

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87 (1969)
Heft: 25: Zum 25. Jubiläum des VSA 1944-1969

Artikel: Die Abwasserreinigungsanlage "Röti" des Kläranlagenverbandes Schaffhausen
Autor: Morgenthaler, P. / Wildberger, A. / Fotsch, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-70722>

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: 15.05.2025

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

4.5. Die Schlammbehandlung

Mehr und mehr bildet für unsere grossen Kläranlagen die Frage der Unterbringung des Schlammes das Hauptproblem. Das Bestreben geht dahin, das Volumen des Schlammes möglichst zu vermindern, was vor allem eine Frage des Wassergehaltes ist. Daneben muss der Schlamm in einer hygienisch und ästhetisch einwandfreien Form untergebracht werden. Auf der Kläranlage Bibertal-Hegau werden täglich über 700 m³ Frischschlamm (als Primärschlamm, gemischt mit dem in den Vorklärbecken erneut ausgeschiedenen Überschussschlamm) anfallen. Der ursprüngliche Wassergehalt von 96 % wird durch eine Voreindickung auf etwa 94% herabgesetzt, was eine Verminderung der Schlammmenge auf knapp 500 m³/Tag zur Folge hat. Für die weitere Behandlung des Schlammes wird die Faulung in Aussicht genommen. Einlässliche Studien der EAWAG über die Möglichkeiten der landschaftlichen Schlammverwertung haben nämlich ergeben, dass im Raum Bibertal-Hegau die anfallenden Schlammengen noch auf viele Jahre hinaus in flüssiger Form an die Landwirtschaft abgegeben und dort als Dünger verwendet werden können. Das ist das weitaus wirtschaftlichste Verfahren der Schlammunterbringung, sofern die Transportentfernungen nicht mehr als etwa 20 km betragen. Diese Voraussetzung ist im vorliegenden Fall

gut erfüllt. Der eingedickte Frischschlamm wird deshalb in geschlossenen Stahlbetonbehältern ausgefault, wobei sich die organischen Stoffe um etwa 50% vermindern und der Wassergehalt auf 92,5 % absinkt. Es sind deshalb pro Tag noch etwa 300 m³ Schlamm mit besonderen Tankwagen der Landwirtschaft zuzuführen. Es soll also im Raum Singen ein ähnliches Verfahren zur Anwendung kommen, wie es seit vielen Jahren vom Abwasserverband an der Niers bei Köln mit Erfolg betrieben wird. Sollte später die landwirtschaftliche Verwertung des Schlammes Schwierigkeiten bereiten, so kommt immer noch eine künstliche Schlammmentwässerung mit anschliessender Ablagerung in Frage. Die Dispositionen werden so getroffen, dass dieser Weiterausbau später möglich ist.

Die Kläranlage Bibertal-Hegau ist eines der entscheidenden Werke für die Gewässersanierung in einem aufstrebenden Industriegebiet. Es wird hier gelingen, über Landesgrenzen und Wasserscheiden hinweg eine grosszügig entworfene Anlage zu bauen, die mit vernünftigem Aufwand in den Gewässern bestmögliche Verhältnisse schafft. Es ist deshalb zu hoffen, dass das grosse Werk in den nächsten Jahren gebaut werden kann.

Adresse des Verfassers: Prof. R. Heierli, dipl. Bauing., Gladbachstrasse 7, 8006 Zürich.

Die Abwasserreinigungsanlage «Röti» des Kläranlageverbandes Schaffhausen DK 627.1.004.4

Von P. Morgenthaler, Ing., Zürich, A. Wildberger, dipl. Ing. ETH, Schaffhausen, und P. Fotsch, Elektro-Ing., Zürich

Vorbemerkung

Die beiden schaffhauserischen Gemeinden Schaffhausen und Neuhausen sowie die zwei zürcherischen Gemeinden Feuerthalen und Flurlingen schlossen sich nach anfänglich fast unüberwindbaren Problemen im Jahre 1957 zu einem Kläranlageverband zusammen.

Die Ingenieur-Arbeitsgemeinschaft O. Lüthi, A. Wildberger, Schaffhausen, und A. Kropf, Zürich, ermittelte 1961 in Zusammenarbeit mit der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) die Grundlagen für das Gemeinschaftswerk. Darauf wurde den Parlamenten und Stimmbürgern der vier Verbandsgemeinden das allgemeine Bauprojekt zur Erteilung des Kredites von total 19,8 Mio Fr., einschliesslich Sammelkanal von der Stadtgrenze bis zur Kläranlage, unterbreitet. Nach einem ausserordentlich harten und umstrittenen Abstimmungskampf bewilligten im März 1963 doch alle vier Gemeinden den angeforderten Kredit. Für die Bauausführung ist in die Ingenieur-Arbeitsgemeinschaft P. Wüst, Neuhausen, aufgenommen worden. Die elektrischen Anlagen wurden von der Firma Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG bearbeitet.

1. Abwassertechnische Daten

1.1. Bemessungsgrundlagen und Ausbaugrösse der ARA

Die Bemessung der Anlagenteile erfolgte auf Grund der Bauungspläne der vier Verbandsgemeinden. Für den ersten Ausbau der zentralen Abwasserreinigungsanlage (ARA) wurde etwa mit der Hälfte der im Vollausbau zu erwartenden Bevölkerung und Industrie gerechnet. Nach der mutmasslichen Entwicklung ist zu erwarten, dass das erste Ausbauziel der ARA in den Jahren 1985 bis 1990 erreicht werden dürfte. Damit ergaben sich die Projektgrundlagen nach Tabelle 1.

1.2. Einlaufbauwerk und Rechenanlage

Im Einlaufbauwerk, das unmittelbar der Rechenanlage vorgeschaltet ist, wird die gesamte anfallende Wassermenge mittels eines Venturikanals gemessen und registriert. Mit Hilfe einer elektronischen Druckmessdose (System Züllig) werden die Wasserstände vor dem Venturi auf einen in der zentralen Schalttafel eingebauten Empfängerapparat übertragen, wo sowohl die Momentanwerte als auch die Tagessummenwerte angezeigt und aufgezeichnet werden. Eine Verteilung erlaubt den Zufluss vom Sammelkanal in beliebige, meist aber gleiche Anteile auf die zwei Beschickungslinien der ARA aufzuspalten. Mit Hilfe von hydraulisch gesteuerten Absenkschützen kann im Bedarfsfalle die eine oder andere Anlagehälfte stillgelegt werden.

Die Rechenanlage besteht aus zwei vollautomatischen Greiferechen, von denen jeder für die maximale Zulaufmenge von 3000 l/s bemessen ist. Mittels einer Spiegeldifferenz-Schaltung wird bei Erreichen eines durch Belegung mit Rechengut erzeugten Überstaues die Recheneinrichtung automatisch in Betrieb gesetzt, bis der Normal-

stand wieder erreicht ist. Das in ein Förderband abgestreifte Rechengut gelangt alsdann in eine Transportmulde und wird periodisch abtransportiert.

Die Doppelrechenanlage weist folgende Abmessungen auf:

Kammerbreite	2 × 2,00 m
Lichte Stabweite	15 mm
Rechenneigung	55 °
Förderband:	
Breite	650 mm
Länge	6,50 m
Förderleistung	30 m ³ /h

Die gesamte Rechenanlage ist in einem getrennten Gebäude untergebracht. Eine Zu- und Abluftanlage sorgt für die notwendige Belüftung des Raumes, wobei bei kalter Witterung die Frischluft in einem warmwasserbetriebenen Lufterhitzeraggregat automatisch auf die gewünschte Temperatur vorgewärmt wird.

