

Stromverbrauch biologischer Reinigungsverfahren

Vergleich am Beispiel dreier Kläranlagen

Consommation d'électricité dans les procédés d'épuration biologique

Etude de cas de trois stations d'épuration

L'épuration biologique est le palier qui consomme le plus d'électricité dans les stations d'épuration communales. La généralisation des nouveaux procédés d'épuration biologique vise à améliorer l'épuration des eaux usées afin de renforcer encore la protection des eaux, mais elle contribuera également à augmenter la consommation d'électricité. L'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a financé une étude sur la consommation d'électricité des installations d'épuration biologique afin de fournir une base de référence aux concepteurs et aux gestionnaires. Cette étude considère trois procédés: par lit fixe, par lit fluidisé et par membrane biologique incorporée dans un réacteur à boues activées.

Energy Usage of Biological Purification Processes

Based on the Example of Three Sewage Plants

The biological purification stage accounts for the highest electricity consumption of municipal sewage plants. The increasing use of new biological purification processes to increase the effectiveness of the purification process and to provide better water protection will increase energy consumption even further. To help make decisions to support planners and operators, the Swiss Federal Office of Energy (BFE) has initiated and financed an examination of the energy consumption of biological purification processes on sewage plants. The results of the examinations with the packed bed, the whirlpool bed and the membrane activated sludge process built into existing building substances, hence saving space, are shown below.

Oskar Sigel



Die biologische Reinigungsstufe ist der grösste Stromverbraucher von kommunalen Kläranlagen. Die zunehmende Anwendung neuer biologischer Reinigungsverfahren zur Steigerung der Reinigungsleistung und zum verbesserten Schutz der Gewässer wird den Stromverbrauch weiter ansteigen lassen. Als Entscheidungshilfe für Planer und Betreiber hat das Bundesamt für Energie BFE eine Untersuchung über den Stromverbrauch biologischer Reinigungsverfahren auf Kläranlagen initiiert und finanziert. Die Resultate der Untersuchungen mit den platzsparenden und in bestehende Bausubstanzen einzubauenden Festbett-, Wirbelbett- und Membran-Belebtschlammverfahren sind nachfolgend dargelegt.

1. Ausgangslage

Aufgrund gestiegener Anforderungen an die Qualität des gereinigten Abwassers müssen die biologischen Reinigungsstufen vermehrt ausgebaut werden. Bei der Wahl des biologischen Reinigungsverfahrens spielte bisher die zur Verfügung stehende Fläche oder die Weiterverwendung bestehender Bausubstanzen eine massgebende Rolle. Der *Energieverbrauch* und somit die zukünftig steigenden Energiekosten wurden noch kaum berücksichtigt. Der Stromverbrauch von drei in Zukunft vermehrt eingesetzten biologischen Reinigungsverfahren wurde am Beispiel der *ARA Lyss* (Festbettverfahren), *ARA Wohlen* (Wirbelbettverfahren) und *ARA Wädenswil* (Membran-Belebtschlammverfahren) untersucht und in Bezug zur Belas-



Abb. 1 Anteil des Stromverbrauches von Kläranlagen am Gesamtverbrauch von Gemeinden in der Schweiz [2].

tung gebracht. Diese Abwasserreinigungsverfahren werden im Detail beschrieben und deren Belastungen und Stromverbräuche dargestellt. Die Resultate werden in Relation zum konventionellen Belebtschlammverfahren gestellt. Als Einheit dient der *spezifische Stromverbrauch pro Einwohnerwert*. Als Empfehlung werden Ansatzpunkte für eine energetische Optimierung der Reinigungsverfahren dargelegt. Die zur Diskussion stehende Ozonisierung von Teilströmen des Abwassers war nicht Bestandteil der Untersuchung, akzentuiert sich aber im noch grösseren Stromverbrauch im Vergleich zu den drei untersuchten Verfahren. Als Ausgangsbasis für den heutigen Stromverbrauch aller Kläranlagen in der Schweiz dient die «Schweizerische Statistik erneuerbare Energien» [1]. Für das Betriebsjahr 2001 wurden Energiedaten von rund 65 % aller Kläranlagen der Schweiz erhoben und auf alle Kläranlagen der Schweiz hochgerechnet. Als Gesamtelektrizitätsverbrauch aller Kläranlagen wurden 432 GWh pro Jahr ermittelt (Abb. 1).

2. Biologische Verfahren zur Abwasserreinigung

Aufgrund unterschiedlicher technischer Randbedingungen wird bei der Abwasserreinigung zwischen

den Verfahren mit *suspendierter* Biomasse (Belebungsverfahren) und den Verfahren mit *feststehender* Biomasse unterschieden (Tab. 1).

Das in der Schweiz am häufigsten angewendete Verfahren zur biologischen Abwasserbehandlung ist das *Belebtschlammverfahren*, bei dem die Biomasse (Mikroorganismen) durch die Belüftung zur Sauerstoffanreicherung in Suspension gehalten wird. In den letzten Jahren wurden mehrere *Festbettanlagen* in Betrieb gesetzt, dies meist weil die vorhandenen Platzreserven keinen Ausbau der Belebtschlammanlagen erlaubten.

Bei den wenigen in Betrieb stehenden *Wirbelbettanlagen* handelt es sich meist um umgebaute Belebtschlammanlagen.

Das *Membran-Belebungsverfahren* ist ein neues Verfahren, welches dann angewendet wird, wenn bezüglich ungelöster Stoffe und Phosphorstrenge Anforderungen an die Qualität des gereinigten Abwassers bestehen oder wenn das Platzangebot beschränkt ist.

