

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 100 (1982)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Die biologische Reinigungsstufe und ihre besonderen Probleme  
**Autor:** Morgenthaler  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-74781>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 15.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Die biologische Reinigungsstufe und ihre besonderen Probleme

Von Paul Morgenthaler, Zürich

## Grundlagen

Nach der mechanischen Klärung gelangt das Abwasser aus den Vorklärbecken in die *teilzweistufige biologische Reinigung*. Dabei wird ein konstanter Teil der Abwassermenge in die Teilstufe geleitet, mit der restlichen Abwassermenge wieder vereinigt und zur Hauptstufe gefördert. Als Teilstufe dient die bestehende Anlage, während die Hauptstufe vollständig neu gebaut wird.

In Tabelle 1 sind die Zu- und Ablaufmengen für beide Anlagenteile aufgeführt. Die Zahlenwerte enthalten auch die in die Teilstufe eingeleiteten Rückläufe aus der Schlammbehandlung und der in ihr inwohnenden Reinigungsleistung sowie die Filtrerrückspülwasser zur Hauptstufe.

In Tabelle 1 bedeuten:

- Q = Abwassermenge
- Q<sub>24</sub> = Tagesmittelwert (24-h-Mittel)
- Q<sub>18</sub> = Mittel in den Tagesstunden (18-h-Mittel)
- VQ = Tagesabwasserfracht
- BSB<sub>5</sub> = biochemischer Sauerstoffbedarf nach 5 Tagen
- TOC = totaler organischer Kohlenstoff
- DOC = gelöster organischer Kohlenstoff
- NH<sub>4</sub>-N = Ammoniumstickstoff
- P<sub>ges</sub> = Gesamtphosphor
- SS = Schwebestoffe

Somit wird in der Hauptstufe im 24-Stunden-Mittel mit den nachstehenden Ablaufkonzentrationen gerechnet:

### Belastung bei Trockenwetter:

BSB <sub>5</sub>	~	4,3 mg/l
TOC	~	9,8 mg/l
DOC	~	6,6 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	~	0,7/2,1 mg/l*
P <sub>ges</sub>	~	1,0 mg/l
SS	~	11,2 mg/l

### Belastung bei Regenwetter:

BSB <sub>5</sub>	~	5,0 mg/l
TOC	~	10,5 mg/l
DOC	~	6,7 mg/l
NH <sub>4</sub> -N	~	0,7/5,3 mg/l*
P <sub>ges</sub>	~	1,2 mg/l
SS	~	12,8 mg/l

\* Sommer- resp. Winterwerte bei pH = 7,2

Obige Ablaufqualitäten der biologischen Reinigungsstufe übertreffen das zulässige Mass und dürften in 80% der Fälle sicher erreicht werden. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass jeweils montags mit einer um bis 50% grösseren Schmutzstoffbelastung im Zufluss zu rechnen ist.

## Verfahrenskonzept

Aufgrund der Zulaufverhältnisse und der geforderten Abflussqualitäten ist eine Erweiterung der biologischen Reinigungsstufe zu einer *vollnitrifizierenden Anlage mit Phosphorelimination* er-

forderlich. Dabei wird die bestehende biologische Anlage als Vorbehandlungs- und Ausgleichsstufe eingesetzt.

In der *Teilstufe* wird die auf 1,0 bis maximal 2,0 m<sup>3</sup>/s limitierte, konstante Beschickung zusammen mit den Rückläufen aus der Schlammbehandlung (Faulanlage, Nacheindicker und Schlamm-entwässerung) in den bestehenden Einrichtungen belüftet und nachgeklärt. Zusätzlich erfolgt in dieser hochbelasteten Stufe bereits eine Chemikalienzugabe zur Phosphorelimination. Der Ablauf aus der Teilstufe vereinigt sich alsdann mit dem direkt aus der Vorklärung um die bestehende Anlage herumgeführten Restzulauf.

Das Gesamtabwasser durchläuft nun die biologische *Hauptstufe*. Deren Belebungsbecken sind für ganzjährige Vollnitrifikation samt Phosphatentfernung ausgelegt. In den Nachklärbecken erfolgt die Trennung des gereinigten Abwassers vom sedimentierenden Beleb- und Tertiärschlamm. Für eine rasche und ausreichende Entfernung dieses Schlammes sorgen Saugräumer, welche die Becken längs bestreichen und das Fördergut als Rücklaufschlamm beim Einlauf der Belüftungsbecken wieder in den Prozesskreislauf einspeisen.

Das Abwasser gelangt in die Teil- bzw. Hauptstufe über ein Hebewerk.

Die Gesamtgliederung der Anlage weist eine *ost-westorientierte Symmetrieachse* auf. Dadurch wird die Hauptstufe in eine nördliche und in eine südliche Anlagehälfte geteilt. Diese besitzen je 6 parallel geführte Strassen.

Tabelle 2 zeigt die wesentlichen technischen Daten der beiden biologischen Stufen und Tabelle 3 deren Belastungen.

Tabelle 1. Zu- und Ablaufverhältnisse der Teil- und Hauptstufe

Zustand	Parameter	Zulauf aus Vorklärung	Teilstufe		Hauptstufe	
			Zulauf <sup>1</sup>	Ablauf	Zulauf <sup>2</sup>	Ablauf
Trockenwetter (Jahresmittel)	Q <sub>24</sub> m <sup>3</sup> /s	3,5	1,5	1,5	3,53	3,53
	Q <sub>18</sub> m <sup>3</sup> /s	4,7	1,5	1,5	4,71	4,71
	VQ 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d	292,6	129,6	129,6	304,9	304,9
	BSB <sub>5</sub> t/d	31,7	15,2	2,3	20,1	1,3
	TOC t/d	21,8	10,6	3,8	16,3	3,0
	DOC t/d	-	-	2,5	-	2,0
	NH <sub>4</sub> -N t/d	3,6	2,5	2,2	4,2	0,21/0,65 <sup>3</sup>
	P <sub>ges</sub> t/d	2,2	1,0	0,3	1,5	0,3
	SS t/d	34,4	20,1	4,5	28,4	3,4
	Regenwetter (Mittel)	Q m <sup>3</sup> /s	9,0	1,5	1,5	9,2
VQ 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /d		457,4	129,6	129,6	476,8	476,8
BSB <sub>5</sub> t/d		31,7	10,2	1,8	24,7	2,4
TOC t/d		21,8	7,1	2,6	18,6	5,0
DOC t/d		-	-	1,8	-	3,2
NH <sub>4</sub> -N t/d		3,6	1,9	1,7	4,3	0,35/2,5 <sup>3</sup>
P <sub>ges</sub> t/d		2,2	0,7	0,2	1,8	0,4
SS t/d		46,0	17,1	2,4	42,9	6,0