1.3. Sand- und Ölfang

Nach der Rechenanlage durchläuft das Abwasser den in zwei parallele Becken aufgeteilten, belüfteten, kombinierten Sand- und Ölfang. Das in den langen Sammelkanälen bereits leicht angefaulte Abwasser wird hier durch Einblasen von Luft wieder aufgefrischt. Die Lieferung der Luft besorgen zwei im Keller des Dienstgebäudes aufgestellte Drehkolbengebläse mit einer Leistung von je 300 m³/h

Tabelle 1. Projektgrundlagen für die Abwasserreinigungsanlage

Bemessungs-Kennwert	Einheit	1. Ausbau	Vollausbau
Einwohner	E	66 000	120 000
Totale Einwohner und Einwohnergleichwerte (EGW) der Industrie bezogen auf:			
Wassermenge	EGW	81 000	146 000
Schmutzstoffmenge (BSBs)	EGW	93 000	164 000
Schlamm-Menge	EGW	85 000	150 000
Abwassertagesfracht:			
häuslicher Anteil (rd. 515 L/E, T)	m ³ /T	34 400	70 000
Anteil Industrie	m ³ /T	7 200	14 000
Gesamte Abwasserfracht	m ³ /T	41 600	84 000
Trockenwetteranfall:			
häuslicher Anteil (16-h-Mittel)	l/s	600	1 200
Anteil Industrie (10-h-Mittel)	l/s	200	400
Totaler Trockenwetteranfall Q _{TW}	l/s	800	1 600
Maximale Regenwettermenge:			
zur mechanischen Stufe	l/s	3 000	4 800
zur biologischen Stufe	l/s	1 600	2 400

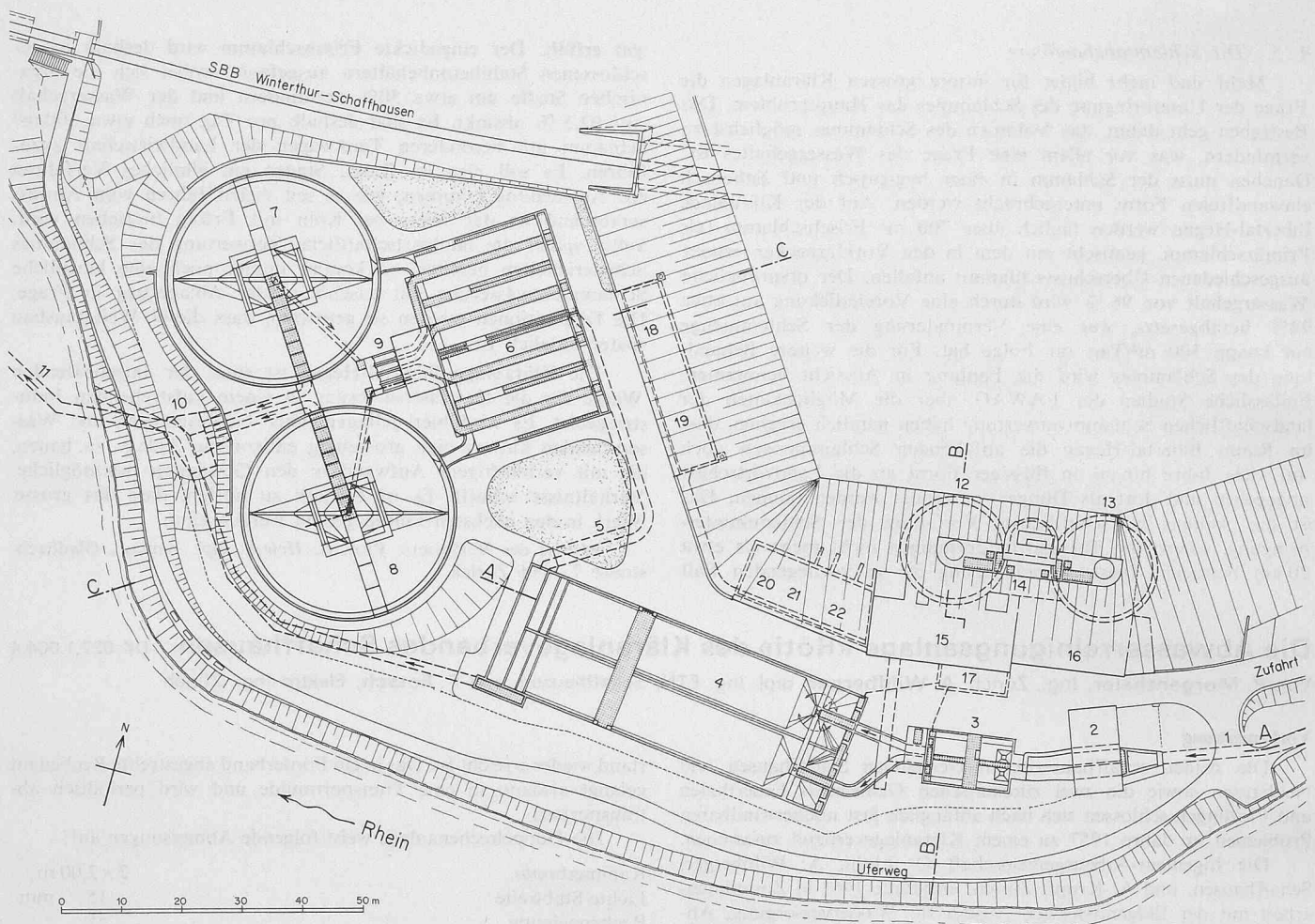


Bild 1. Grundriss 1:1200

1 Sammelkanal	7 Nachklärbecken Nord 3840 m ³	13 Nachfaulraum 2850 m ³	18 Gebläse-Station
2 Rechengebäude	8 Nachklärbecken Süd 3840 m ³	14 Zwischenbau	19 Transformatoren-Station
3 Sandfang 240 m ³	9 Rücklaufschlamm-Förderschnecken	15 Betriebsgebäude	20 Geräteraum
4 Vorklärbecken 4000 m ³	10 Vereinigungsschacht	16 Dienstgebäude	21 Laboratorium
5 Zulaufdücker	11 Auslaufleitung Ø 1,60 m	17 Frischschlamm-Pumpensumpf	22 Entgiftungsanlage
6 Belüftungsbecken 2850 m ³	12 Vorlaufraum 2850 m ³		

bei einer Einblastiefe von 2,70 bis 3,20 m. Die Form des Sandfangquerschnittes sowie die Luftabgangsrohre längs einer Beckenwand bewirken eine spiralförmige Wasserbewegung. Die größeren Sandfraktionen setzen sich in einer Rinne an der Beckensohle ab. Von dort wird das Sandfanggut durch einen Zwillingsräumer, dessen Schilder ölhydraulisch betätigt werden, in die zwei Sandtrichter geschoben und mittels Mammutpumpen ausgetragen. Die Räumerbrücke kann wahlweise von Hand oder vollautomatisch durch ein gewähltes Programm betrieben werden. Öl und Fett, sowie andere Schwimmstoffe gelangen bei der Drehbewegung des Wassers durch Schlitze in den Schwimmstoff-Abscheideraum. Dort können sie abgerahmt werden und gelangen letzten Endes, solange es sich um organische Fette und Öle handelt, in die Faulanlage. Mineralölprodukte werden in einen getrennten Stapelbehälter abgelassen. Hierzu einige technische Daten:

Beckenlänge	13,00 m
Beckenbreite	2 × 3,75 m
Beckeninhalt bei QTW	2 × 122 m ³
QRW	2 × 151 m ³
Inhalt der Sandtrichter	2 × 5,3 m ³
Aufenthaltszeit bei QTW	5,1 min
QRW	1,7 min
spez. Luftmenge	11,5 oder 23,0 m ³ /m ³ ,h
bzw. rd.	0,1 oder 0,2 m ³ /m ³
	Abwasser (bei TWA)

Vor Eintritt des Abwassers in den Sand- und Ölfang wird dessen pH-Wert gemessen und aufgezeichnet. Bei Über- oder Unterschreiten eines zulässigen Bereiches wird automatisch Alarm ausgelöst.