Verfahren	Mikroorganismen	Feststoffabscheidung	Besonderheiten
Belebtschlammverfahren	suspendiert	Sedimentation in Nachklärbecken	- grosser Platzbedarf - grosse Beckenvolumen - geringer hydraulischer Druckverlust
Festbettverfahren	feststehend auf unbeweglichen Trägermaterialien	Filtration durch Trägermaterial Spülung der filtrierten Stoffe	- kleiner Platzbedarf - grosse Anzahl elektro-mechanischer Ausrüstungen - Trägerkörper im Abwasser eingetaucht - hydraulischer Druckverlust: ca. 0,3 bar
Wirbelbettverfahren	feststehend auf beweglichen Trägermaterialien	Sedimentation in Nachklärbecken	- grosser Platzbedarf - Trägerkörper in Bewegung - geringer hydraulischer Druckverlust
Membran-Belebungsverfahren	suspendiert	Filtration durch Membran	- geringer Platzbedarf für Feststoffabscheidung - hohe Reinigungsleistung bezüglich ungelösten Stoffen und Phosphor - hydraulischer Druckverlust: ca. 0,4–2,0 bar
SBR-Verfahren (Sequence Batch Reactor)	suspendiert	Sedimentation in Belüftungsbecken	- grosser Platzbedarf - intermittierende Beschickung von mehreren Biologiereaktoren in denen sämtliche Prozesse stattfinden. - hydraulischer Druckverlust: ca. 0,4 bar
Tropfkörper-Verfahren	feststehend auf unbeweglichen Trägermaterialien	Sedimentation in Nachklärbecken	- geringer Platzbedarf - Abwasser rieselt über Trägerkörper - hydraulischer Druckverlust: 0,4–2,0 bar

Tab. 1 Übersicht über die Verfahren der biologischen Abwasserbehandlung.

3. Grundsätze zur Datenauswertung

Sämtliche erhobenen Betriebsdaten werden als mittlere Tageswerte pro Monat dargestellt.

3.1 Belastung und Reinigungsleistung

Für die Beurteilung der Belastung der biologischen Reinigungsstufen wurden die folgenden *Messgrössen* ausgewertet:

- Abwassermenge
- BSB₅ Biochem. Sauerstoffbedarf in 5 Tg.
- CSB Chemischer Sauerstoffbedarf
- NH₄⁺-N Ammonium-Stickstoff
- N_{tot} Gesamtstickstoff, falls vorhanden
- NO₃⁻-N Nitrat-Stickstoff, falls vorhanden

In der Regel konnte auf die periodischen Analysen im *vorgeklärten Abwasser* (= Zulauf Biologie) der Anlagenbetreiber zurückgegriffen werden. In wenigen Fällen waren Ergänzungsmessungen erforderlich. Das stark stickstoffhaltige Faulwasser aus dem Rücklauf der Schlammbehandlung wurde mitberücksichtigt. Als Mass für die Belastung wurden die Schmutzstofffrachten im Zulauf zur Biologie in *Einwohnerwerte* umgerechnet. Die Umrechnungsfaktoren wurden in Anlehnung an die Annahmen im Handbuch «Energie in Kläranlagen» [3] gewählt, damit die Vergleichbarkeit gegeben ist (Tab. 2). Die Werte stimmen mittlerweile mit den vom VSA (Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute) verwendeten Werten überein. Im schweizerischen

Handbuch «Energie in ARA» [4] wurden leicht abweichende Umrechnungsfaktoren verwendet (Ablauf Vorklärung: 50 g BSB₅/EW d). Mit Ausnahme der ARA Lyss liegen für die *Gesamtstickstoffbelastung* (N_{tot}) keine Daten vor. Für die ARA Wohlen wurden folgende Annahmen getroffen:

vorgeklärtes Abwasser:

$$N_{tot} = 1.33 \cdot NH_4^+-N + NO_3^- -N \quad (1)$$
 Faulwasser:

$$N_{tot} = 1.2 \cdot NH_4^+-N \quad (2)$$

Die *Reinigungsleistung* der Kläranlagen (Qualität des gereinigten Abwassers, Schmutzstoffeliminationsgrad) wurde aufgrund der vorgegebenen Einleitbedingungen beurteilt. Für die Berechnung der *Gesamtstickstoffelimination* der Biologie wurde der Gesamtstickstoff im Ablauf der Biologie folgendermassen berechnet:

gereinigtes Abwasser:

$$N_{tot} = NH_4^+-N + NO_3^- -N \quad (3)$$

Parameter	vorgeklärtes Abwasser Zulauf Biologie	Rohabwasser [3]
CSB	80 g CSB / EW d	120 g CSB / EW d
BSB ₅	40 g BSB ₅ / EW d	60 g BSB ₅ / EW d
N _{Kjel} = N _{org} + NH ₄ ⁺ -N	10 g N _{Kjel} / EW d	11 g N _{Kjel} / EW d
NH ₄ ⁺ -N	7,5 g NH ₄ ⁺ -N / EW d	

Tab. 2 Definition der Einwohnerwerte.

3.2 Strommessungen

Das Untersuchungsprogramm bewertet nur den Stromverbrauch jener Aggregate, die unmittelbar für die biologische Reinigungsstufe eingesetzt werden. *Hebwerke*, die das vorgeklärte Abwasser aufgrund der ungünstigen Topographie in die biologische Reinigungsstufe heben, werden nicht in die Betrachtung einbezogen, da sie mit dem biologischen Verfahren direkt nichts zu tun haben. Die *Rezirkulationspumpen* werden in die Betrachtung einbezogen wie auch die *Permeatpumpen* bei Membran-Belebungsverfahren. Der Stromverbrauch der entsprechenden Aggregate wurde während mehrerer Monate beobachtet. Die Messungen erfolgten mit den in den Anlagen installierten Messgeräten.