<sup>1</sup> inkl. Rückläufe aus der Schlammbehandlung

<sup>2</sup> inkl. Ablauf Teilstufe und Rückläufe aus der Filtration

<sup>3</sup> Sommer- resp. Winterwerte bei pH = 7,2

## Hydraulische Probleme

### Beschickung der Teil- bzw. Hauptstufe

Von der mechanischen Reinigung gelangt das Abwasser in zwei getrennten Kanälen zur Teilstufe. Unmittelbar vor deren Hebewerk sind die beiden Kanäle mittels 5 Dammbalken so miteinander verbunden, dass das Abwasser im Bedarfsfall von der einen Strasse in die andere umgeleitet werden kann. Nach dieser «Vereinigung» fallen die Kanalsohlen derart zum Pumpensumpf des Hebewerkes ab, dass der Füllpunkt der Schneckenpumpen auf die Höhe der unvertieften Kanalsohlen zu liegen kommt. Dadurch werden auch kleine Wassermengen vollumfänglich zweistufig gereinigt. Die Fördermenge der Schneckenpumpen ist auf 2 m<sup>3</sup>/s begrenzt, wodurch die Kapazität der Teil-

Tabelle 2. Technische Daten der biologischen Reinigungsstufe

Teilstufe		Hauptstufe	
<b>Zulaufhebwerk</b>		<b>Zulaufhebwerke</b>	
2 Schneckenpumpen à Förderhöhe	0,5–1,0 m³/s = 2,0 m	2 Stk. mit je 3 Schneckenpumpen à Förderhöhe	1,54 m³/s = 9,24 m³/s 7,10 m
<b>Belebtschlammbecken</b>		<b>Belebungsbecken</b>	
4 Belüftungsbecken mit Inka-Belüftung, Inhalt je	2225 m³ = 8 900 m³	2 Strassen à 6 Becken à Abmessungen je Becken: Länge Breite Wassertiefe	5000 m³ = 60 000 m³ 89,00 m 12,50 m 4,35–4,50 m
<b>Gebälsestation</b>		<b>Belüftungseinrichtung für total max.</b>	
6 Drehkolbenverdichter, Leistung je Sauerstoffeintrag je	29 000 m³ L/h = 174 000 m³ L/h 200 kg O₂/h = 1 200 kg O₂/h	7 000 kg O₂/h	
<b>Nachklärung</b>		<b>Nachklärung</b>	
4 Rundbecken, Inhalt je Oberfläche je	5175 m³ = 1700 m² = 6 800 m²	2 Strassen à 6 querdurchströmte Becken Inhalt netto je Oberfläche je Becken: Länge Breite Wassertiefe	5870 m³ = 70 440 m³ 1170 m² = 14 040 m² 142,00 m 10,10 m 4,45 m

Tabelle 3. Belastung der Teil- und Hauptstufe bei Trockenwetter im 24-Std-Mittel

Becken	Belastungsparameter	Einheit	Teil-Stufe	Haupt-Stufe	
Belebtschlammbecken	Belüftungszeit	$T = J/Q$	h	1,65	4,72
	Hydr. Raumbelastung	$R_H = 24/T$	m³/m³ BB · d	14,6	5,1
	Biochem. Raumbelastung	$R_B = R_H \cdot S_r$	kg BSB₅/m³ · d	1,7	0,34
	Rücklaufverhältnis	$m = Q_{RS}/Q$	-	1,0	1,1
	Schlammkonzentration Rücklaufschlamm	$c_{RS}$	kg/m³	6,8	8,0
	Schlammkonzentration Belüftungsbecken	$c_{BB}$	kg/m³	3,4	4,2
	Schlammbelastung	$S_{B-GV} (BSB_5)$	kg BSB₅/kg GV · d	0,82	0,16
	Schlammbelastung	$S_{B-GV} (TOC)$	kg TOC/kg GV · d	0,57	0,13
	Schlammalter	$T_S = 1/\mu$	d	1,0	7,5
	ÜS-Produktion brutto	$\dot{U}_{S_o}^*$	kg TS/d	30 300	33 540
	Glühverlust	$GV^*$	%	61	52
	Reinigungseffekt	$\eta (BSB_5)$	%	85	94
	Reinigungseffekt	$\eta (org C)$	%	77	87
	Reinigungseffekt	$\eta (NH_4-N)^{**}$	%	11	95
Reinigungseffekt	$\eta (P)$	%	86	86	
Nachklärbecken	Oberflächenbelastung	$O_b = Q/O$	m³/m² · h	0,8	1,0
	Feststoffoberflächenbelastung	$O_f = O_b \cdot c_{BB}$	kg TS/m² · h	2,7	4,2
	Schlammvolumenbelastung	$SV_R = O_f \cdot J_V$	m³ Schl./m² · h	0,5	0,7
	Aufenthaltszeit	$T = J/Q$	h	3,8	5,6
	SS-Konz. im Ablauf	$c_{SS}$	mg/l	~ 35	~ 13

\* inkl. chemischer Schlamm aus P-Fällung

\*\* unter Sommerbedingungen bei pH ≥ 7,2

stufe nicht überschritten werden kann. Der Mengenanteil über 2 m³/s gelangt durch den Umlaufkanal (Bypass) direkt zur Hauptstufe.

