abbildung 10: Spez. Energieverbrauch (Strom) für die Raumfiltration inklusive Hebewerk mit 3 m Förderhöhe

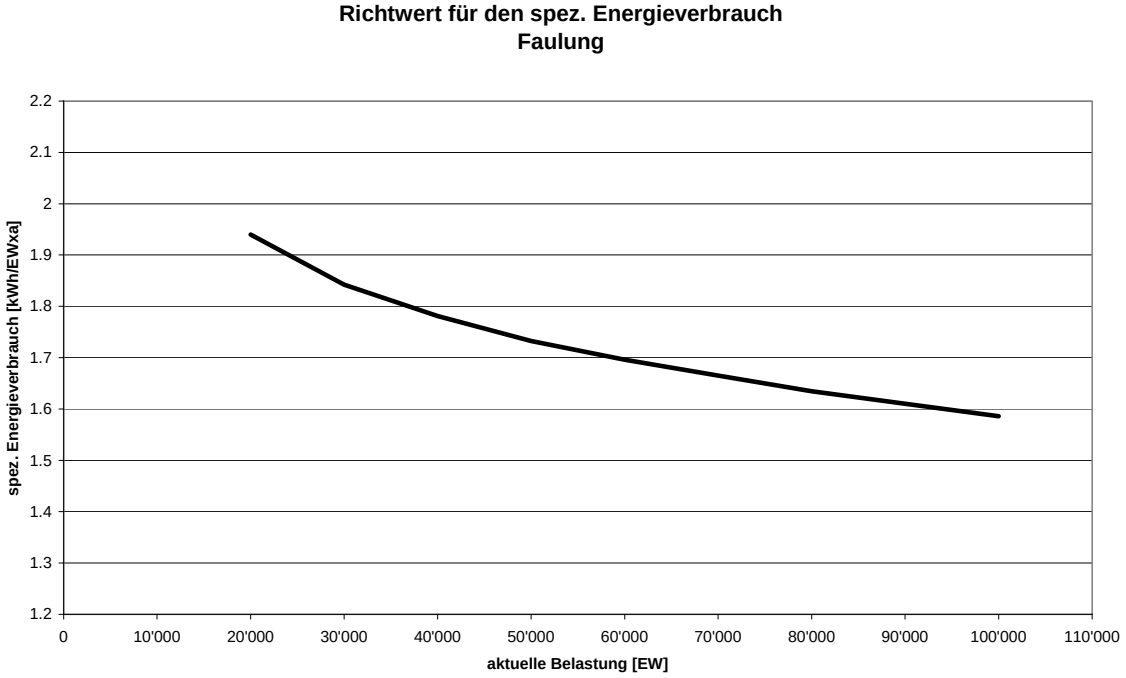


Abbildung 11: Spez. Energieverbrauch (Strom) für die Faulung inklusive Grobstoffentfernung und Frischschlammeindickung