3.3 Spezifischer Stromverbrauch

Die Berechnung des spezifischen Stromverbrauchs bezogen auf die Belastung erfolgt gemäss folgender Formel:

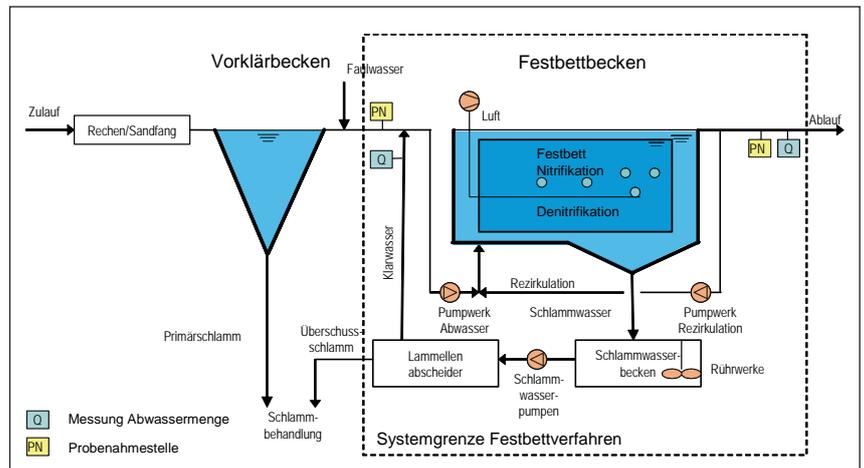


Abb. 2 Schema der ARA Lyss.

spez. Stromverbrauch

$$[kWh/EW_{BSB_5/CSB} \cdot a] = \frac{\text{Stromverbrauch [kWh/a]} / \text{Einwohnerwerte [EW}_{BSB_5/CSB}]} \quad (4)$$

Als Bezugsgrösse wird der *Einwohnerwert Kohlenstoff* [EW_{BSB₅/CSB}] herangezogen. Er wird aus dem Mittelwert der Einwohnerwerte CSB [EW_{CSB}] und BSB₅ [EW_{BSB₅}] berechnet, sofern sowohl BSB₅- wie auch CSB-Werte vorliegen.

4. Festbetтанlage

4.1 Beschreibung der Anlage

Die Festbetтанlage der ARA Lyss (Abb. 2) umfasst neun Zellen (Abb. 3). Acht der Zellen wurden im Erstausbau ausgerüstet und in Betrieb



Abb. 3 Festbettzellen.



Abb. 4 Trägerkörper (2–4 mm).

Parameter	Auslegung		Belastung Jan. 2005 - Okt. 2006		Auslastung
	80 %-Werte		Mittelwerte	80 %-Werte	
Abwassermenge	26 250 m ³ /d		17 534 m ³ /d	23 500 m ³ /d	89 %
CSB	8 500 kg/d	106 000 EW	5 325 kg/d	6 646 kg/d	78 %
BSB ₅	4 250 kg/d	106 000 EW	2 838 kg/d	3 637 kg/d	85 %
NH ₄ -N (Ammonium)	680 kg/d	90 700 EW	605 kg/d	737 kg/d	108 %
N _{tot}	935 kg/d	93 500 EW	912 kg/d	1 105 kg/d	118 %

Tab. 3 Auslegung und Belastung Festbetтанlage Lyss.

gesetzt. Die Anlage beansprucht eine gesamte Fläche von ca. 30 m × 50 m inkl. Maschinenhaus. Die einzelnen Filterzellen weisen Abmessungen von 8,2 m × 10,3 m mit einem Filtereinbau von 3 m auf (Abb. 4). Die Festbettanlage wurde im Frühling 2002 und die Schlammwasserbehandlungsanlagen im Frühling 2003 in Betrieb genommen.

4.2 Auslegung und Belastung

Die Festbettanlage der ARA Lysy wurde auf 106 000 Einwohnerwerte CSB ausgelegt (Tab. 3). Ein bedeutender Anteil des Abwassers der ARA Lysy stammt aus Industriebetrieben. Rund 40 % der Schmutzstofffracht werden von zwei Gross-einleitern geliefert.

4.3 Stromverbrauch

Der spezifische Stromverbrauch beträgt 20–23 kWh/EW_{BSB5/CSB-a}, wobei

dieser Wert umso kleiner ist, je grösser die Belastung resp. Auslastung der Festbettanlage (Abb. 5). In Perioden mit Verstopfungsproblemen stieg der spezifische Stromverbrauch auf Werte über 30 kWh/EW_{BSB5/CSB-a}.

5. Wirbelbettanlage

5.1 Beschreibung der Anlage

Das vierstrassige, herkömmliche Belebtschlammverfahren der ARA Wohlen wurde zu einem Wirbelbettverfahren *umgebaut* und im Jahr 2004 in Betrieb genommen.

Die biologische Reinigungsstufe ist unterteilt in vier Wirbelbett-Becken (4 Strassen à 4 × 325 m³), wo nacheinander die *Denitrifikation* (1. Becken), der *Kohlenstoffabbau* (2./3. Becken) und die *Nitrifikation* (3./4. Becken) stattfinden (Abb. 6 und 7). Die Biomasse haftet auf Trägermaterialien, die in Norwegen entwickelt wurden (Abb. 8).

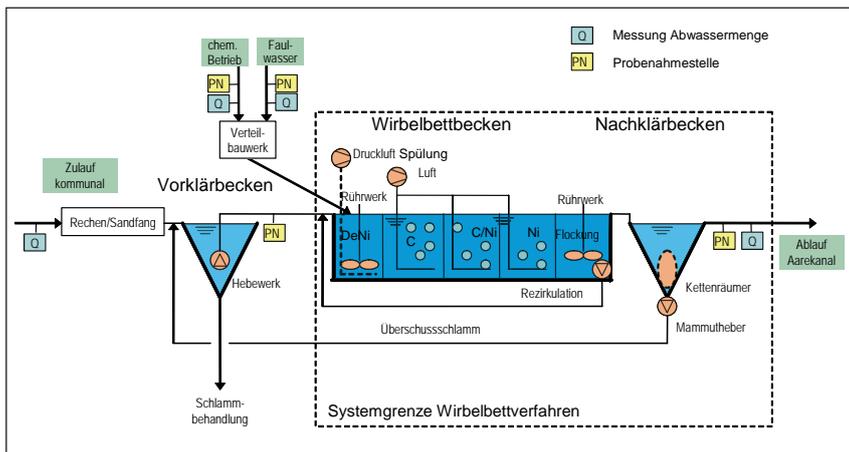


Abb. 6 Schema der ARA Wohlen.