Die Teilstufe weist keine wesentlichen hydraulischen Probleme auf. Bei der Hauptstufe liegen die Verhältnisse anders. Im Endzustand muss die Notentlastung zum Hauserkanal dann geöffnet werden, wenn ein oder mehrere Pumpenaggregate der Hebewerke ausfallen und die ankommende Wassermenge die Kapazität der noch in Betrieb stehenden Pumpen übersteigt. In diesem Fall öffnen sich automatisch die Schützen im Notentlastungskanal soweit, dass das notwendige Druckgefälle für die zu entlastende Wassermenge zum Vorfluter gerade ausreicht. Übersteigt bei hohen Vorfluterständen die notwendige Druckhöhe das zulässige Mass, so muss wegen Rückstau resp. Überflutungsgefahr der Auslaufschütz schliessen und

der Zulauf zur Kläranlage gedrosselt werden. Diese Betriebszustände sind äusserst selten und nur von kurzer Dauer.

**Wasserverteilung in den Nachklärbecken der Hauptstufe**

Ein hydraulisch schwieriges Problem bietet die Wasserverteilung in den 12 über 140 m langen und querdurchströmten Nachklärbecken der Hauptstufe. Hier gilt es, den Zufluss pro Strasse in einem Zulaufgerinne entlang eines jeden Beckens möglichst gleichmässig auf die ganze Beckenlänge resp. auf dessen Querschnitt zu verteilen, damit sich verfahrenstechnisch optimale Verhältnisse einstellen (ungestörte Sedimentation des Belebtschlammes und dessen gleichmässige Speicherung und Eindickung am Beckenboden).

Diese Forderung lässt sich nur mit stetig veränderlichem Gerinnequerschnitt

und mit variablen Abständen oder Querschnitten der Eintrittsöffnungen erfüllen. Ein solches Gerinne ist schwierig herzustellen, besonders wenn minimale Breiten unterschritten werden. Deshalb wurde als Kompromiss und aufgrund einer Optimierung eine Querschnittsform gewählt, die ausführungstechnisch möglich ist und hydraulisch eine ausreichende Genauigkeit besitzt (Bild 1). Die Sohle des Gerinnes weist dabei auf 2/3 seiner Länge von 142,00 m in der Fliessrichtung eine konstante Steigung von 1,16% auf, um hernach bis an das Rinnenende horizontal zu verlaufen. Der fünfeckförmige Querschnitt verändert sich entsprechend der Sohlenlage und geht nach dem Gefällswechsel allmählich in ein Rechteckprofil über. Die 134 Einlauf-Verteilrohre zum Becken haben einen konstanten Durchmesser von 100 mm. Ihre Abstände variieren zwischen 134 cm am Gerinneanfang und 80 cm an dessen Ende, wobei nach jedem vierten Rohr der Abstand auf weite Strecken um jeweils 2 cm und im hintersten Siebentel um 1 cm ändert.

Das hydraulische Verhalten der ungewöhnlich langen Zulaufverteilrinne geht aus Bild 2 hervor. Dort ist der theoretisch gleichmässig auf die ganze Beckenlänge verteilte Zufluss (Abwassermenge inkl. aller Rückläufe samt Rücklaufschlamm) zu 100% gesetzt. Die effektiven Abweichungen in den einzelnen Abschnitten zum Sollwert liegen praktisch bei jeder Zuflussmenge innerhalb ± 2,5%.

Im Mittelabschnitt werden die Nachklärbecken hydraulisch am stärksten belastet. Am Beckenanfang sinkt ihre Beaufschlagung mit zunehmendem Zufluss, während die Verhältnisse am Beckenende umgekehrt liegen.

Die Fliessgeschwindigkeit in der Zulaufverteilrinne bleibt auf 2/3 ihrer Länge konstant



und fällt dann zum Beckenende hin auf Null ab. Sie ist in allen Zuflussbereichen so gross, dass kein vorzeitiges Ausedimentieren des Belebtschlammes entsteht. Dadurch liegt auch die feststoffmässige Belastung der querdurchströmten Nachklärbecken im Rahmen ihrer hydraulischen Beschickung.

**Abzug des Rücklaufschlammes**

Auch der gleichmässige Abzug des Rücklaufschlammes erweist sich bei solch langen und 10,10 m breiten Becken als nicht unproblematisch. Zum einen ist der ausgeschiedene Schlamm innert nützlicher Frist aus den Nachklärbecken zu schaffen; zum anderen hat der Schlammabzug quantitativ und qualitativ möglichst gleichmässig zu erfolgen, sofern man von einer homogenen Verteilung des Belebtschlammes im Becken ausgehen darf. Hierzu müssen pro Doppelbecken je drei parallel hintereinander laufende Saugräumer eingesetzt werden. Jeder der drei Räumere bestreicht dabei einen Drittel des Beckens, wobei an den Wende- oder Umkehrpunkten eine angemessene Überschneidung stattfinden muss. Infolge der grossen Beckenbreite sind aus konstruktiven Gründen an jedem Räumerteil zwei Saugbalken anzubringen. Deren hydraulisch unterschiedliches Verhalten wird durch Einbau entsprechender Blenden in die Steigleitungen ausgeglichen. Im Gegensatz zum homogenen Gemisch schwankt die Konzentration des Rücklaufschlammes von 5 bis 10 kg TS/m<sup>3</sup>. Will man also eine Belebtschlammanlage mit konstantem Schlammalter fahren, so ist eine Mengenregulierung nach Fördervolumen ungeeignet. Die Fördermenge dient lediglich als Hilfsgrösse, wie in einer späteren Publikation gezeigt wird.

**Verfahrenstechnische Probleme**

In der biologischen Hauptstufe wird der Grossteil der sich im Abwasser befindenden kolloidalen und gelösten Schmutzstoffe entfernt. Darüber hinaus soll der Ammoniumstickstoff ganzjährig in den sauerstoffgebundenen Nitratstickstoff umgewandelt sowie der Phosphor eliminiert werden. Besonders die Nitrifikation beansprucht lange Aufenthaltszeiten des Abwassers im Belüftungsbecken, die im vorliegenden Fall bei Trockenwetter im Tagesmittel 4,7 Stunden betragen.