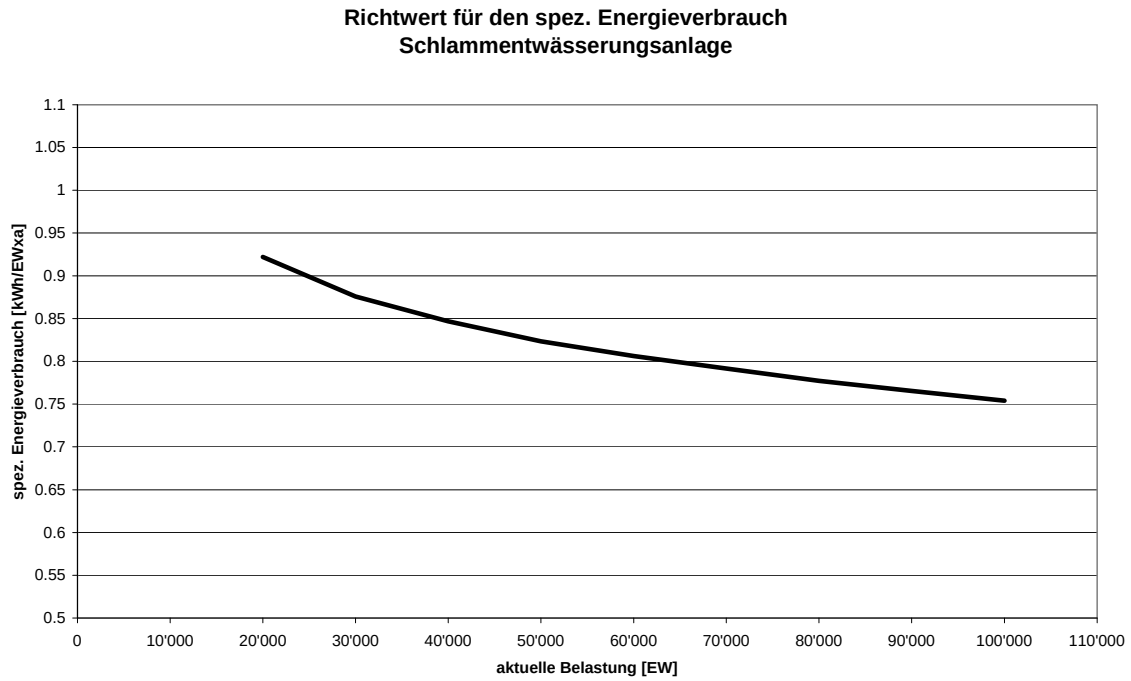


Abbildung 12: Spez. Energieverbrauch (Strom) für die Faulschlammentwässerung mit einem Dekanter (andere Entwässerungstypen siehe Anhang)

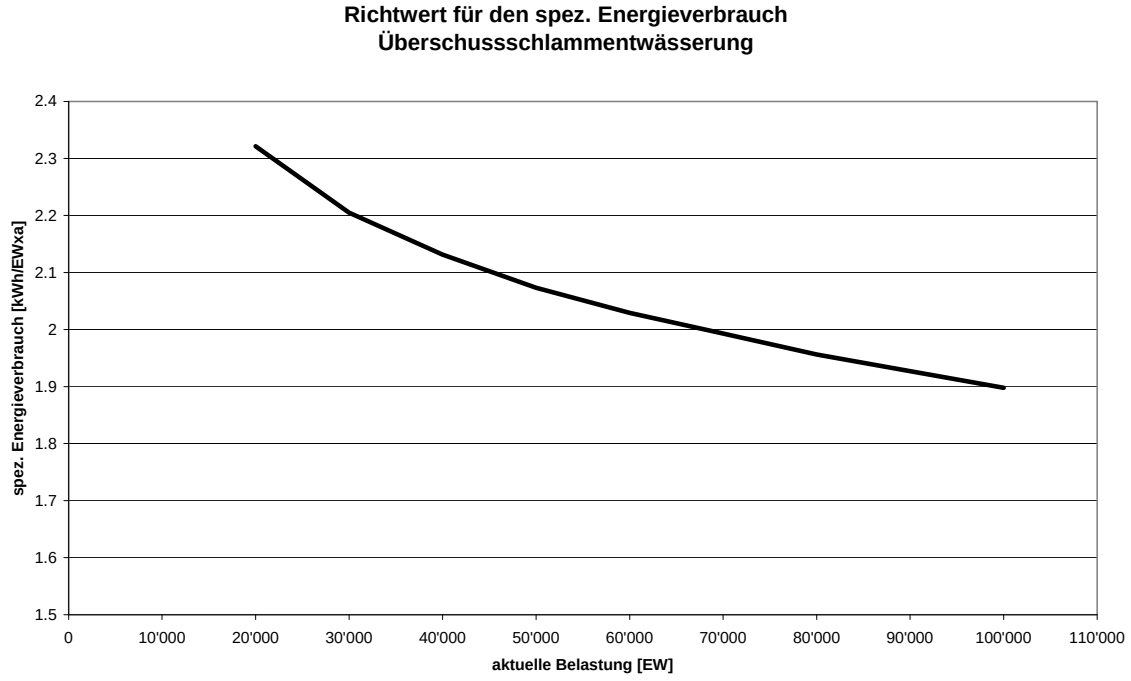


Abbildung 13: Spez. Energieverbrauch (Strom) für die Überschussschlammentwässerung mit einem Dekanter (Angaben für eine Flotation siehe Anhang)