Abb. 7 Nitrifikationsbecken mit Trägerkörpern.



Abb. 8 Trägerkörper.

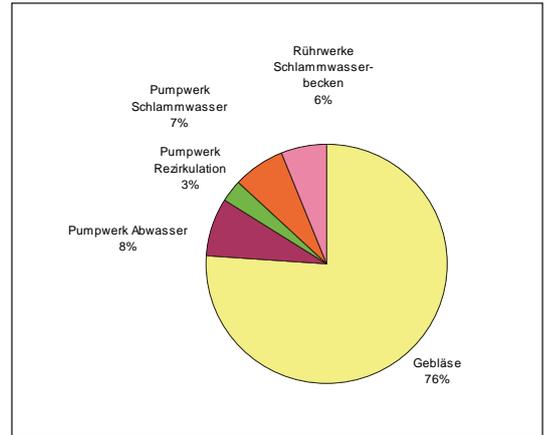


Abb. 5 Prozentuale Aufteilung Stromverbrauch Festbett ARA Lysy (Jan. 05 – Okt. 06).

5.2 Auslegung und Belastung

Tabelle 4 zeigt die unterschiedliche jahreszeitliche Belastung der ARA Wohlen in den Zeiträumen Winter – Frühling und Sommer – Herbst. Bezüglich Abwassermenge und Kohlenstoffbelastung bestehen grössere Kapazitätsreserven. Im Bezug auf Ammonium ist der Auslastungsgrad relativ hoch.

5.3 Stromverbrauch

Der Energieverbrauch der biologischen Reinigungsstufe der ARA Wohlen wird durch die Gebläse dominiert, die für den Sauerstoffeintrag des Kohlenstoffabbaus und der Nitrifikation sowie für eine genügende Turbulenz in den Wirbelbecken sorgen. Weitere markante Verbraucher sind die Rührwerke der Denitrifikations- und der Flockungsbecken (Abb. 9). Der spezifische Stromverbrauch schwankt entsprechend zwischen 42 kWh/EW_{BSB5/CSB.a} und 29 kWh/EW_{BSB5/CSB.a}. Der Mittelwert beträgt 36 kWh/EW_{BSB5/CSB.a}.

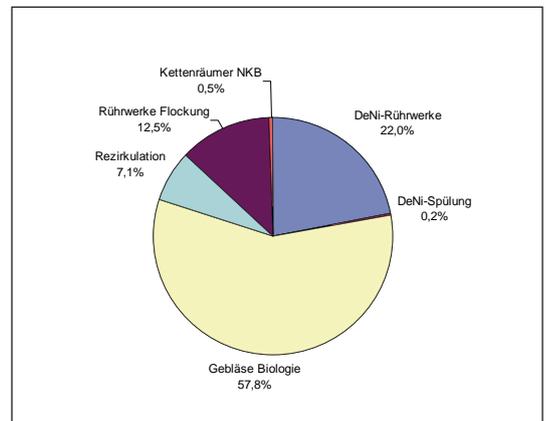


Abb. 9 Prozentuale Aufteilung Stromverbrauch Wirbelbett ARA Wohlen.

6. Membran-Belebtschlammverfahren

6.1 Beschreibung der Anlage

Das ursprünglich vierstrassige Belebtschlammverfahren der ARA Wädenswil wurde in zwei Strassen (Strasse 3 und 4) zu einem Membran-Belebtschlammverfahren umgebaut. Dabei wurden diese je in ein *Belüftungsbecken* und ein *Filtrationsbecken* unterteilt. Die Strassen 1 und 2 werden nach wie vor als konventionelle Belebtschlammanlage mit Nachklärbecken betrieben. Ziel des Umbaus war primär das Erreichen der strengen Grenzwerte bezüglich GUS (gesamte ungelöste Stoffe) und Gesamtphosphor im Kläranlagenablauf. Das Membran-Belebtschlammverfahren der ARA Wädenswil ist seit Ende 2005 in Betrieb (Abb. 10). Die bestehenden Belebungsbecken (ca. 410 m³) dienen im Membran-Belebungsverfahren wie bisher der biologischen Abwasserreinigung mit Belebtschlamm. Die Belebtschlammkonzentration wurde von ursprünglich ca. 3 kg TS/m³ Belüftungsbecken auf 9–12 kg TS/m³ BB erhöht (Abb. 11). Mit dieser Massnahme konnte das Schlammalter um Faktor 3–4 auf ca. 17 Tage erhöht werden.

Die Anlage verfügt über keine Denitrifikationsstufe.

Als Filter dienen pro Strasse acht Kassetten à vierzig Membranmodulen. Bei den Membranen handelt es sich um getauchte, vertikal angeordnete *Hohlfasermembrane* (Abb. 12) mit einem Porendurchmesser von 0,04 µm.

6.2 Auslegung und Belastung

Die mittlere Belastung der Kläranlage im Zeitraum Januar bis Oktober 2006 ist der Tabelle 5 zu entnehmen.