**Nitrifikation**

Bekanntlich ist die Umwandlung des Ammoniums in Nitrat resp. die maximale Wachstumsgeschwindigkeit der Nitrifikanten in starkem Masse vom Milieu (Umweltfaktoren) abhängig [1,

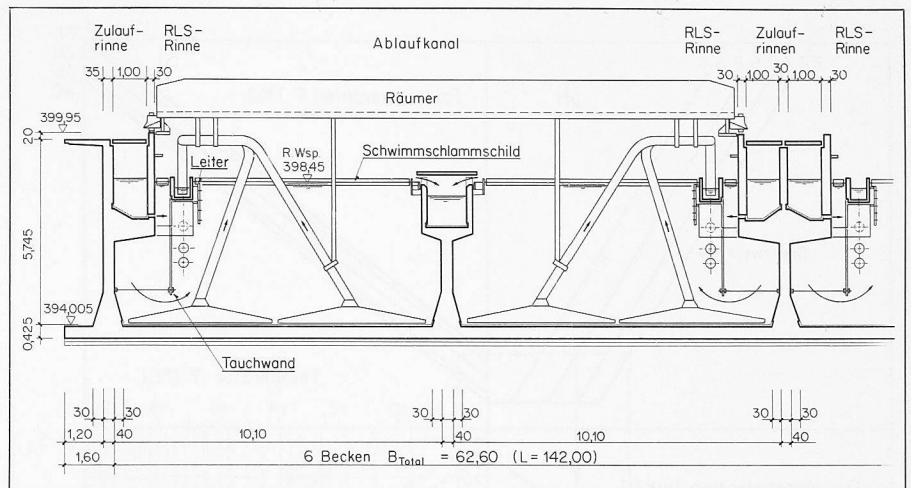


Bild 1. Querschnitt durch Nachklärbecken der Hauptstufe

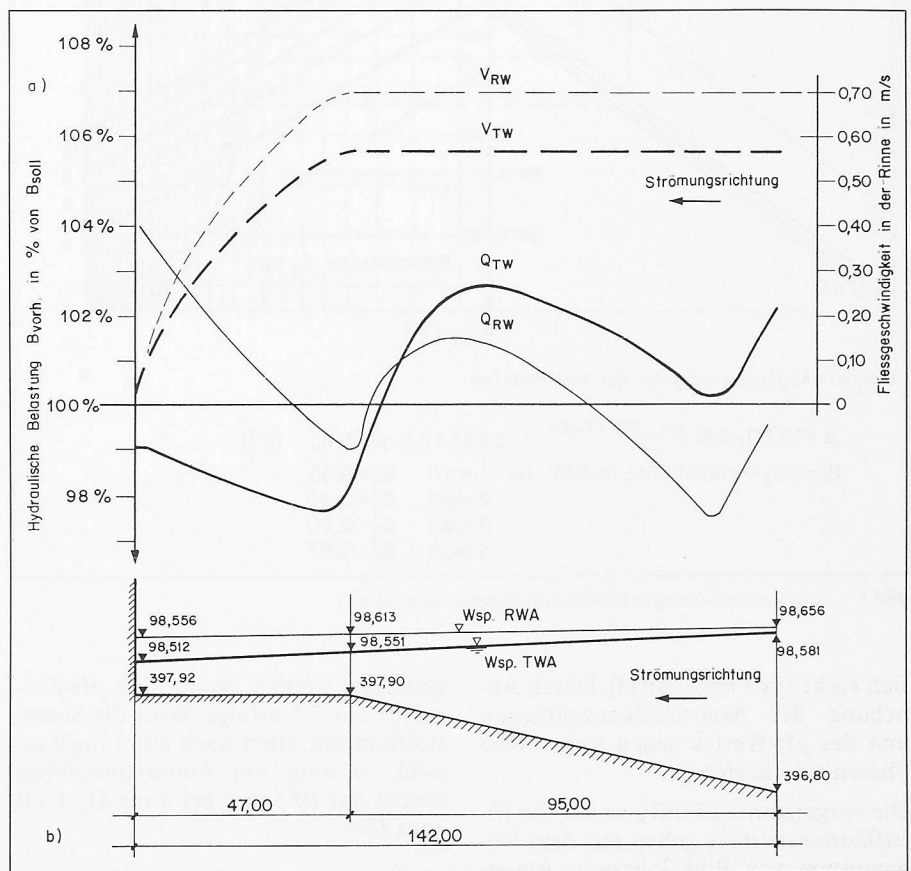


Bild 2. a) Hydraulische Belastung und Fließgeschwindigkeit im Zulaufgerinne der Nachklärbecken  
b) Wasserspiegellagen im Zulaufgerinne der Nachklärbecken

4, 5]. Die Temperatur, die der Dimensionierung der neuen Anlage zu grunde liegt, beträgt 10 °C. Bei tieferen Temperaturen lässt sich der Prozess nur durch erhöhte Sauerstoffkonzentration in den Belüftungsbecken in gewissen Grenzen halten. Der Mehrbedarf an Sauerstoff lässt sich während der Wintermonate infolge der höheren Löslichkeit des Sauerstoffes (höherer Sauerstoffsättigungswert) in den meisten Fällen mit der installierten Gebläseleistung abdecken. Im weiteren verringern reduzierte organische Verbindungen (z. B. Schwefelverbindungen) aus dem anaeroben Faulprozess die Leistungsfähigkeit der nitrifizierenden Bakterien [2]. Deshalb

wird das Faulwasser aus der Schlammbehandlung derart während der Nachtstunden dosiert zur Teilstufe abgelassen, dass über den ganzen Tag verteilt ein quantitativer und qualitativer Ausgleich an Ammonium entsteht. Aber auch der Einsatz von Eisen-II-Sulfat zur Phosphorelimination kann eine Hemmung von 10 bis 30% erwirken. Man ist deshalb gehalten, bei Abwassertemperaturen unter 10 °C evtl. mit dem dreiwertigen Eisenchlorid zu fällen. Untersuchungen der EAWAG haben gezeigt, dass länger anhaltende winterliche Betriebsbedingungen ( $t_{Abw} \leq 10 \text{ °C}$ ) mit einem O<sub>2</sub>-Gehalt von 2 mg/l in Kombination mit einem pH von 6,9