1.4. Vorklärbecken

Die zwei rechteckigen, parallelen Vorklärbecken weisen folgende Abmessungen und Belastungen auf:

Beckenlänge	55,0 m
Beckenbreite	2 × 10,0 m
Wassertiefe	3,50 m
Beckenoberfläche	2 × 556 m ²
Beckeninhalt	2 × 1900 m ³
Inhalt der Schlammtrichter (Eindicker)	2 × 210 m ³
Aufenthaltszeit bei QTW	1,32 h
QRW	0,35 h
Oberflächenbelastung bei QTW	2,59 m ³ /m ² ,h
QRW	9,70 m ³ /m ² ,h

Die Verteilung des Zuflusses über die ganze Beckenbreite erfolgt über die Verteilrinnen, die mit je 13 nach hinten abgelenkten Verteilrohren Ø 200 mm (Rückwärtseinlauf) ausgerüstet sind. Der aus den Rohren ausfließende Strahl wird an der gegenüberliegenden Stirnwand um 180° abgelenkt, wodurch auf einfache Weise eine gleichmässige Geschwindigkeitsverteilung erzielt wird. Bei Regenwetter reicht die Schluckfähigkeit der Verteilrohre nicht mehr aus. Das zufließende Wasser staut sich in den Verteilrinnen auf und läuft durch seitliche Überfälle direkt in die Vorfangräume über, wo der Grossteil der Schwimmstoffe zurückgehalten wird.

Die Schlammräumung erfolgt mit einem Zwillingsräumer, dessen Boden- und Schwimmschlammsschilde ölhydraulisch betätigt werden. Ähnlich dem Sandfangräumer kann auch diese Maschine auf Hand- oder vollautomatischen Betrieb geschaltet werden. Der in die Becken-trichter geschobene Schlamm wird mittels Mammutpumpen in die stirnseits angeordnete Schlammrinne befördert und freilaufend dem Frischschlamm-Pumpensumpf zugeführt.

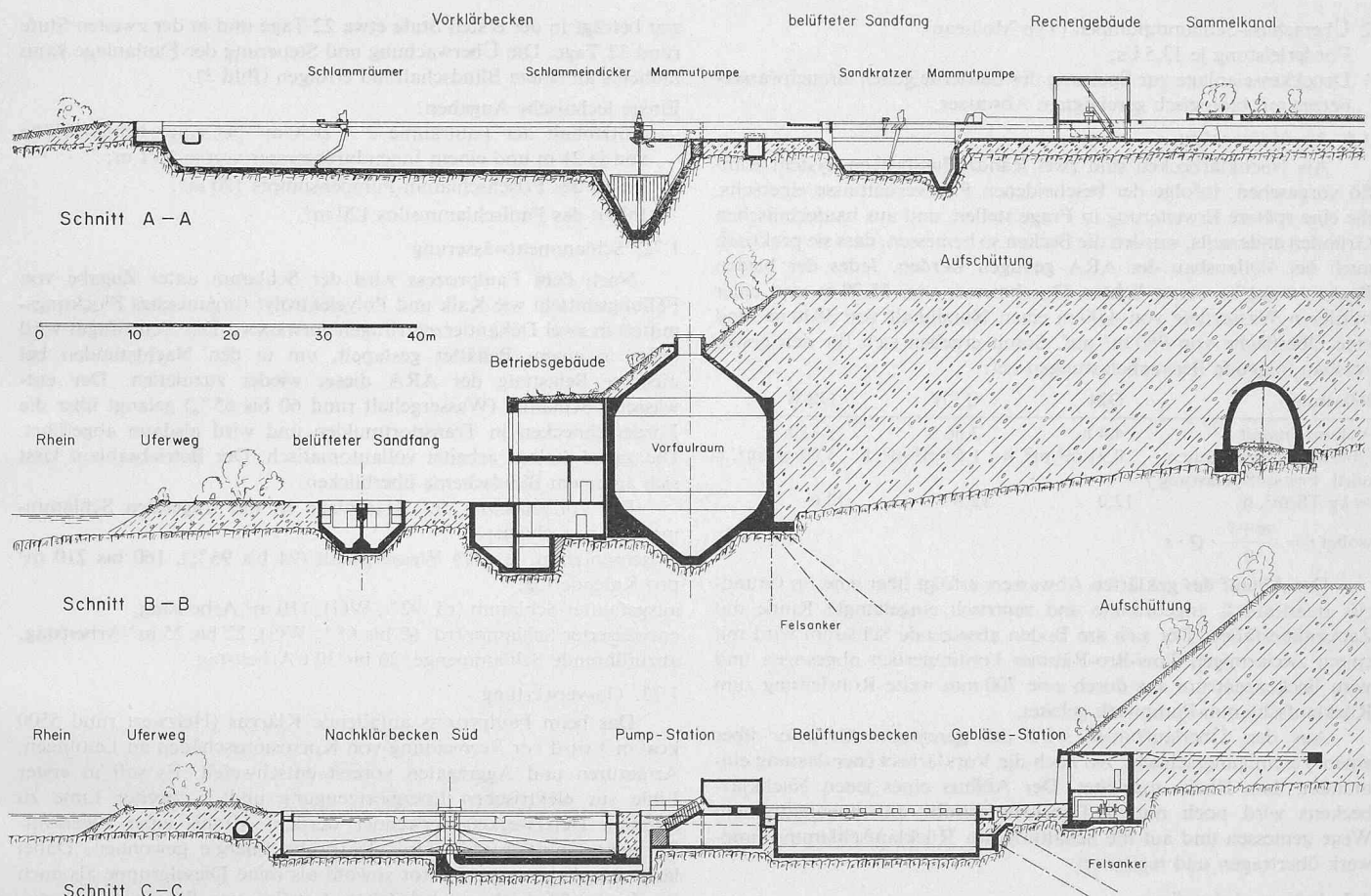


Bild 2. Querschnitte durch die Anlage 1:800

Die unvermeidliche Tauchwand vor dem Beckenüberlauf ist als U-förmige Rinne mit zweiseitigem Überfall ausgebildet, damit bei Regenwetter jene Wassermenge, die den zweifachen Trockenwetterzufluss überschreitet, in den Ablaufkanal entlastet und dem Vorfluter zugeleitet werden kann.

1.5 Belebtschlammanlage

Die biologische Reinigung erfolgt nach dem Belebtschlammverfahren. Seinerzeit war im Abstimmungskampf die Befürchtung (lies Behauptung) laut geworden, die Umgebung der ARA könnte durch die aus den Belüftungsbecken geschleuderten Bakterien versucht werden. Zwecks Klärung dieses gesamten Fragenkomplexes betreffend allfälliger Auswirkungen der Kläranlage auf ihre Umgebung wurde eine Expertenkommission bestellt, welche nebst den bakteriologischen Fragen auch das zu wählende Belüftungssystem abzuklären hatte. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ergab, dass für den vorliegenden Fall nur eine feinblasige Belüftung gewählt werden durfte.