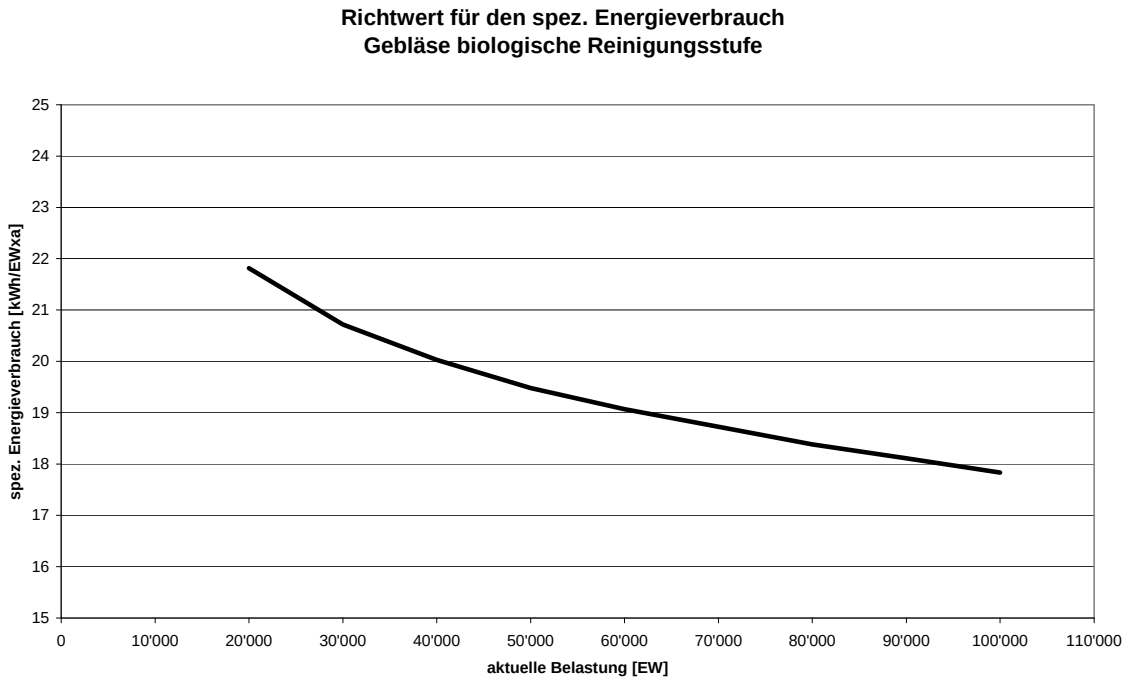


Abbildung 14: Spez. Energieverbrauch (Strom) der Gebläse für die biologische Reinigungsstufe

5.3 Richtwerte für den Wärmebedarf

Es ist anzustreben, dass in den ARA der Eigenbedarf an Wärme als Richtwert im Verlauf der nächsten 10 Jahre auf ≥ 98 % gesteigert wird. Dies gilt nur für Anlagen ohne Trocknung oder unter Ausklammerung der Trocknung (siehe auch 6.2, Diskussion Trocknungsanlagen).
Der SOLL-Wert für die Eigendeckung des Wärmebedarfs in ARA ist auf der folgenden Graphik aus dem Handbuch Energie in ARA [1] dargestellt. Er beträgt für ARA ab 40'000 EW ohne Trocknung 96 - 98 %.