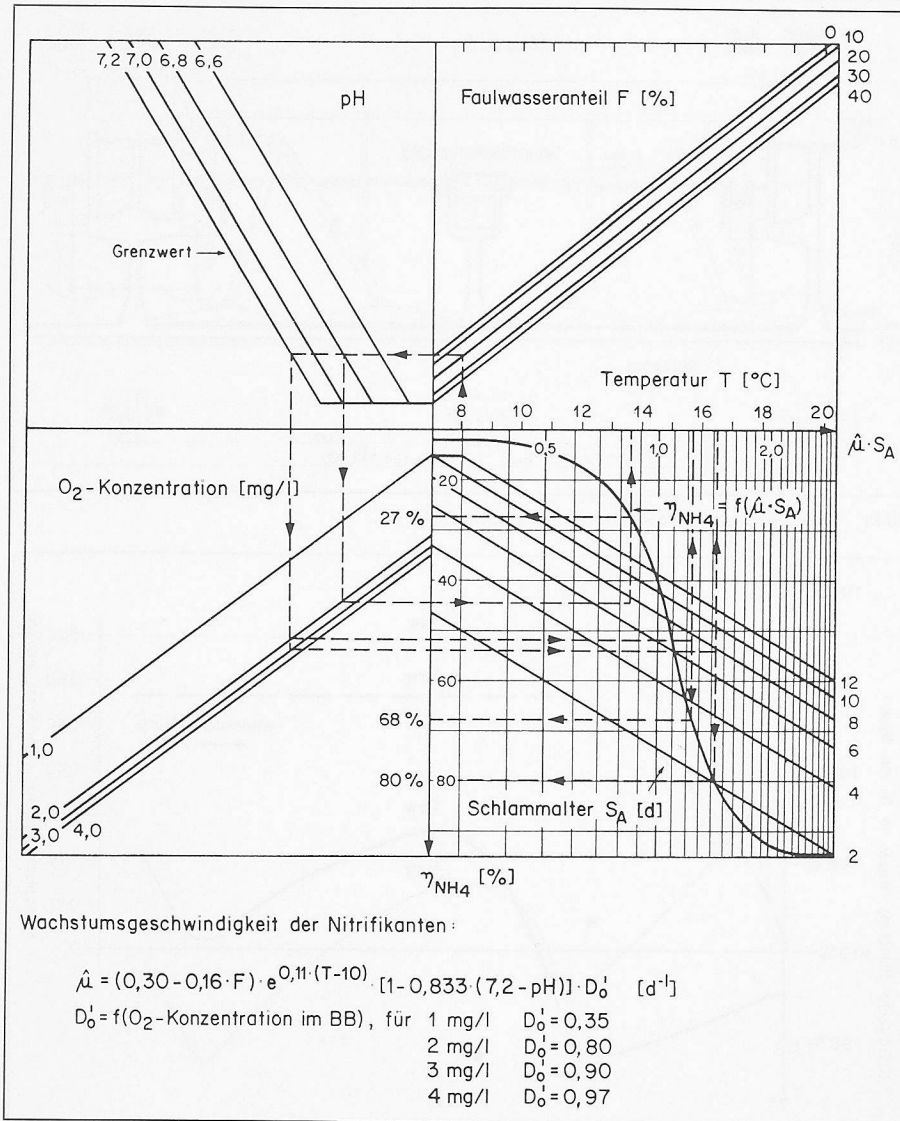


Bild 3. Nitrifikationsleistung in Funktion der Hauptkomponenten

sich als kritisch erweisen [3]. Durch Anhebung der Sauerstoffkonzentration und des pH-Wertes lassen sich solche Phasen entschärfen.

Die vorgenannten Einflüsse auf die Nitrifikationsleistung gehen aus dem Nomogramm von Bild 3 hervor. Ausgehend von der Abwassertemperatur T (Abszisse des 1. Quadranten), dem Faulwasseranteil F als Verhältnis der Ammoniumfracht im Faulwasser und im Abwasser, dem pH-Wert und der Sauerstoffspannung im Belebtschlammreaktor kann im Quadranten 4 aufgrund des gewählten oder gegebenen Schlammalters  $S_A$  der Sicherheitsgrad  $\hat{\mu} \cdot S_A$  bzw. direkt der Wirkungsgrad der Ammoniumumwandlung  $\eta(NH_4)$  abgelesen werden. Danach kann beispielsweise in der Anlage Werdhölzli, die mit einem Schlammalter von 7,5 Tagen und einem Faulwasseranteil von 20% gefahren wird, bei einer Abwassertemperatur von nur 8 °C, einem  $O_2$ -Gehalt von 2 mg/l und einem pH von 6,8 deren Nitrifikationsleistung  $\eta(NH_4)$  von etwa 27% auf 68%

gesteigert werden, wenn eine pH-Korrektur auf 7,2 erfolgt. Wird die Sauerstoffkonzentration noch auf 3 mg/l erhöht, so steigt der Ammoniumabbau bereits auf 80% und bei 4 mg  $O_2/l$  auf etwa 85%.

**Denitrifikation**

Eine für den Betrieb unangenehme Erscheinung bei nitrifizierenden Anlagen ist die unter gewissen Voraussetzungen einsetzende Denitrifikation. Hierzu müssen erfüllt sein:

- Mangel oder gänzlichliches Fehlen von gelöstem Sauerstoff.
- Anwesenheit von organischen Verbindungen, welche als Wasserstoffdonatoren wirken.