Aus den obenerwähnten Gründen ist vorgesehen, die Luftverteilung innerhalb der vier Doppelkammern des Belüftungsbeckens je zur Hälfte mit Dom- bzw. Brandolbelüftern zu bewerkstelligen. Der für den biologischen Reinigungsprozess so lebenswichtige Sauerstoff wird also in Form von Luft durch zwei dreistufige Zentrifugalgebläse dem Belüftungsbecken zugeführt. Die notwendige Luftmenge lässt sich durch Drehzahländerung einer Stufe jeden Gebläses in sehr weiten Grenzen variieren, womit eine optimale Anpassung an die jeweiligen Verhältnisse gewährleistet wird. Die Gebläse samt Luftfilteranlage sowie die hierzu erforderlichen elektrotechnischen Einrichtungen sind in einer getrennten Gebläsestation untergebracht. Die Belüftungsbecken weisen folgende technische Daten auf:

4 Doppelbecken:

Länge L	21,00 m
Wassertiefe t	4,30 m
Querschnitt F	$4 \times 34 \text{ m}^2 = 136 \text{ m}^2$
Inhalt J	$4 \times 713 \text{ m}^3 = 2852 \text{ m}^3$

Belüftungseinrichtungen:

Einblastiefe der Belüfter t_E	3,90 m
1 Zentrifugalgebläse	

Luftfördermenge	5 400 bis 11 400	m^3/h
Motorleistung	255	PS
1 Zentrifugalgebläse		
Luftfördermenge	2 700 bis 5 100	m^3/h
Motorleistung	135	PS
2 Luftfilteranlagen		
Leistung je	15 250	m^3/h

Auf Grund theoretischer Berechnungen sind bei Vollbelastung der Anlage im 24-Stunden-Mittel nachstehende Belastungen zu erwarten:

Tagesfracht V	41 600	m^3/T
Zuflussmenge Q	1 740	m^3/h
BSB ₅ -Fracht V_B	4 650	kg BSB ₅ /T
mittl. BSB ₅ -Konzentration $S_R = \frac{V_B}{V}$	112	g/m^3
mittl. Belüftungszeit $T = \frac{J}{Q}$	1,64	h
Hydr. Raumbelastung $R_H = 24/T$	14,6	$\text{m}^3/\text{m}^3\text{T}$
Biochem. Raumbelastung $R_B = \frac{24 \cdot Q \cdot S_R}{J}$	1,63	kg BSB ₅ /m ³ T
Schlammbelastung $S_B = R_B/s$	0,37 bis 0,29	$\frac{\text{kg BSB}_5}{\text{kg TS, T}}$
Schlammkonz. im B.B. $s = R_B/S_B = \frac{m \cdot S_R}{m + 1}$	4,35 bis 5,6	kg TS/m ³
Rücklaufverhältnis $m = Q_{RS}/Q$	1,65	—
Schlammkonz. RS: $S_R = s(m + 1)/m$	7,0 bis 9,0	kg TS/m ³
max. Rücklaufschlammmenge Q_{RS}	2880	m^3/h
mittl. Reinigungseffekt η_B	89,5 bis 90,0	%
mittl. BSB ₅ -Konzentration im Ablauf S_a	11,8 bis 11,2	g/m^3

Im stirnseits an die Belüftungsbecken angegliederten Rücklauf-Schlammumpwerk sind untergebracht:

4 Schneckenpumpen zur Förderung des Rücklaufschlammes; durch Änderung der Schneckendrehzahl kann die Förderleistung eines jeden Aggregates zwischen 100 und 200 l/s stufenlos reguliert werden;

2 Überschuss-Schlammumpfen (Typ Moineau)

Förderleistung je 13,5 l/s;

1 Druckkesselanlage zur Speisung des betriebseigenen Brauchwasser-netzes mit biologisch gereinigtem Abwasser.

1.6. Nachklärbecken

Als Nachklärbecken sind zwei Randzuflussbecken System Rimflo vorgesehen. Infolge der bescheidenen Platzverhältnisse einerseits, die eine spätere Erweiterung in Frage stellen, und aus bautechnischen Gründen andererseits, wurden die Becken so bemessen, dass sie praktisch auch bei Vollausbau der ARA genügen werden. Jedes der beiden Becken weist bei einem lichten Durchmesser von 35,00 m und einer mittleren Wassertiefe von 4,00 m einen Nutzinhalt von 3840 m³ und eine Oberfläche von 960 m² auf. Somit ergeben sich für den ersten Ausbau folgende Beckenbelastungen bei:

Belastung	Q24	QTW	QRW
Aufenthaltszeit t	4,4 h	2,66 h	1,33 h
Oberflächenbelastung o	0,91 m ³ /m ² , h	1,50 m ³ /m ² , h	3,00 m ³ /m ² , h
mittl. Feststoffbelastung f in kg TS/m ² , h	12,0	12,0	12,0

$$\text{wobei } f = \frac{m+1}{0} \cdot Q \cdot s$$

Der Ablauf des geklärten Abwassers erfolgt über eine im Grundriss quadratisch angeordnete und zentrisch eingehängte Rinne mit Zackenüberfällen. Der sich am Boden absetzende Schlamm wird mit einem zweiarmigen Tow-Bro-Räumer kontinuierlich abgesogen und vom Beckenzentrum aus durch eine 700 mm weite Rohrleitung zum Rücklaufschlamm-Pumpwerk geleitet.

Aus den Überlaufrinnen wird das gereinigte Abwasser über einen Vereinigungsschacht, wo auch die Vorklärbeckenentlastung einmündet, dem Rhein zugeleitet. Der Abfluss eines jeden Nachklärbeckens wird noch mittels Druckventurirohr auf pneumatischem Wege gemessen und auf die Schalttafel im Rücklaufschlamm-Pumpwerk übertragen und registriert.

1.7. Schlammbehandlung

1.7.1. Faulanlage

Der den Vorklärbecken entnommene Schlamm wird zunächst in zwei Stufen ausgefault. Zur Erzielung optimaler Bedingungen im Faulraum und zur Beschleunigung des Faulungsprozesses wird der Frischschlamm mit etwa der doppelten Menge Impf- und Heizschlamm vermischt. Die erste Stufe (Vorfaulraum) wird auf rund 33 °C geheizt. Die Aufheizung des Schlammes erfolgt in einem im Heizraum aufgestellten Wärmeaustauscher bei kontinuierlichem Umpumpen von Faulschlamm. Mittels zusätzlicher Umwälzpumpen wird über den Schwimmdeckenzerstörer das Schlammvolumen im Vorfaulraum periodisch in Umschichtung gehalten. Die mittlere Faul-

zeit beträgt in der ersten Stufe etwa 22 Tage und in der zweiten Stufe rund 32 Tage. Die Überwachung und Steuerung der Faulanlage kann mühelos an einem Blindschaltbild erfolgen (Bild 3).

Einige technische Angaben:

- Nutzinhalt der Faulräume 2 × 2850 m³ bei einer lichten Höhe von je 21 m und einem Innendurchmesser von je 16,1 m;
- Inhalt des Frischschlamm-Pumpensumpfs 120 m³;
- Inhalt des Faulschlamm-silos 120 m³.