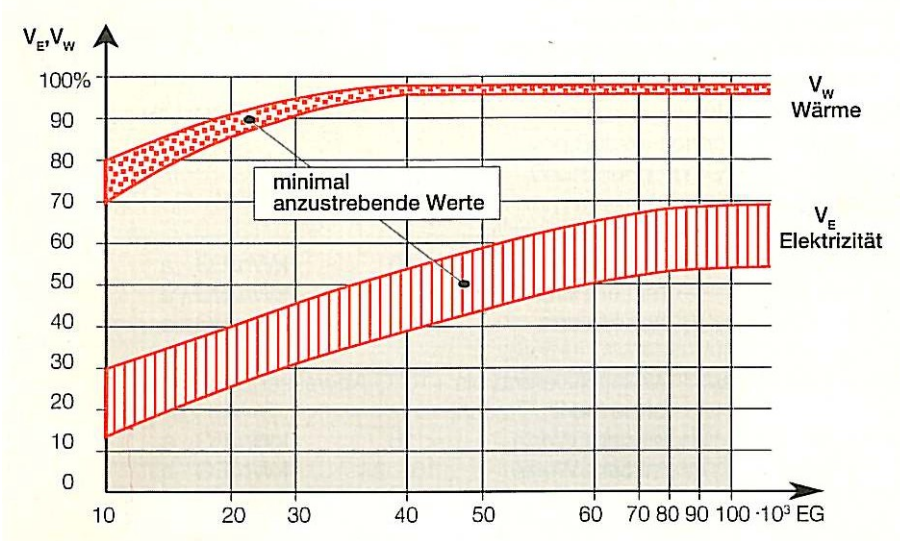


Abbildung 13: Eigenversorgungsgrad einer ARA für Elektrizität (v_E) und Wärme (v_W) in Funktion ihrer Grösse. (aus: Energie in ARA [1])

Auf nicht optimierten Anlagen wird gemäss Handbuch [2] ein mittlerer Wärmebedarf von 45 kWh/EW*a ermittelt. In der Studie "Energieoptimierung von Kläranlagen" [3] wird ein optimierter Wert von 23 kWh/EW*a angegeben.

Bei einer Klärgasproduktion von 25 l/EW*d fallen 9.125 Nm^3/EW*a Klärgas an. Mit einem Wärmeinhalt von 6.4 kWh/Nm^3 ergibt dies 58.4 kWh/EW*a. Unter der Annahme, dass alles Gas über ein BHKW mit einem thermischen Wirkungsgrad von 60 % verstromt wird, entsteht eine Wärmemenge von 35 kWh/EW*a. Dieser Wert liegt deutlich über der Literaturangabe für eine optimierte ARA [3], aber auch unter dem Mittelwert nicht optimierter Anlagen.

Die Auswertung von 344 Anlagen in Nordrhein Westfalen ergab, dass 25% der Anlagen bereits heute 100 % ihres Wärmebedarfs selber abdecken [6]. Die ARA Flos, Wetzikon, als Beispiel aus dem Kanton Zürich wies im Jahr 2005 einen Eigenversorgungsgrad von 97 % auf.

Die Forderung nach einem Eigenversorgungsgrad mit Wärme von > 98% für eine ARA mit Schlammfaulung (ohne Trocknung) ist realistisch.

Massnahmen wie die Abgabe von Wärme (aus Überschüssen oder aus Abwasserwärme) sind nicht Bestandteil der Energieanalyse für ARA-Grossverbraucher.

6. Energieverbrauch in Zürcher Abwasserreinigungsanlagen

6.1 Einleitung

Die beschriebenen Richt- und Idealwerte basieren auf den erwähnten Energiehandbüchern. Gemäss den Autoren wird ein Vergleich zwischen den Kennzahlen und Werten von mehr als 100 deutschen Anlagen demnächst publiziert.

Um die Zweckmässigkeit und Richtigkeit dieser Werte für eine Energieverbrauchsanalyse zu prüfen, wurden sie mit aktuellen Praxis-Daten in Zürcher ARA verglichen. Im Folgenden wird nicht auf die einzelnen Aggregate eingegangen (Ausnahme: Gebläse für die biologische Stufe), sondern auf die vorgängig beschriebenen Verfahrensstufen.

6.2 Trocknung / Wärme

Von den mehr als 20 ARA, die im Kanton Zürich als Grossverbraucher gelten, verfügen 3 Anlagen über eine Schlammtrocknung mit jeweils unterschiedlichen Verfahren. Da der Richtwert für den Strom- und Wärmebedarf stark von Verfahren, Auslastung, Anforderungen an den Trocknungsgrad, etc. abhängig ist, wird die Trocknung mangels Kennzahlen nicht in die Energieverbrauchsanalyse aufgenommen.

Da der Energiebedarf für die Trocknung aber einen grossen Anteil am Energiebedarf einer ARA einnimmt, sollen die Verbrauchszahlen trotzdem ermittelt werden.

Wie eine Auswertung der bestehenden Schlammtrocknungsanlagen im Kanton Zürich ergab, sollte - als grober Richtwert - der Wärme-Energieverbrauch pro t TS nicht mehr als 10'000 MJ betragen.