Bei der Vermischung von nitrifiziertem mit nur vorgereinigtem Abwasser sind in der Regel beide Bedingungen erfüllt. Die Denitrifikation geschieht nach folgender Formel, wobei Stickstoffgas  $N_2$  entweicht:  $2 NO_3^- + 10 H \rightarrow 2 OH^- + N_2 + 4 H_2O$

Wenn für diesen Prozess nicht eigens

entsprechende Anlagenteile geschaffen werden, verlagert sich die Denitrifikation in die Nachklärbecken. Energie-technisch ist die gezielte Denitrifikation insoweit interessant, als sich dadurch der Sauerstoffeintrag etwas reduzieren lässt. Von wesentlich grösserer Bedeutung sind die daraus entstehenden betrieblichen Vorteile und die Stickstoffelimination, die aber im vorliegenden Fall nicht gefordert wird. In der Kläranlage Werdhölzli ist nun vorgesehen, eine anoxische Zone im ersten Siebenteil der Belüftungsbecken zu schaffen. Hierzu werden in diesem Bereich die Luftverteilungen der Flächenbelüftung nur auf einen mittig und längs verlaufenden Streifen mit Domen bestückt. Die Luftdosierung hat derart zu erfolgen, dass einerseits kein positiver Sauerstoffgehalt entsteht und andererseits eine genügend grosse Umwälzleistung dafür sorgt, dass der Belebtschlamm nicht absetzt und die Belüfter nicht verstopfen. Bei dieser Anordnung kann beim Übergang von der zweiseitig wirkenden Walzenbelüftung zur vertikal gerichteten Flächenbelüftung auf eine Trennwand verzichtet werden. Erreicht man den Zeitpunkt, wo die Anoxzone zur Nitrifikation benötigt wird, so können ohne bauliche Veränderungen die restlichen Keramikdome ergänzend installiert werden.

**Räumung von Schwimmschlamm**

Um zu vermeiden, dass Belebtschlamm, der in der Nachklärung aufschwimmt, in den Ablauf gelangt, werden in diesen Becken ablaufseitig Tauchwände angebracht. Die Räumers sind mit Schwimmschlammschildern so ausgerüstet, dass die gesamte Beckenoberfläche geräumt werden kann. Dabei sind in den Beckendritteln stationär und durch den herannahenden Räumers auf eine gewisse Überlappungsstrecke verschiebbare Schilder eingehängt, die ein Zurückströmen des jeweils eingesammelten Schwimmgutes verhindern. Am Ende der Nachklärbecken befindet sich stirnseits eine wenig unter den Wasserspiegel eingetauchte «Nase». Diese bildet mit dem angepressten Schwimmschlammschild des letzten Räumers eine U-förmige Rinne. Das darin eingefangene Schwimmgut kann alsdann durch einen automatisch sich öffnenden Schnellschlussschieber aus dem Becken beseitigt und in eine Auffangrinne abgelassen werden, von wo es zusammen mit Beckenwasser zum Pumpensumpf fliesst. Niveausteuerte Pumpen fördern den Schwimmschlamm über grosse Distanz zu den Schwimmstoffabscheidern der mechanischen Stufe. Da die Menge des Schwimmschlammes schwer abzuschätzen ist, können die Räumungsintervalle entsprechend den prakti-



schen Erfahrungen frei gewählt werden.

### Phosphorelimination

Zur *Phosphorelimination* sah man anfänglich mit Rücksicht auf den Filtrationsbetrieb dreiwertiges Eisensalz vor ( $\text{FeCl}_3$ ). Weitere Optimierungen und vor allem der Chemikalienpreis gaben den Ausschlag für den Einsatz von Eisensulfat ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ). Die aufbereitete Lösung wird simultan sowohl in der Teil- als auch in der Hauptstufe zugegeben. In jedem der 12 Becken der Hauptstufe kann in Abhängigkeit der Phosphorbelastung an drei verschiedenen Stellen einzeln oder gemeinsam das Fällmittel zudosiert werden (beim Rücklaufschlammhebewerk, eingangs Belüftungsbecken und in dessen hinterem Drittel). An Trockenwettertagen werden in der Teilstufe etwa 2 t und in der Hauptstufe 2,8 t Eisen benötigt. Bei einem Jahresverbrauch von rd. 1750 t Fe entsprechend über 40 000 t Eisensulfat ist eine automatische Chemikalien-dosierung mehr als gerechtfertigt. Der durch die Phosphorelimination anfallende Tertiärschlamm macht feststoffmässig von der gesamten Überschussschlammproduktion knapp 20% aus (etwa 12 t TS/d).

## Bautechnische Probleme

Die Höhenlage der einzelnen Beckenblöcke ist so auf das Gesamtkonzept abgestimmt, dass bezüglich Bau- und Pumpkosten ein Optimum resultiert. Die Fundationskoten der Becken (394,00 bei den BB und 393,60 bei den NKB) liegen meistens über dem Grundwasserspiegel. Die Höhenlagen sind auf die Homogenität des Untergrundes abgestimmt, um möglichst kleine Setzungsdifferenzen von max. 2–4 cm innerhalb eines Beckens zu erhalten.

Sowohl die sechs Belüftungs- als auch die Nachklärbecken einer jeden Anlagehälfte sind zwecks rissefreier Konstruktion durch eine Vorspannung zu monolithischen Blöcken erstellt. Die Bodenplatten sind dabei kreuzweise und die Wände längs vorgespannt. Die nur schlaff armierten Rinnen werden nachträglich anbetoniert und in Abständen von etwa 6 m dilatiert. Damit die Längenänderungen der Bodenplatten infolge Temperaturänderungen, Schwinden und Vorspannung unbehindert stattfinden können, ruhen die Becken auf einer speziellen Gleitschicht, deren Reibungskoeffizient zu 0,5 in Rechnung gesetzt wurde. Diese Gleitschicht zwischen Magerbeton und Fundamentplatte baut sich von unten nach oben wie folgt auf:

- 0,2 mm Kunststoff-Folie
- 50 mm Sand, locker gelagert (max. Korn 3 mm)
- 0,2 mm Kunststoff-Folie
- 30 mm Mörtelschutzschicht

Die Betonstärke beträgt für Bodenplatten und Wände 40 cm; letztere sind am Fuss durch Vouten auf 70 cm bzw. 100 cm verstärkt. Die spezifische Vorspannung beträgt bei den Bodenplatten in beiden Richtungen je etwa 100 t/m' oder etwa 25 kg/cm<sup>2</sup> und in den Wänden rund das Doppelte. Die Betonplatte eines Belüftungsblockes ist in 12 schachbrettartige Betonierfelder mit dazwischen befindlichen Schwindfugen von 1,50 m Breite unterteilt. Letztere laufen auch bei den Wänden durch. Ein Nachklärbeckenblock weist 15 solche Felder auf.