1.7.2. Schlammmentwässerung

Nach dem Faulprozess wird der Schlamm unter Zugabe von Fällungsmitteln wie Kalk und Polyelektrolyt (organisches Flockungsmittel) in zwei Dekantierzentrifugen entwässert. Das Zentrifugat wird dabei in einem Behälter gestapelt, um in den Nachtstunden bei niedriger Belastung der ARA dieser wieder zuzuleiten. Der entwässerte Schlamm (Wassergehalt rund 60 bis 65%) gelangt über die Förderschnecken in Transportmulden und wird alsdann abgeführt. Die ganze Anlage arbeitet vollautomatisch. Der Betriebsablauf lässt sich an einem Blindschema überblicken.

Bei Vollbelastung der Kläranlage ist mit folgenden Schlamm-mengen zu rechnen:

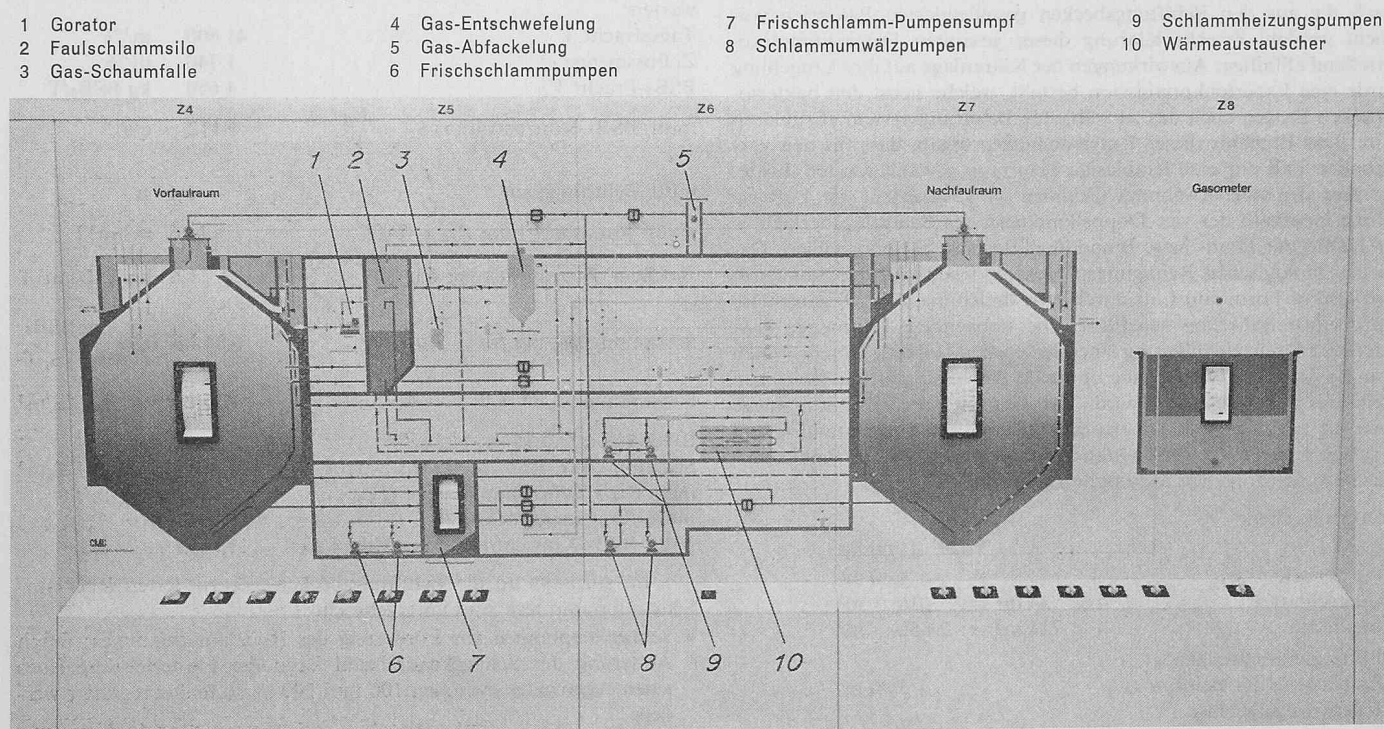
Frischschlamm, je nach Wassergehalt (94 bis 96%), 160 bis 210 m³ pro Kalendertag,
ausgefaulter Schlamm (rd. 92% WG), 110 m³/Arbeitstag,
entwässelter Schlamm (rd. 60 bis 65% WG), 22 bis 25 m³/Arbeitstag,
abzuführende Schlammmenge, 26 bis 30 t/Arbeitstag.

1.7.3. Gasverwertung

Das beim Faulprozess anfallende Klärgas (Heizwert rund 5500 kcal/m³) wird zur Vermeidung von Korrosionsschäden an Leitungen, Armaturen und Aggregaten vorerst entschwefelt. Es soll in erster Linie zur elektrischen Energieerzeugung und in zweiter Linie zu internen Heizzwecken verwendet werden. Mittels einer Zweistoff-Stromerzeugungsgruppe wird elektrische Energie gewonnen. Dabei lässt sich der Zweistoffmotor sowohl als reine Dieselgruppe als auch im Zweistoffbetrieb mit beliebigen Anteilen von flüssigem und gasförmigem Kraftstoff bis zu einer minimalen Zündölmenge von 10% betreiben. Die ausnutzbare Wärmemenge aus den Auspuffgasen und dem Motorkühlwasser reicht normalerweise aus, um den Vorfaulraum zu heizen.

Aus wirtschaftlichen Gründen ist vorgesehen, die Erzeugung von Eigenstrom nach Möglichkeit in die Hochtarifzeiten zu verlegen. Auch wird in der Regel der Motor des besseren Wirkungsgrades wegen unter Vollast bei minimaler Zündölmenge betrieben. Unter diesen Betriebsverhältnissen gibt die Gruppe eine Leistung von 2,3 kW/m³ Gas ab. Durch die Abwärmeverwertung verbessert sich der thermische Wirkungsgrad der Anlage von rund 32% auf 71%.

Bild 3. Blindschaltbild der Faulanlage



Einige Leistungsdaten der Stromerzeugungsgruppe:

Generator:

Dauerleistung bei $\cos \varphi = 0,8$	225 kW
Überlast während 1 h	248 kW
Scheinleistung	282 kVar
Blindleistung	170 kVA

Dieselmotor:

Dauerleistung bei $\cos \varphi = 0,8$	243 kW
Überlast während 1 h	268 kW
Schmierölverbrauch rund	350 g/h
Gasverbrauch bei 4/4 Last und 10% Zündöl	100 m ³ /h
Zündölmenge rund	5,8 kg/h

Zur Speicherung des Gases steht ein Gasometer von 1000 m³ Inhalt zur Verfügung. Da der nötige Platz für ein solches Bauwerk auf dem Kläranlagareal fehlt, hat das Gaswerk Neuhausen seinen Gasometer an den Verband abgetreten.

2. Bauliche Anlagen

2.1. Standort und Gesamtdisposition

Als Standort für die Gemeinschaftskläranlage wurde die «Röti», ein noch unbebautes, rund 400 m oberhalb des Rheinfalles, auf dem Gemeindegebiet von Neuhausen gelegenes Grundstück gewählt. Dieses Areal, das sich zum grössten Teil im Eigentum der Schweizerischen Industriegesellschaft Neuhausen (SIG) befand, wird einerseits durch den Rhein, und andererseits durch die SBB-Bahnlinie Schaffhausen-Winterthur begrenzt.