6.3 Stromverbrauch

Drei Viertel des Gesamtstromverbrauchs der ARA Wädenswil gehen zu Lasten der biologi-

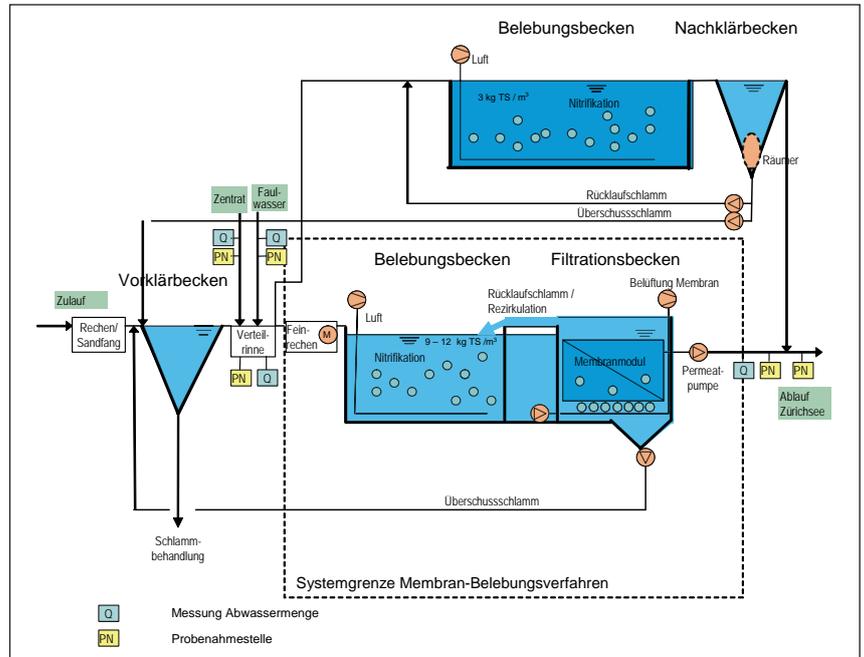


Abb. 10 Schema der ARA Wädenswil.

schen Reinigungsstufe. Das Membranbelebungsverfahren benötigt ungefähr doppelt soviel Strom wie das konventionelle Belebungsverfahren (Abb. 13 und 14).

Im Zeitraum Juni bis Oktober 2006 betrug der durchschnittliche Energieverbrauch der gesamten Kläranlage 4400 kWh/d. Davon beträgt der Anteil des konventionellen Belebtschlammverfahrens 1100 kWh/d und jener des Membran-Belebtschlamm-

verfahrens 1900 kWh/d. Der spezifische Energieverbrauch des konventionellen Belebtschlammverfahrens beträgt 31 kWh/EW_{CSB,a}, der Verbrauch des Membran-Belebtschlammverfahrens 54 kWh/EW_{CSB,a}.



Abb. 11 Becken des Membran-Belüftungsverfahrens.



Abb. 12 Membrane.

Parameter	Ausbaugrösse Annahme 80 %-Werte	Zeitraum März 05 – Okt. 06			Zeitraum Winter – Frühling März 05 – Mai 05; Dez. 05 – Mai 06			Zeitraum Sommer – Herbst Juni 05 – Nov. 05; Juni 06 – Okt. 06		
		Mittelwert	80 %-Wert	Auslast.	Mittelwert	80 %-Wert	Auslast.	Mittelwert	80 %-Wert	Auslast.
hydr. Kapazität [t/s]	500	160	230	46 %	190	270	54 %	140	170	34 %
Abw.-menge [m ³ /d]		14 100	19 600		16 700	23 200		12 200	14 800	
CSB [EW _{CSB}]	73 000	38 300	48 500	66 %	46 100	54 200	74 %	32 100	41 000	56 %
BSB ₅ [EW _{BSB5}]		39 900	50 800		48 900	62 300		32 800	42 500	
NH ₄ -N [EW _{NH4-N}]	40 000	30 700	35 500	89 %	34 300	37 800	95 %	28 900	33 200	83 %
NO ₃ -N _{chem. Betr.} [kg/d]		90	180		165	235		40	65	

Tab. 4 Auslegung und Belastung Wirbelbett ARA Wohlen.

Parameter	Ausbaugrösse	Zeitraum Januar 06 – Oktober 06		
	Annahme 80 %-Wert	Mittelwert	80 %-Wert	Auslastung
Abwassermenge [m ³ /d]		9 100	11 900	
CSB [EW _{CSB}]	44 000	30 200	39 300	89 %

Tab. 5 Auslegung und Belastung Biologie ARA Wädenswil.

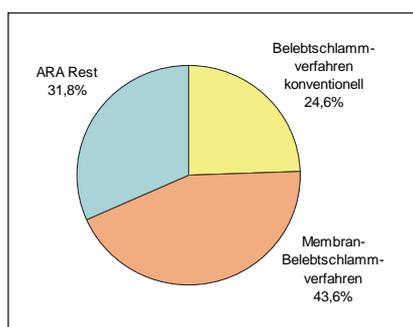


Abb. 13 Stromverbrauch total (ARA Wädenswil).

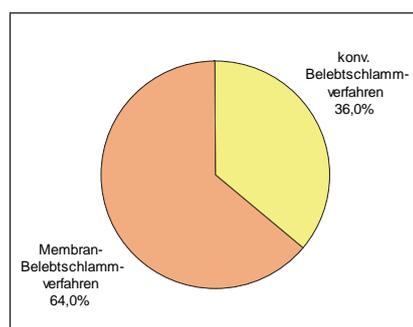


Abb. 14 Stromverbrauch biol. Reinigungsstufe.

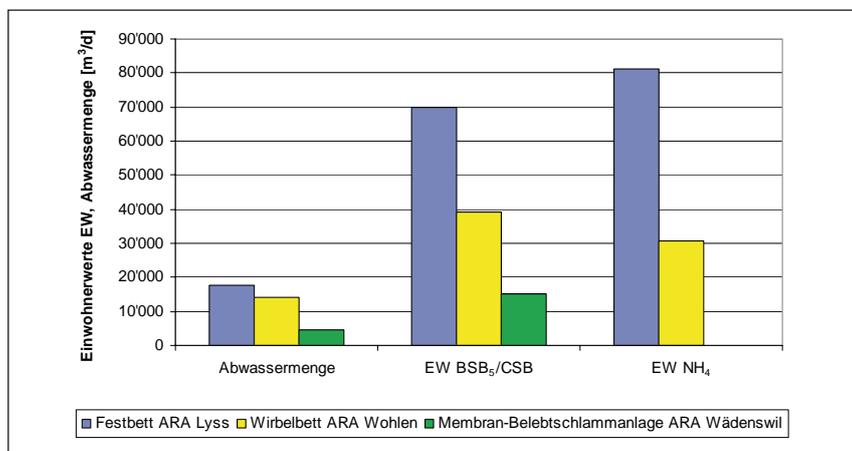


Abb. 15 Mittlere Belastung der biologischen Reinigungsanlagen während der Untersuchungsperiode.