Die Platten wie auch die Wände erhalten vor dem Schliessen der Schwindfugen eine kleine Vorspannung von etwa 3 Kabeln pro Feld und Richtung. Nach Beendigung aller Etappen und anschliessendem Verguss der Schwindfugen wird in allen Richtungen eine erste Vorspannung auf 30% nach einer bestimmten Reihenfolge aufgegeben. Darauf können die Kabel auf volle Spannkraft gebracht und hernach injiziert werden.

## Drucklufterzeugung

### Erforderlicher Sauerstoffeintrag

Aufgrund der Schmutzstoffbelastung und der geforderten Ablaufkonzentrationen sind in der Hauptstufe täglich im Durchschnitt 87 bis 100 t Luftsauerstoff einzutragen. Unter Berücksichtigung, dass der Abwasseranfall in den ersten Betriebsjahren bei Trockenwetter nur etwa 75% und die Schmutzstoff-Fracht etwa 85% derjenigen bei Nennbelastung betragen, ist die Anlage für folgende Eintragsleistungen auszulegen:

$$\begin{aligned} \text{max. } OV_{ss} &= 7000 \text{ kg O}_2/\text{h} \\ \text{mittl. } OV_{ss} &= 3600 \text{ kg O}_2/\text{h} \\ \text{min. } OV_{ss} &= 2000 \text{ kg O}_2/\text{h} \end{aligned}$$

Dabei bedeutet  $OV_{ss}$  den erforderlichen Sauerstoffeintrag unter Standardbedingungen (Abwassertemperatur  $t_{Abw} = 10^\circ\text{C}$  und barometrischer Druck  $p = 760$  Torr). Mit zunehmender Einblas-tiefe steigt die Sauerstoffausnützung des Systems, dagegen sinkt der *ph*-Wert des Belebtschlammes, weil der Luft mehr Sauerstoff entzogen und entsprechend weniger Kohlensäure ausgeblasen wird (kleineres Luftvolumen). Für die stark *ph*-abhängige Nitrifikation wäre dies von Nachteil. Deshalb wurde die max. Wassertiefe der Belüftungsbecken auf 4,50 m festgelegt.

## Druckluft mittels Turboverdichter

Unter der Voraussetzung, dass das zu wählende Belüftungssystem beim maximalen Sauerstoffeintrag noch eine  $\text{O}_2$ -Ausnützung von 19% erreicht, müssen die Drucklufterzeuger ein Luftvolumen von 125 000 Nm<sup>3</sup>/h liefern. Bei Einsatz von herkömmlichen Verdichtern (Drehkolbengebläse) wären 20 Maschinen erforderlich, die einen grossen Platzbedarf aufweisen. Man hat deshalb für jede Anlagehälfte drei *Turboverdichter* vorgesehen, die nicht nur um etwa 1/3 weniger Grundfläche beanspruchen, sondern auch einen höheren Wirkungsgrad besitzen und darüber hinaus die Luftförderung stufenlos entsprechend den Bedürfnissen vollziehen. Diese Regelung erfolgt durch einen Verstelldiffusor (Leitapparat), welcher aus einem Schaufelgitter mit variabler Geometrie besteht. Jede Schaufelstellung entspricht einer Verdichterkennlinie. Die stufenlose Mengenregulierung lässt sich zwischen 45 und 100% des Nenndurchsatzes bei konstantem Lieferdruck und Wirkungsgrad durchführen.

Die aufgenommene Verdichterleistung ist proportional zum Luftdurchsatz. Gegenüber Drehkolben- oder Roots-Gebläsen lassen sich im vorliegenden Falle 12 bis 15% an Energie einsparen, was bei einem jährlichen Strombedarf von rd. 10 Mio kWh für die Belüftung allein Betriebseinsparungen von etwa Fr. 160 000.- ergibt. Solche Strömungsmaschinen verlangen aber eine *genaue Festlegung des erforderlichen Enddruckes*. Bei Überschreiten des max. Arbeitsdruckes tritt sogenanntes «Pumpen» ein, was zu Beschädigungen der Maschine führt. Wird der Enddruck aus Sicherheitsgründen zu hoch angesetzt, so ist damit pro dm Mehrhöhe ein Mehraufwand an Energie von etwa 1,5% verbunden. Andererseits müssen die Maschinen den max. Druckverlust des Systems aufbringen. Deshalb ist dem Belüftungssystem grösste Bedeutung beizumessen. Der Verlauf des Druckverlustes im Belüftungssystem und die Förderkennlinie eines solchen Turboverdichters gehen aus Bild 4 hervor.

### Feinblasige Flächenbelüftung

Als Belüftung in den Belebtschlammbecken ist eine feinblasige Flächenbelüftung mit degressiver Abstufung gegen das Beckenende hin vorgesehen. Gegenüber sog. Bandbelüftungen wird damit eine etwas bessere Sauerstoffausnützung erreicht, was besonders bei Grossanlagen zum Tragen kommt. Als Belüfter stehen *Keramik-Dome* im Vordergrund. Ihre Porosität ist so zu wählen, dass Verstopfungen ein tolerierbares Mass nicht übersteigen und trotz-