Bei der Landabtretung an den Kläranlageverband wurde seitens der SIG diesem die Auflage gemacht, ihr als Gegenleistung das noch verbleibende Restgrundstück auf die Ebene des rund 20 m höher gelegenen Fabrikareals aufzuschütten. Dazu musste allerdings zu Lasten des Verbandes die Bahnlinie Neuhausen-Winterthur auf einer Länge von 150 m überdeckt werden. Die Dienstgebäude, die Faulanlage und die Gebläsestation der Belebtschlammanlage liegen in den Böschungen dieser Anschüttung, um einerseits die flache Uferzone für die Beckenbauten frei zu halten, andererseits die Hochbauten dem Blick der Rheinfallbesucher möglichst zu entziehen. Vom Rhein durfte ein schmaler Uferstreifen von 10 bis 12 m Tiefe beansprucht werden, siehe Bild 1.

Der zur Gemeinschaftsanlage gehörende Sammelkanal beginnt bei der Gemeindegrenze Schaffhausen-Neuhausen und verläuft auf einer Länge von rund 2,3 km längs dem Rheinufer zur ARA. Sein Sohlgefälle beträgt nur 0,8‰. Das maximale Schluckvermögen von 6000 l/s entspricht dem 3,75fachen Trockenwetterabfluss (TWA) bei theoretischer Vollüberbauung des gesamten Einzugsgebietes.

2.2. Baugrund und Deponie

Der Untergrund des Röti-Areales besteht aus klüftigen Malmkalken mit vereinzelt Bohnerzlehmtaschen. In der Nähe der Oberfläche ist der Kalkfels stark verwittert und geht teilweise in mergeligen Lehm über, welcher von einer mageren Humusschicht überdeckt ist. Im Bereiche des Böschungsfusses der bis zu 23 m hohen Deponie musste diese Verwitterungszone entfernt und durch gesundes Felsausbruchmaterial ersetzt werden. Ferner wurde die Fusszone durch bis zum Rheinufer hinausgeführte Drainagegräben entwässert. Die Grundlagen für die Stabilitätsberechnungen der Böschungen und der in ihr liegenden Bauwerke wurden in Zusammenarbeit mit der Versuchsanstalt für Wasser- und Erdbau an der ETH ausgearbeitet. Die charakteristischen erdbautechnischen Daten lauten:

Raumgewicht	$\gamma = 2,0 \text{ t/m}^3$
Innerer Reibungswinkel	$\Phi = 40^\circ$
Ruhedruckziffer	$r = 0,36$
Auflast auf Deponie	$p = 25 \text{ t/m}^2$
Zulässige Felspressung	$\sigma = 10 - 12 \text{ kp/cm}^2$
Zulässige Haftspannung zwischen Spannanker und Fels	$\tau = 7 \text{ kp/cm}^2$

Die Randzone der Deponie wurde mit Felsmaterial geschüttet, während im Kern vorwiegend Kiessand eingebaut wurde. Nur so konnte die 4:5 geneigte Böschung profilgerecht eingehalten werden.

2.3. Vorklärbecken

Die beiden Vorklärbecken befinden sich teilweise im alten Flussgebiet, wobei die Beckensohle rund 4 m unter dem Rheinspiegel liegt. Zur Auftriebsbegrenzung im Normalbetrieb ist ein hochliegendes Drainagesystem rund um die Becken verlegt, welches mit natürlichem Gefälle an die Auslaufleitung in den Rhein angeschlossen ist. Ein

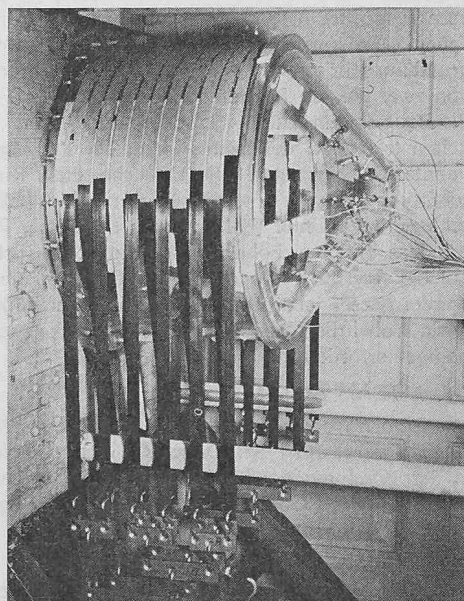
tief liegendes System unter der Beckensohle dient in Verbindung mit Pumpschächten zum Absenken des Grundwasserspiegels beim Entleeren der Becken. Damit konnte auf Ballastbeton oder auf eine Verankerung zur Auftriebssicherung der Becken verzichtet werden. Die 35 cm starken Wände sind in die 40 cm dicke Bodenplatte eingespannt und lediglich auf Erd- und Wasserdruck bemessen. Im Bereiche des Wasserspiegels sind die Beckenwände mit Steinzeugplatten verkleidet, um die Reinigungsarbeiten zu erleichtern.

2.4. Faulraum

Die hinter dem Dienstgebäude stehenden beiden Faultürme von 17 m Durchmesser und 23 m Höhe sind bis zur Gashaube hinauf eingeschüttet, Bild 2. Von der Böschung her werden sie zusätzlich durch den Erddruck belastet, während die dem Rhein zugekehrte Seite nur durch den inneren Wasserdruck beansprucht ist. Einschliesslich der Auflagerkraft aus dem Zwischengewölbe wirkt auf jeden Faulturm eine horizontale Erddruckkomponente von rund 6000 Mp. Das Eigengewicht und die Auflast auf dem Kegeldach beträgt jedoch nur 5400 t, so dass die Gleit- und Kippsicherheit durch zwei Gruppen von Felsankern erreicht werden musste. Die eine Gruppe von zehn Ankern mit je 233 Mp Spannkraft setzt mit einer Neigung von 45° fächerförmig am untern Zugring an. Die andere Gruppe besteht aus sechs vertikalen Felsankern gleicher Grösse und beginnt beim oberen Zugring. Die gesamten Ankerkräfte betragen somit 3700 Mp. Trotzdem musste noch ein Teil der Horizontalkomponente des Kegeldachbodens durch die Fundamente des Dienstgebäudes in die rheinseitige Felsplatte abgegeben werden. Zur Ermittlung des inneren Spannungszustandes des Behälters wurde ein Modell im Massstab 1:50 aus Plexyglas hergestellt, wobei der Kegelboden durch eine ringförmige Stahlplatte ersetzt wurde (Bild 4). Durch diese Massnahme konnten auch auf der Innenseite des Modells Dehnungsmessstreifen aufgeklebt werden. Zur Durchführung der Belastungsversuche wurde der Behälter gegenüber seiner natürlichen Lage um 90° gedreht und mit horizontaler Zylinderachse an einer Stahlkonstruktion befestigt. Der Erddruck konnte damit als Vertikalbelastung über entsprechende Stahlbänder mit Belastungsgewichten aufgebracht werden. Seine in der Natur nur segmentförmig aufgebraute Art wurde mittels Umlenkrollen nachgebildet. Insgesamt sind bis zu 600 kg Bleigewichte verwendet worden, um die Belastung im Verhältnis 1:10000 auf das Modell zu übertragen.