6.3 Strombedarf einzelner Verfahrensstufen

6.3.1 ARA Furt, Bülach

Die ARA Furt, Bülach – eine Belebtschlammanlage - weist eine Belastung von 30'000 EW im 85 %-Wert der Belastung auf. (Ermittlung des 85% Werts: siehe Pflichtenheft zur Energieverbrauchsanalyse). Die Verbraucher sind in 6 Verfahrensgruppen mit eigenen Stromzählern aufgeteilt.

Verfahrensstufen	Aggregate
Rechen, Sandfang	siehe Tabelle 1 inkl. VKB und Chemikalien-dosierung
Biologie	Zwischenhebewerk Gebläse, RLS- UeSS Pumpen Schwimmschlammpumpe, Räumer NKB
Filtration	Spülaggregate, Prozessluft Kein Hebewerk
Schlammfaulung	Vorlage, Beschickung Frischschlamm - Umwälzung Faulschlamm - Umwälzung Infrastruktur wie Lüftung, Brauchwasser Kühlung Trocknung, Pumpwerk Hirslen Gasnutzung
Schlammentwässerung, Trocknung	Entwässerung, Trocknung Biofilter, Lüftung, Trocknung separate Erfassung nur Stand by sowie Summe, also Stand by und Betrieb
SBR	Rücklaufbehandlung

Tabelle 5: Erfassung des Stromverbraucher in der ARA Bülach

Die Gruppenaufteilung der ARA Bülach deckt sich nicht mit der Gruppenaufteilung der Energiehandbücher. Dies erschwert einen direkten Vergleich erheblich. In der Tabelle 6 wird dieses Problem deutlich.

Besondere Eigenheiten der ARA Bülach:

- Das Abwasser wird vor der biologischen Reinigungsstufe mit Pumpen angehoben und fliesst danach im freien Gefälle auch über die Filtration.
- Die ARA Bülach verfügt über keine UeSS-Eindickung
- Bei der Zusammenstellung der Zählerablesungen sind doppelte Erfassungen des Stromverbrauchs unter verschiedenen Stromzählern zu beachten (PW Hirslen, Betrieb Schlammentwässerung / Trocknung werden in zwei Zählern erfasst)

Es ist davon auszugehen, dass die hier angetroffenen Probleme (Zuordnung der Aggregate zu den Zählerablesungen und die Abweichungen der realen Anlagen von der Vorgabe der Modellanlage) auch auf anderen Anlagen anzutreffen sind.

Am Beispiel der Vorreinigung der ARA Bülach soll aufgezeigt werden, welche Aggregate in Abweichung zum Energiehandbuch [2] mit der Vorreinigung erfasst werden (siehe auch Tabelle 1).

Im Vergleich zur Modellanlage weicht die ARA Bülach im Bereich Vorreinigung wie folgt von der Vorgabe ab, das heisst, es werden im Vergleich zum Energiehandbuch in dieser Verfahrensgruppe zusätzlich erfasst:

- Krählwerk in den VKB-Trichtern
- FS-Pumpe Rechen / Zwischenförderung FS
- Strainpress
- Ventilator für Biofilter
- Fremdschlammannahme-Pumpen

Die Summe dieser Strombezüge beträgt 2.06 kWh/EW*a. Insgesamt wird über die Gruppe Vorreinigung ein spezifischer Energiebedarf von 4.3 kWh/EW*a gemessen.

Bereinigt - nach Abzug der aufgelisteten Aggregate - reduziert sich der Wert für die Vorreinigung damit auf 2.24 kWh/EW*a.

Der Richtwert gemäss Tabelle 4 beläuft sich auf 1.04 kWh/EW*a. Die Differenz von 1.2 kWh/EW*a ist das mögliche Potenzial an Einsparungen in dieser Verfahrensgruppe. Dies entspricht knapp 3 % des gesamten Energieverbrauchs in der ARA Bülach.

Auch für andere Verfahrensgruppen bestehen gewisse Differenzen zwischen den Messwerten auf der ARA und den Vorgaben aus dem Handbuch. Weiter behandelt die ARA Bülach nassen Faulschlamm von Fremdanlagen inklusive das zusätzlich anfallende Presswasser.