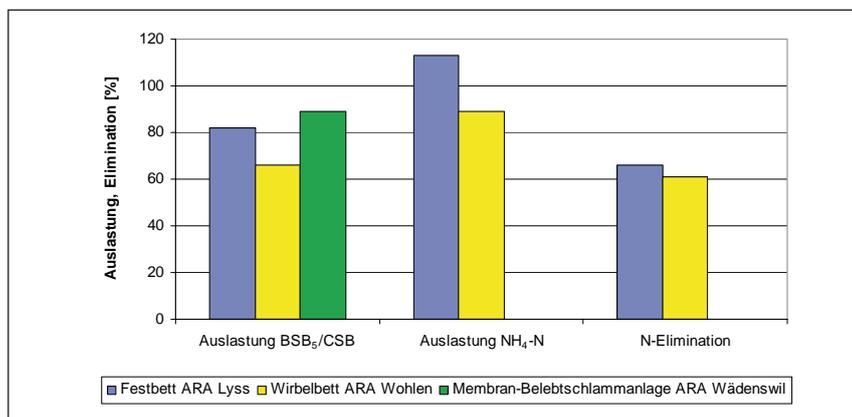


Abb. 16 Auslastung und N-Elimination der biol. Reinigungsanlagen während der Untersuchungsperiode.

7. Vergleich Stromverbrauch

7.1 Betriebliche Voraussetzungen

Bei der Beurteilung des Stromverbrauches der drei Kläranlagen ist zu berücksichtigen, dass sich die Anlagen bezüglich Stromverbrauchsoptimierung, Ausbaugrösse, Belastung und Auslastung (= Belastung/ Ausbaugrösse) unterscheiden (Abb. 15, Abb. 16 und Tab. 6).

Als eine der wichtigsten Erkenntnisse darf festgehalten werden, dass die Auslastung der jeweiligen Kläranlage sehr entscheidend für den Stromverbrauch ist. Eine optimale Dimensionierung oder die Möglichkeit der Verfahren in Zeiten schwacher Auslastung automatisch partiell oder intermittierend betreibbar zu sein, ist entscheidend.

7.2 Spezifischer Stromverbrauch

Das untersuchte Festbettverfahren weist mit 25 kWh/EWa einen vergleichbaren spezifischen Stromverbrauch auf wie das konventionelle Belebtschlammverfahren (Richtwert = 23 kWh/EWa, Idealwert = 18 kWh/EWa). Der spezifische Stromverbrauch der Wirbelbettanlage beträgt ca. 36 kWh/EWa. Das Membran-Belebtschlammverfahren weist den grössten spezifischen Stromverbrauch von 54 kWh/EWa auf (Abb. 17).

Der Stromverbrauch von energetisch optimierten Festbettanlagen liegt somit in der Nähe der konventionellen Belebtschlammverfahren oder mit einem Plus von 25 % lediglich leicht darüber. Wirbelbettverfahren schlagen mit einem Plus von 80 % vermehrt zu Buche, wobei der Streubereich sehr gross ist. Die Membran-Belebtschlammanlagen verbrauchen zirka dreimal soviel Strom wie eine konventionelle Belebtschlammanlage.

Abbildung 18 zeigt den Anteil der Gebläse am spezifischen Energieverbrauch der biologischen Reinigungsstufen der ARA Lyss, Wohlen und Wädenswil.

In Bezug auf die drei untersuchten Kläranlagen ergeben sich nachfolgende Erkenntnisse:

a) Der spezifische Stromverbrauch der Anlagen ist schwankend. Bei der ARA Lyss und bei der ARA Wohlen bedeutet eine Erhöhung der Schmutzstoffbelastung und somit des Auslastungsgrades eine Senkung des spezifischen Energieverbrauches. Dieser Effekt ist bei der ARA Wädenswil auch zu erwarten, konnte aber mit der relativ kurzen Messreihe Juni bis Oktober 2006 nicht eindeutig belegt werden.

b) Um einen geringen spezifischen Stromverbrauch zu erreichen, müssen die Anlagen mit hohem spezifischem Auslastungsgrad der

Verfahrenseinheiten betrieben werden können (Volllast statt Teillast). Dies ist bei der ARA Lyss aufgrund des autonomen Betriebs der einzelnen Zellen der Fall.

Anlage	Inbetriebnahme	Untersuchungsperiode	mittlere Belastung			Auslastung [%] C N	N-Elimination [%]	mittlerer Stromverbrauch [kWh/EW _{BSBS/CSB a}]
			[m ³ /d]	[EW _{BSBS/CSB}]	[EW _{HIN-N}]			
Festbettanlage ARA Lyss	2002	Jan. 05 – Okt. 06	17 500	70 000	81 000	82 113	66	25
Wirbelbettanlage ARA Wohlen	2004	März 05 – Okt. 06	14 100	39 100	30 700	66 89	61	36
Membranbelebungsanlage ARA Wädenswil	Dez. 05	(Jan.), Juni 06 – Okt 06	9 100/2 = 4 550	30 200/2 = 15 100		89		54
Belebtschlamm-anlage Richtwert	-	-		10 000 – 30 000			80	25
				30 000 – 100 000			80	23

Tab. 6 Vergleich Stromverbrauch der biologischen Reinigungsstufen.