Die Beanspruchungen aus dem inneren Wasserdruck wurden rechnerisch ermittelt und denjenigen aus dem Erddruck überlagert. Der Modellversuch bestätigte die annähernde Vorbemessung des Kegeldaches mit 50 cm Dicke, während die Wandstärke des Zylindermantels von ursprünglich 70 cm auf 80 cm erhöht werden musste. Der Kegelboden ist 85 cm dick. Der untere Zugring besteht aus sechs Kabelringen von je 237 Mp Spannkraft. Der obere Ring wurde mit einer zweilagigen Spanndrahtumwicklung mit gesamt 460 Mp Ringzugkraft hergestellt. Die Betonspannungen auf der Behälterinnenseite

Bild 4. Plexyglasmodell 1:50 des Faulturmes mit Belastungseinrichtung und Dehnungsmessstreifen



konnten durch diese Massnahme auf maximal 20 kg/cm² Zug beschränkt werden, das heisst es durfte erwartet werden, dass der Behälter rissfrei bleiben wird. Dank sorgfältiger Ausführung der Betonierarbeit gelang es, den Behälter ohne jede weitere Auskleidung praktisch wasserdicht zu erstellen. Vorsichtshalber ist trotzdem zwischen Zylinderwand und anstossendem Dienstgebäude eine bituminöse Dichtung eingebaut worden.

Die beiden Faultürme sind um 7,5 m voneinander entfernt, um dazwischen die Vertikalverbindungen unterzubringen. Die Übertragung des Erddruckes von 2000 Mp dieser Zone erfolgte durch ein senkrecht stehendes Tonnengewölbe, dessen Kämpfer auf dem Zylindermantel aufliegt. Die obersten 10 m sind hiebei auskragend. Zur Aufnahme der Längszugspannungen mussten auch hier noch sechs weitere vertikale Felsanker von je 233 Mp Spannkraft eingebaut werden.

2.5. Gebläsestation

Ein weiterer in die Deponieböschung eingebauter Anlageteil ist die Gebläsestation der biologischen Anlage. Sie enthält ferner noch die Trafostation samt Hauptverteilung. Die 7,5 m hohe Rückwand des Gebäudes wird an ihrem oberen Rand zusammen mit der Decke durch 20 m lange Zugrippen mit Querschwellen in der Deponie verankert und gegen Kippen gesichert. In den acht Rippen sind zur Zugkraftübertragung 144-Mp-Kabel verlegt. Die Bodenplatte wird an ihrem vorderen Rand durch Betonrippen mit schrägen Felsankern (System Dr. Bauer) gegen Gleiten gesichert. Eine Abstützung auf die davorliegenden Felsstellen war nicht möglich, da die Baugrube der Belebtschlammbecken die Druckzone unterschneidet.

2.6. Nachklärbecken

Die Wände dieser kreisförmigen Becken von 35 m Durchmesser und 5,5 m Wandhöhe wurden über einen Fundamenttring in acht Segmenten erstellt, wodurch sich eine 16fache Verwendung der Tafelschalung ergab. Die Wandstärke beträgt nur 25 cm. Zur Aufnahme der Ringzugkräfte, herrührend aus dem inneren Wasserdruck, sind die Wände mit Spanndraht umwickelt. Letzterer ist durch einen Gunitüberzug von 3 cm Stärke gegen Korrosion geschützt. Der Übergang zum Fundamenttring ist als Gleitfuge mit Kunststoffband ausgebildet. Die Bodenplatte von 12 cm Dicke ist in 30 bis 40 m² grosse Felder aufgeteilt. Ein Drainagenetz unter derselben dient zur Absenkung des Grundwasserspiegels beim Entleeren des Beckens. Sollte die vorgängige Grundwasserabsenkung vergessen werden oder das Drainagenetz versagen, sind Bodenventile zur Auftriebsentlastung vorhanden. Die Einlaufrinne am Beckenrand wurde von einer fahrbaren Schalung aus, ebenfalls segmentweise, erstellt.

2.7. Auslaufleitung in den Rhein

Vom Vereinigungsschacht führt eine Schleuderbetonrohrleitung von 160 cm Durchmesser in schräger Richtung zur dritten Öffnung der Eisenbahnbrücke ob dem Rheinfall hinaus. Sie endet dort in einer rund 8 m tiefen Rinne, womit eine gute Verteilung des Abwassers über die rechte Rheinfallseite erreicht wird.

Zur Erstellung der Baugrubenumschliessung dieser Leitung wurde im Winter 1965/66 bei Niederwasser ein Felsdamm mit Lehmkern geschüttet. Die Dichtung gegen den Rhein führte zu beträchtlichen Schwierigkeiten, da Wassereinbrüche in dem klüftigen Untergrund nur sehr schwer abgedichtet werden konnten. Dank dem Einsatz von zwei grossen Baupumpen von je 200 l/s Förderleistung konnte die Baugrube in Etappen trockengelegt werden. Spezielle Schwierigkeiten traten bei der Einmündung der Leitung in die eingangs genannte Kolkrinne auf. Alle Versuche, diese Rinne durch eine Felschüttung selbst mit kubikmetergrossen Blöcken zu durchqueren, schlugen fehl. Unter Wasser wurde ein kleiner Fangdamm aus Stahlstäben und Holzbohlen erstellt, in dessen Schutz der Aushub bis auf ein Reststück von etwa 1 m Stärke an die Rinne herangeführt wurde. Dieses letzte Stück wurde in einer einzigen Sprengung entfernt, wobei die Nähe der Eisenbahnbrücke spezielle Vorsichtsmassnahmen erforderte.

2.8. Nebenanlagen

Zu den Nebenanlagen gehört das Betriebsgebäude, das den Faulräumen vorgelagert ist. Dieser Gebäudekomplex liegt grösstenteils in der Böschung der SIG-Aufschüttung, so dass praktisch nur die Vorderfront des Gebäudes sichtbar ist. Das Betriebsgebäude umfasst folgende Räumlichkeiten:

Kellergeschoss:

Pumpen- und Gebläsekeller, Öltankraum, Luftschutzraum.

Erdgeschoss:

Geräteraum, Laboratorium, zentrale Entgiftungsanlage, Garage, Kalkdosiererraum samt Kalksilo, Muldenraum für den Abtransport des Schlammes, Werkstatt, Haupteingang, Vorhalle, Schaltzentrale und Klärmeisterbüro, Sozialräume.

Obergeschoss:

Schlammmentwässerungshalle, Büroräumlichkeiten.

Zwischenbau:

Dieser liegt zwischen den beiden Faultürmen und erstreckt sich auf ihre ganze Höhe. Darin sind untergebracht vom Keller bis zum 5. Obergeschoss: Gasmotorenraum, Heizzentrale, Faulschlammsilo, Gasmesserraum, Gasentschwefelungsanlage, Treppenhaus und Personenlift, Kaminanlagen sowie Lüftungsschächte.

3. Elektrische Einrichtungen

3.1. Transformatorenstation

Der jährliche Energiebedarf einer Kläranlage dieses Umfanges liegt bei rund 1,9 Mio kWh. Die Lieferung der Energie kann aus wirtschaftlichen Gründen nur in Hochspannung erfolgen. In diesem Falle kam eine Transformatorenstation, die vorläufig mit zwei 400-kVA-Transformatoren ausgerüstet ist, welche bei einer Erweiterung der biologischen Anlage durch zwei 630-kVA-Einheiten ersetzt werden können, zur Aufstellung. Die Station wird mit einer 16-kV-Ringleitung des Elektrizitätswerkes des Kantons Schaffhausen (EKS) angespeist. Sie besteht im wesentlichen aus zwei EKS-Einspeisungsfeldern, einem Stationstrenner, einem Hochspannungsmessfeld und zwei Feldern mit den Trafo-Primärschaltern. Die Niederspannungsverteilung wird von den Transformatoren über Sekundärleistungsschalter, die mit Motorantrieb ausgerüstet sind, gespeist. Diese Schalter können vom Klärmeisterbüro aus, dem eigentlichen Kommandoraum der Kläranlage, bedient werden.