6.3.2 ARA Flos, Wetzikon

Die ARA Wetzikon – ebenfalls eine Belebtschlammanlage - weist eine Belastung von 36'000 EW auf. Die Energieverbräuche der ARA Wetzikon werden anders gruppiert und erfasst als in der ARA Bülach. Es wurden unter Verwendung des Energiehandbuchs vergleichbare Gruppen wie dort in Kapitel 7 "Verifizierung der Kennzahlen" festgelegt, übernommen.

Auf der ARA Wetzikon ist zu beachten:

- Das Abwasser wird im Zufluss der ARA und der Filtration angehoben
- Die ARA nimmt eine relevante Menge Fremdschlamm zur Entwässerung an (ebenfalls inklusive Behandlung des Presswassers). Dies ist beim Energieverbrauch für die Schlammentwässerung (Abzug der Energie für die Fremdschlammentwässerung) und dem Energiebedarf für die Nitrifikation des Presswassers in der biologischen Stufe (ca. 2.7 kWh/kg NH_4-N im Presswasser) zu berücksichtigen.

7. Verifizierung der Richtwerte für den Strombedarf

Für alle Verfahrensgruppen wurde der Richtwert mit konkreten Zahlen der Referenzanlagen verglichen. Beide Anlagen (Furt, Bülach, Auslastung 78 % und Flos, Wetzikon, Auslastung 98%) wurden in den letzten Jahren saniert und erweitert. Die nitrifizierenden Anlagen (alternierend / intermittierend betrieben) verfügen über eine feinblasige Belüftung in der biologischen Reinigungsstufe, eine Schlammfaulung mit Gasnutzung und eine Raumfiltration.

Stufe	Richtwert 30'000 EW [kWh/Ewxa]	ARA Furt [kWh/Ewxa]	ARA Flos [kWh/Ewxa]
Vorreinigung	1.04	2.24 *[4]	+
Gebläse	20.6	16.6	14.9
Biologie Total incl. NKB	24.4	21.41*[1]	+
Filtration ohne Hebewerk	1.29	1.29	3.64 *[1]
UeSS - Eindickung	2.19	-	1.75
Schlammfaulung	1.65	+	1.50
Entwässerung Abgabeschlamm	0.87	+	1.24 *[5]
Total analog Richtwerte	36.0 *[2]		37.7 *[3;5]
ohne UeS Eindickung	33.8 *[2]	42.2 *[3]	
ohne Stand by Trocknung		39.6 *[3]	
Infrastruktur			
Heizung	0.56		0.61
Brauchwasser	0.39		1.5

*[1] ohne Stromverbrauch für Hebewerke (Filtration Flos, Biologie Furt)

*[2] ohne fehlende Aggregate aber inkl. Hebewerk 3 m

*[3] Hebewerk Abwasser inklusive, ohne Hebewerk Filtration

*[4] abzüglich: Krählwerk VKB, Strainpresse,Fremdschlamm, Ventilator Biofilter, etc.

*[5] abzüglich Eindickung Fremdschlamm

\+ kein Vergleich, da zu viele Aggregate erfasst sind, die nicht direkt zu dieser Verfahrensgruppe gehören

Tabelle 6: Verifizierung der Richtwerte pro Verfahrensstufe

Aussagen zur Verifizierung der Richtwerte Energiebedarf

Die Richtwerte werden in der jeweiligen Grössenordnung bestätigt.

Grössere Differenzen in absoluten Zahlen ergeben sich bei der biologischen Reinigungsstufe und zwar für den Gesamtverbrauch und den Verbrauch für die Gebläse.

Bei der Erarbeitung der Werte auf den Anlagen sind zu berücksichtigen:

- die spezifischen Eigenheiten der ARA wie Hebewerke, Entwässerungsaggregate, Fremdschlammannahmen, Filtrationsverfahren, etc
- die Zuordnung der Aggregate zu den verschiedenen Verfahrensgruppen im Vergleich zu der Zuordnung, die für den Richtwert gilt.

Es sind die vorliegenden Richtwerte für die Energieverbrauchsanalyse zu verwenden.

Nebst der Beurteilung der einzelnen Verfahrensgruppen ist der Energieverbrauch der gesamten Anlage ebenfalls zu beurteilen. Auch hier müssen die anlagespezifischen Aspekte berücksichtigt werden.