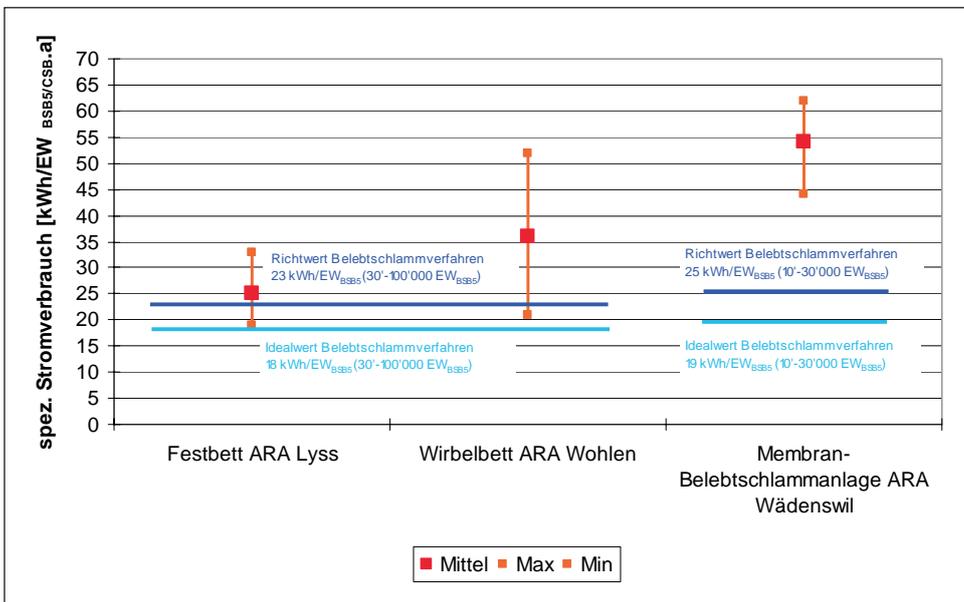


Abb. 17 Vergleich spezifischer Stromverbrauch der biologischen Reinigungsanlagen.

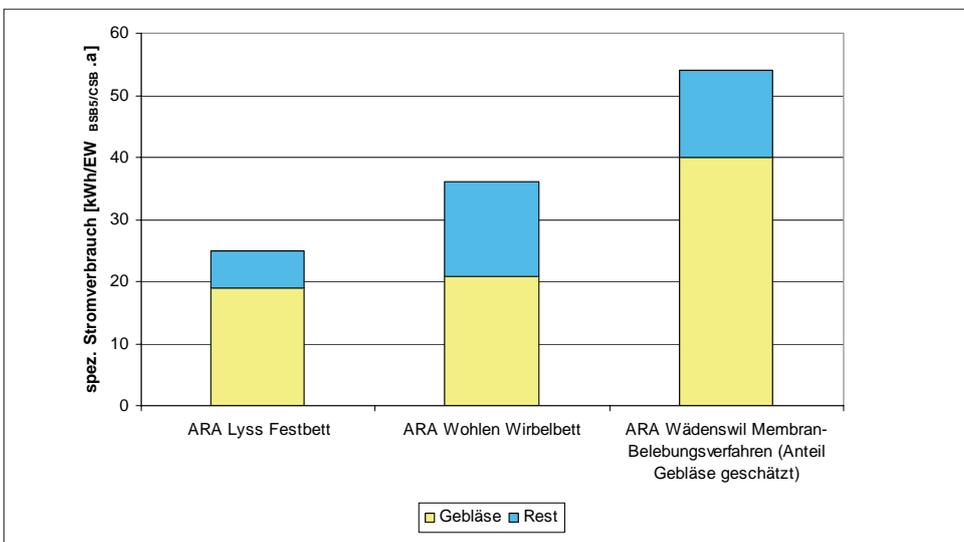


Abb. 18 Anteil der Gebläse am spezifischen Stromverbrauch der biologischen Reinigungsstufe.

- c) Die minimalen, spezifischen Stromverbrauchswerte der ARA Lyss und der ARA Wohlen deuten darauf hin, dass bei hoher Auslastung und optimiertem Betrieb Verbrauchswerte einer konventionellen Belebtschlamm-anlage erreicht werden können.
- d) Es kann davon ausgegangen werden, dass das Membran-Belebungsverfahren der ARA Wädenswil energetisch noch optimiert und somit der spezifische Stromverbrauch mit steigender betrieblicher Erfahrung gesenkt werden kann. Es ist jedoch fraglich, ob dieses Verfahren die minimalen Werte der Festbettanlage oder der Wirbelbettanlage oder den Richtwert einer konventionellen Belebtschlamm-anlage erreichen kann, weil der Gebläseeinsatz in diesem Verfahren überdurchschnittlich hoch ist.
- e) Der massgebliche Stromverbraucher der biologischen Reinigungsstufe ist die Gebläsestation. Neben der Funktion der Sauerstoffversorgung für die Mikroorganismen, erfüllen die Gebläse bei den neuen untersuchten Verfahren auch den Zweck, eine genügend grosse Turbulenz zu erzeugen, um die Biomasse aus dem System austragen zu können. Der Stromverbrauch ist daher naturgemäss in der Tendenz höher (Abb. 18).

8. Stromverbrauchsentwicklung und Einsparpotenzial

Die rund 900 Kläranlagen der Schweiz wiesen im Jahr 2001 einen Stromverbrauch von ca. 430 GWh/a auf [1]. Der Anteil der biologischen Reinigungsstufe betrug ca. 260 GWh/a. Aufgrund steigender Anforderungen an die Qualität des gereinigten Abwassers wird der Stromverbrauch auf Kläranlagen weiter ansteigen. Wegen beschränktem Platzangebot dürfte das heute am meisten angewendete

Belebtschlammverfahren zunehmend durch neuere Verfahren ersetzt werden, welche einen höheren Stromverbrauch aufweisen.

Da der Stromverbrauch vieler Kläranlagen mangels verbindlicher Vorschriften nicht optimiert ist, wird von einem *Einsparpotenzial* von ca. 20 % ausgegangen. Das Ausschöpfen dieses Potenzials setzt voraus, dass dem Stromverbrauch derselbe Stellenwert zukommt, wie das Einhalten der Qualität des gereinigten Abwassers.