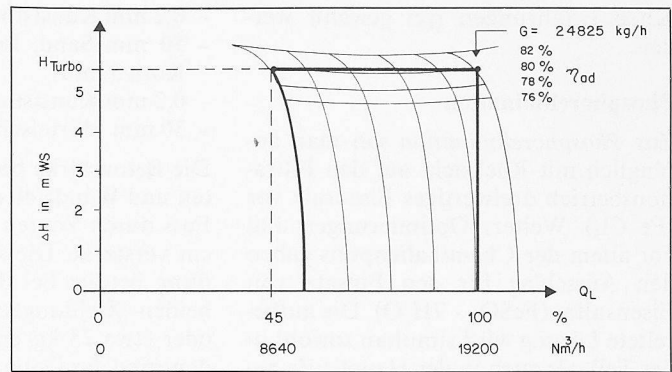
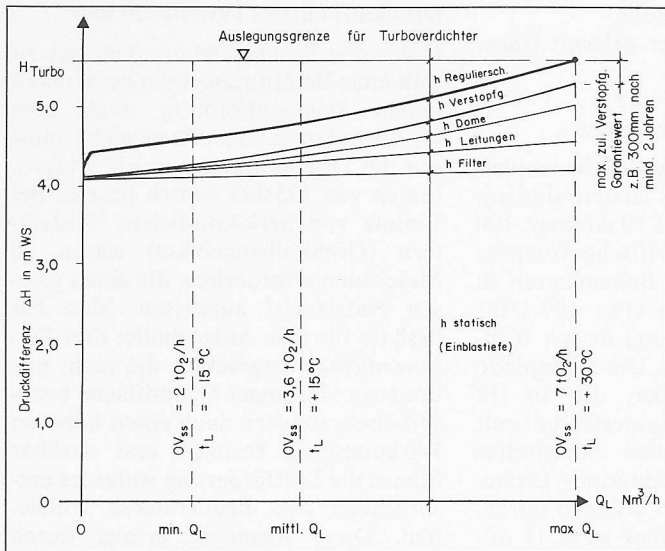


Bild 4b. Q-H-Kennlinien (Turboverdichter Typ KA 22 S)

Bild 4a. Druckverlust in Funktion der Luftlieferungsmenge

dem eine gute O<sub>2</sub>-Ausnützung von über 19% erreicht wird. Auch von der betriebstechnischen Seite her sind hohe Anforderungen an das Belüftungssystem zu stellen, gilt es doch – je nach Wahl des Fabrikates – zwischen 30 000 und 40 000 Dome zu unterhalten, die auf einem Bodenverteilungsnetz von etwa 20,5 km Länge montiert sind. Verstopfungen sollten deshalb nicht vor Ablauf von zwei Betriebsjahren einen Druckverlust von 300 mm übersteigen. Nebst wartungsfreundlichem Betrieb mit hoher Zuverlässigkeit sind auch gute Zugänglichkeit erwünscht. Letztere könnte durch *Einbetonieren der Bodenverteilungen* erreicht werden. Der Überbeton wird aber starken Temperaturdifferenzen ausgesetzt, her-

vorgerufen durch hohe Temperaturen der komprimierten Luft (bis 70 °C) und das kältere Abwasser. Zudem ist sein Kriech- und Schwindmass wesentlich grösser als dasjenige der vorgespannten Konstruktion.

Im weiteren müssen die auf einer Totalfläche von 12 700 m<sup>2</sup> verteilten Dome in ihrer Höhenlage exakt montiert werden, weil bereits bei kleinen Druckunterschieden die Luft nicht mehr gleichmässig ausströmt. Die äusseren Bedingungen bezüglich Korrosionsgefahr, Schlagempfindlichkeit, Temperatureinflüsse (Dehnungswege) und Stabilität erfordern dementsprechendes Leitungsmaterial. Innerhalb der Becken gelangen mit Vorteil rostfreie Stahlrohre zur Anwendung.

**Literaturverzeichnis**

- [1] EAWAG. Abwasserreinigungsversuche für den Ausbau der ARA Werdhölzli, Nitrifikation. EAWAG-Bericht September 1975
- [2] EAWAG. Auswirkungen von abgesetztem Faulwasser auf die Nitrifikation. EAWAG-Bericht Januar 1976
- [3] EAWAG. Abschätzung der Sicherheit der Nitrifikation in der ARA Werdhölzli. EAWAG-Bericht Januar 1977
- [4] Poduska, R. A., und Andrews, J. F.: «Dynamics of nitrification in the activated sludge process». Journal Water Pollution Control Federation, 47, 2599, 1975
- [5] Ericsson, B.: «Nitrogen removal in a pilot plant». Journal Water Pollution Control Federation, 47, 727, 1975

Adresse des Verfassers: P. Morgenthaler, Bauing. SIA, Ingenieurbüro Kropf & Morgenthaler, Waldmannstr. 10, 8001 Zürich.

## Energiekonzept und Geruchsvernichtung

Von Alex Haerter und Kurt Unger, Zürich

### Konzeptrahmen

In der Kläranlage Werdhölzli soll das Energiekonzept [1] auf *verschiedenartige Anforderungen* eingehen.

1. Energiebewusste Nutzung des Faulgases (Strom- und Wärmeerzeugung)
2. Unterbruchslose Deckung des Notstrombedarfs
3. Geringe Abhängigkeit von Fremdwärmeenergie
4. Deckung der hochtemperaturigen Prozesswärme
5. Deckung des Heizbedarfs von Be-

triebsgebäuden

6. Geruchsvernichtung der in der Kläranlage gesammelten Geruchsabluft (Immissionsschutz)
7. Nutzung des Wärmepotentials Klärwasser offenlassen für spätere nachbarliche Überbauungen
8. Geringer Überwachungs- und Unterhaltsaufwand.

Dieser Anforderungskatalog verlangt, dass die verschiedenen Energieströme wo möglich miteinander zu verquicken sind, wobei auf die verschiedenen Temperaturniveaux (Bild 1) und möglichen zeitlichen Variationen (Bild 2) zu achten ist.

### Elemente des Energiekonzeptes

Die Optimisierungsrechnungen wurden 1977/79 durchgeführt, Kostangaben basieren auf den damaligen Energie- und Installationspreisen.

#### Energieträger

##### Faulgasproduktion

Aus heutiger Sicht liegt die Produktionsspanne in einem ± 30%-Streubreich, und auch der Heizwert variiert im Bereich ± 10%. Mit einem mittleren Heizwert von 6,3 kWh/m<sup>3</sup> Gas und drei typischen Tagen fallen im Endausbau an Gasmenge und Energie die Werte der Tab. 1 an (auch Bild 2).

Bei Inbetriebnahme der Anlage werden generell 30% geringere Werte erwartet.

Das Gas wird *entschwefelt* auf 0,1 g/m<sup>3</sup>