Anhang

Literaturverzeichnis

[1] E.A. Müller, R. Thommen, P. Stähli; Energie in ARA, im Auftrag des Bundesamt für Energiewirtschaft, Bundesamt für Konjunkturfragen und dem BUWAL, Bern , 1994

[2] E.A. Müller, B. Kobel, J. Pinnekamp, K. Boecker, et al; Handbuch Energie in Kläranlagen, im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein - Westfalen, Düsseldorf, 1999.

[3] H. Agis; Energieoptimierung von Kläranlagen, im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Kommunalkredit Austria AG, Wien, 2001

[4] K. Kreicher, J. Krampe, M. Ohl, M. Blesl, et al; Systemintegration von Brennstoffzellen auf Kläranlagen - Potenzialabschätzung für Baden - Württemberg, Universität Stuttgart, Stuttgart, 2004

[5] Pflichtenheft Energieverbrauchsanalyse, Baudirektion Kanton Zürich, Abteilung Energie, Zürich, 2005

[6] E.A. Müller, B. Kobel; Energetische Bestandsaufnahme an Kläranlagen in Nordrhein - Westfalen mit 30 Millionen Einwohnerwerten, Korrespondenz Abwasser, 06 / 2004, Seiten 625 – 631

[7] O. Sigel; Stromverbrauch biologischer Reinigungsverfahren, gwa 05/2008, Seiten 371 - 378

Energieverbrauch pro Verfahrensstufe / Aggregat nach "Energie in Kläranlagen" [2]

Energieverbrauch Abwasserreinigung	Elektrizität			siehe Kapitel ... im Handbuch	
	Verbrauch Modellanlage 100.000 EW				
Verfahrensstufe	spezifisch Wh / m³ Abwasser [1]	spezifisch kWh/EW a	Modell-anlage kWh/d		
Außerhalb Kläranlage					
Regenüberlaufbecken (Fangbecken)	4,0		[3]	2.3.1	3.5.1
Innerhalb Kläranlage					
Abwasserhebewerk für 3 m Förderhöhe	**13,9**	**1,24**	**340**	2.3.2	3.2
Rechen	**1,0**	**0,09**	**25**	2.3.3	3.5.2
Sandfang belüfteter Langsandfang	**5,5**	**0,49**	**134**	2.3.4	3.5.2
Vorklärung einschl. Primärschlammpumpwerk	**1,1**	**0,10**	**28**	2.3.5	3.5.3
Belebung mit Stickstoffelimination					
Belüftung/Gebläse	153,5	13,72	3.760	2.3.6	3.6.1ff
Umwälzung (DN-Zone)	19,6	1,75	480	2.3.6	3.6.8
Rezirkulation	5,7	0,51	140	2.3.6	3.6.6
Rücklaufschlamm	6,9	0,62	170	2.3.6	3.2
Biologische Reinigungsstufe insgesamt	**185,7**	**16,61**	**4.550**		3.4.1
Belebung nur C-Elimination insgesamt	*110,2*	*9,86*	*2.700*	*2.3.6*	*3.4.1 / 3.6.1*
Belebung / gemeinsame aerobe Stabilisierung (10.000 EW)	*313,1*	*28,00*		*2.3.6*	*3.4.1 /3.6*
Variante Tropfkörper mit Nitrifikation	*84,9*	*7,59*	*2.080*	*2.3.6*	*3.4.1*
Variante Scheibentauchkörper mit Nitrifikation (10.000 EW)	*24,6*	*2,20*		*2.3.6*	*3.4.1*
Nachklärung einschl. Überschußschlammpumpwerk	**1,6**	**0,15**	**40**	2.3.6	
Fällmitteldosierung Simultanfällung	**0,5**	**0,04**	**12**	2.3.6	3.7
Filtration, jeweils einschl. Hebewerk					
abwärts durchströmter Raumfilter [2]	**22,5**	**2,01**	**551**	2.3.7	3.7
Kontinuierlich gespülte Upflow-Filter	*17,9*	*1,60*	*439*	*2.3.7*	*3.7*
Filtertrommelsysteme als Raumfilter	*9,8*	*0,88*	*241*	*2.3.7*	*3.7*
Mikrosiebung	*22,0*	*1,97*	*539*	*2.3.7*	*3.7*
Biofiltration mit Festbettreaktoren				*2.3.8*	*3.8*
Summe Modellanlage 100.000 EW (nur **fett** gedruckte Verfahrensstufen berücksichtigt; *Alternativverfahren kursiv*)	**232,0**	**20,7**	**5.680**		