Tabelle 7 enthält eine Prognose der künftigen Entwicklung der Anwendung der biologischen Reinigungsverfahren und deren Stromverbrauch. Unter der Annahme, dass das geschätzte Einsparpotenzial von 20 % realisiert wird, kann der Stromverbrauch der biologischen Reinigungsstufe auf dem Niveau 2001 gehalten werden.

9. Empfehlungen

9.1 Planung und Betrieb Kläranlage

I. QS Stromverbrauchserfassung
Stromverbrauchsmessungen müssen periodisch auf Plausibilität überprüft werden. Diese Überprüfung muss Bestandteil einer periodischen *Qualitätssicherung* (QS) sein.

II. Konzept Stromverbrauchserfassung
Stromsparmassnahmen setzen die Kenntnis über den Stromverbrauch der massgebenden Aggregate und die Einflussfaktoren voraus. Vielfach fehlt diese Kenntnis, weil die nötigen Daten oder Messgeräte nicht vorhanden sind.

Die systematische Erfassung des Stromverbrauches nach Funktion (Vorreinigung, biologische Reinigungsstufe, Schlammbehandlung, übriges) sowie die einzelne Erfassung grosser Stromverbraucher (z. B. Leistung > 20 kW) ist im Prozess der Stromverbrauchsoptimierung Voraussetzung. Dies setzt ein Konzept zur Stromverbrauchserfassung voraus. Dieses Konzept sollte in Zukunft für jede ARA vorliegen.

III. Automatischer Teilbetrieb

Um den Auslastungsgrad hoch zu halten, müssen biologische Reinigungsanlagen in Zeiten schwacher Auslastung möglichst automatisch partiell oder intermittierend betreibbar sein. Dies setzt bestimmte bauliche Voraussetzungen und einen bestimmten Automatisierungsgrad in der Steuerung und Regelung voraus. Diese müssen bereits in der Konzeption von Anlagen berücksichtigt werden.

IV. Spez. Stromverbrauch werkvertraglich vereinbaren

Bei der Submission von biologischen Reinigungsverfahren ist von den Lieferanten der spez. Stromverbrauch anzugeben. Dieser ist als Garantiewert im Werkvertrag aufzunehmen.

V. Stromverbrauchsanalyse

Kläranlagen sollen verpflichtet werden, Stromverbrauchsanalysen durchzuführen, wenn der spezifische Energieverbrauch der Anlage die geltenden Richtwerte um ein zu definierendes Mass überschreitet [5].

Die Verfasser dieses Berichtes und der vollständigen Studie danken den Betriebsleitern und Verantwortlichen der ARA Lyss, der ARA Wohlen und der ARA Wädenswil für die Unterstützung und für die zahlreichen Eigenleistungen, die sie zur Verfügung gestellt haben. Die Studie wurde vom Bundesamt für Energie finanziert und von EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen unterstützt.

Download der Studie

www.bfe.admin.ch/dokumentation/energieforschung/ → Publikationsnr. 260054

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt (BA) für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (2003): Schweizerische Statistik erneuerbarer Energien.
- [2] BA für Energie (BFE) (2004): Energie in Wasserversorgungen, Handbuch.
- [3] Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (1999): Energie in Kläranlagen, Handbuch.
- [4] BA für Energiewirtschaft (BEW), BA für Konjunkturfragen (BfK), BA für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (1994): Energie in ARA, Handbuch. EDMZ, 3000 Bern.
- [5] Bundesumweltamt Deutschland (2006): Steigerung der Energieeffizienz auf kommunalen Kläranlagen, Umweltforschungsplan des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Abwasserwirtschaft, Förderkennzeichen (UFOPLAN) 205 26 307.
- [6] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1998): Stromverbrauch auf kommunalen Kläranlagen, Handbuch Wasser 4, 1. Auflage, Karlsruhe.
- [7] Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (2003): Abwassertechnik mit Membrantechnik. Membraneinsatz im kommunalen und industriellen Bereich, 1. Auflage.

Keywords

Biologische Reinigungsverfahren – ARA – Stromverbrauch

Adresse der Autoren

Oskar Sigel, dipl. Kulturing. ETH
oskar.sigel@rysering.ch

Stefan Kempf, dipl. Kulturing. ETH
stefan.kempf@rysering.ch

Beat Kobel, dipl. Bauing. HTL
beat.kobel@rysering.ch

Ryser Ingenieure AG
Engestrasse 9, CH-3000 Bern 9
Tel. +41 (0)31 560 03 03, Fax +41 (0) 31 560 03 04

		Belebtschlammverfahren		Festbettverfahren		Wirbelbettverfahren		Membran-Belebtschlammverfahren		Total biologische Reinigungsverfahren		
		Anteil EW Schweiz	Stromverbrauch kWh/EW.a	Anteil EW Schweiz	Stromverbrauch kWh/EW.a	Anteil EW Schweiz	Stromverbrauch kWh/EW.a	Anteil EW Schweiz	Stromverbrauch kWh/EW.a	Anteil EW Schweiz	Stromverbrauch kWh/EW.a	
Statistik Buwal 2001 [1]	spez. Energieverbrauch		22		24		26		44			
		95 %	245 GWh/a	5 %	15 GWh/a	0 %	0 GWh/a	0 %	0 GWh/a	100 %	260 GWh/a	
Prognose 2030	keine Energieoptimierung		35 %	90 GWh/a	25 %	75 GWh/a	15 %	45 GWh/a	25 %	130 GWh/a	100 %	340 GWh/a
		Energieoptimierung (Potenzial in %)		20%		20%		20%		20%		
			35 %	70 GWh/a	25 %	60 GWh/a	15 %	35 GWh/a	25 %	105 GWh/a	100 %	270 GWh/a

Tab. 7 Prognose des Anteils der biologischen Reinigungsverfahren und deren Stromverbrauch in der Schweiz.