Energieverbrauch Schlammbehandlung		Elektrizität			siehe Kapitel ... im Handbuch	
		Verbrauch Modellanlage 100.000 EW				
Verfahrensstufe		spezifisch kWh / m³ Schlamm [1]	kWh/EW a	Modell-anlage kWh/d		
Grobstoffentfernung	**Schlammsiebung**	**0,1**	**0,05**	**13**	2.4.1	
Voreindickung	**statisch**	**0,1**	**0,07**	**20**	2.4.2	3.9.2
Primärschlamm	*Siebtrommel*	*0,3*	*0,16*	*45*	2.4.2	3.9.2
(174 m³/d)	*Presse*	*0,5*	*0,29*	*80*	2.4.2	3.9.2
Voreindickung	**Siebtrommel**	**0,3**	**0,73**	**200**	2.4.2	3.9.2
Überschuss-Schlamm	*Dekanter*	*0,6*	*1,46*	*400*	2.4.2	3.9.2
(620 m³/d)	*Flotation*	*1,0*	*2,19*	*600*	2.4.2	
Stabilisierung	**anaerob-mesophile**	**1,9**	**1,10**	**300**	2.4.3	3.9.3
(155 m³/d Rohschlamm)	*anaerob-psychrophil*	*1,0*	*0,58*	*160*	2.4.3	
Entwässerung	*statische Nacheindickung*	*0,1*	*0,07*	*20*	2.4.4	3.9.4
(155 m³/d Faulschlamm)	*Dekanter*	*1,0*	*0,58*	*160*	2.4.4	3.9.4
	Hochentwässerungszentrifuge	**1,3**	**0,73**	**200**	2.4.4	3.9.4
	Siebbandpresse	*0,8*	*0,44*	*120*	2.4.4	3.9.4
	Kammerfilterpresse	*1,6*	*0,91*	*250*	2.4.4	3.9.4
	Membranfilterpresse	*2,5*	*1,39*	*380*	2.4.4	3.9.4
Trocknung	*thermisch*	*26,7*	*1,46*	*400*	2.4.5	
Zwischenlager		*1,0*			2.4.6	
Klärschlammverwertung / -entsorgung					2.4.7	
Schlammpumpwerke	Faulschlamm	sind den Verfahrensstufen zugeordnet				
Summe Modellanlage 100.000 EW (nur **fett** gedruckte Verfahrensstufen berücksichtigt; *Alternativverfahren kursiv*)			**2,7**	**733**		

Energieverbrauch Infrastruktur		Elektrizität			siehe Kapitel ... im Handbuch	
		Verbrauch Modellanlage 100.000 EW				
Verfahrensstufe		spezifisch kWh/Einheit	kWh/EW a	Modell-anlage kWh/d		
Betriebsgebäude	Licht, Labor, Werkstatt		**0,18**	**50**		
Betriebsmittel						
Trinkwasser	ab Netz	extern				
Brauchwasser	internes Netz	0,3 [1]	**0,26**	**70**	2.5.1	
Druckluft	internes Netz	0,1 [2]	**0,05**	**13**	2.5.2	
Heizung			**0,37**	**100**	2.5.3	
Lüftungsanlagen			**0,15**	**40**	2.5.4	
Abluftreinigung	(von örtlichen Gegebenheiten abhängig)		**0,58**	**160**	2.5.5	3.10
Summe Modellanlage 100.000 EW (nur **fett-** gedruckte Verfahrensstufen berücksichtigt)			**1,6**	**433**		

Verwendete Abkürzungen

Abkürzung / Begriff	Erläuterung
ARA	Abwasserreinigungsanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
CH	Schweiz
D	Deutschland
DN / C / N	Anlage zur Kohlenstoffelimination, Nitrifikation und Denitrifikation
EHB	Energiehandbuch
EW	Einwohnerwert
FS	Frischschlamm
NKB	Nachklärbecken
NRW	Nordrhein - Westfalen
PS	Primärschlamm
Q	Abwassermenge
RLS	Rücklaufschlamm
TTK	Tauchtropfkörper
UeSS	Überschussschlamm
VKB	Vorklärbecken