3.2. Generatoranlage

Durch einen Zweistoffmotor für Klärgas- und Dieselbetrieb wird ein Synchrongenerator mit einer Scheinleistung von 290 kVA angetrieben. Dieser ist in der Lage, einen Teil des Energiebedarfes zu decken (Spitzendeckung) oder sogar Energie in das Netz des EKS abzugeben.

Bei Netzausfall wird der Brennstoffregler auf Ölbetrieb geschaltet und der Netzschalter gegen Wiedereinschaltung verriegelt. Der Motor wird mit einem Hydraulikanlasser angeworfen und auf die Nenndrehzahl gebracht. Läuft das Aggregat während des ersten Startimpulses nicht hoch, wird der Anlasser ein zweites Mal in Betrieb gesetzt. Nach erfolglosen Anlaufversuchen wird ein Fehlstartalarm ausgelöst. Hat die Gruppe bei Leerlauf die Nenndrehzahl erreicht, werden für den Betrieb nur noch die wichtigsten Apparate und Antriebe zugeschaltet. Bei Wiederkehr der Netzspannung wird der Generator vom Netz getrennt, und sämtliche Verbraucher schalten sich stufenweise zu. Der ganze Vorgang läuft vollautomatisch ab und gewährleistet einen störungsfreien Betrieb.

3.3. Internes Verteilnetz, Aufbau der Steuerung und Überwachung

Die Transformatorenstation steht im elektrischen Schwerpunkt der gesamten Kläranlage und speist über die oben beschriebene Hauptverteilung die Verteilschränke, welche die einzelnen Arbeitsprozesse steuern und überwachen. Durch diese Anordnung wurden etwa 15 Steuerschränke notwendig, die aber den Vorteil von kurzen Motoren- und Steuerleitungen mit sich bringen. Auf diesen Steuerschränken sind die Befehls- und Meldeapparate angeordnet, die zur Steuerung und Überwachung der in der Nähe aufgestellten Aggregate dienen. Die Steuerung ist so aufgebaut, dass keine Manipulationen vorgenommen werden können, welche eine Gefährdung für den Menschen und Zerstörung von Material zur Folge haben könnten. Die Stellungen der pneumatischen Schieber sind auf dem Blindschema im Klärmeisterbüro ersichtlich und geben auf übersichtliche Art über den Verfahrensablauf Aufschluss.

Ferner ist das Gasleitungssystem samt Gasometer in das Bildschema einbezogen, und ein Füllstandsmessgerät zeigt den Gasometerstand an. Wird der Maximalstand des Gasometers erreicht, setzt sich die Gasabfackelung automatisch in Betrieb; somit wird die Bildung eines unzulänglichen Druckes, bzw. das freie Ausblasen von Gas vermieden. Sinkt hingegen das Gasvolumen auf einen minimalen Wert, werden alle Gasverbraucher sofort abgeschaltet, damit sich kein gefährliches Vakuum im Gassystem bilden kann.

3.4. Störungen und Alarmmeldungen

Störungen an Pumpen, Motoren, Schiebern usw., ferner die Auslösung von Sicherungsautomaten und das Versagen der Notstromanlage werden auf den lokalen Steuerschränken angezeigt und als gesammelten Alarm im Klärmeisterbüro gemeldet. Die Meldung erfolgt als akustisches Signal einmal mittels Horn im gestörten Raum und einem Schnellschlagwecker im Areal, dann als optisches Signal im Klärmeisterbüro durch den Alarmmelder, der solange blinkt bis die Störung quittiert ist und dann auf Dauerlicht wechselt. Die Alarmmelder zeigen nun an, in welchem Anlageteil sich ein Fehler befindet, und es ist somit leicht, die Störung zu orten und zu beheben.

Die Räume, in denen die Gefahr besteht, dass Gas aus Leitungen und Armaturen austreten kann, sind durch Gasdetektoren bewacht. Diese geben Alarm und den Befehl zur sofortigen Einschaltung der Zu- und Abluftventilatoren in den betroffenen Räumen. Alle Alarmer werden auf ein Telealarmgerät geschaltet, das diese bei unbedienter Anlage (nachts und sonntags) über Telefon der Reihe nach dem zuständigen Klärpersonal nach Hause meldet, bis einer der angeschlossenen Teilnehmer durch entsprechendes Einstellen einer Nummer den Alarm quittiert. Verstreicht mehr Zeit als 30 bis 60 min bis der Alarm auch in der Anlage quittiert ist, wird erneut das Telefonrufergerät in Betrieb gesetzt. Diese Massnahme wurde daher getroffen, damit der Alarm nicht nur quittiert, sondern die Störung auch behoben wird, denn der sich unterwegs befindende Klärwärter könnte aus irgendeinem Grunde die Anlage nicht erreichen. Das Telealarmgerät besteht im wesentlichen aus einem mit zwei Texten besprochenen Tonbandgerät und einem automatischen Nummernwähler, an dem vier Abonnementsleitungen angeschlossen sind. Die zwei Texte geben über den vorhandenen Alarmzustand Auskunft und melden die Dringlichkeit. Zu Alarmstufe I gehören untergeordnete Störungen von Motoren und Pumpen, die Alarmstufe II meldet Gasalarm und Gasmangel im Gasometer.

Eine Akkumulatorenbatterie mit einer Kapazität von 210 Ah und einer Spannung von 48 V wird mit einem Thyristorgleichrichter schwebend aufgeladen und sorgt bei Netzausfall für die Aufrechterhaltung der Steuerungen, vor allem der des Notstromaggregates, der gesamten Signalisation und der Alarmeinrichtung.

4. Bauausführung und Baukosten

Mit den Bauarbeiten für den Sammelkanal und den SBB-Tunnel konnte im Herbst 1963 begonnen werden. Die mechanische Stufe

der Kläranlage wurde Anfang 1965 in Angriff genommen. Die Betriebsaufnahme der mechanischen Klärstufe samt Schlammfalleanlage erfolgte im Oktober 1968. Rund drei Monate später konnten die Versuche und die Inbetriebnahme der Schlammmentwässerungsanlage getätigt werden. Über die bisher gemachten Betriebserfahrungen kann leider im Rahmen dieses Berichtes nicht näher eingetreten werden, obwohl teils interessante Erscheinungen, sowohl in positivem als auch in negativem Sinne zutage traten. Es soll jedoch zu einem späteren Zeitpunkt über diese Erfahrungen berichtet werden. Der biologische Anlageteil ist zurzeit im Bau, mit der Inbetriebnahme kann im Frühjahr 1970 gerechnet werden.

Die Baukosten der gesamten Anlage können bereits ermittelt werden, da für die wesentlichsten Teile die Bauabrechnungen vorliegen und für die restlichen Arbeiten die Vergebungen erfolgt sind. Die nachfolgende Zusammenstellung enthält deren Aufteilung auf die einzelnen Anlageteile:

Sammelkanal einschl. Uferweg	Fr. 5 748 000.—
Bahntunnel unter SIG-Deponie	Fr. 1 945 500.—
Mechanische Klärung	Fr. 2 068 000.—
Biologische Reinigungsstufe	Fr. 3 296 500.—
Auslaufleitung in den Rhein	Fr. 201 000.—
Schlammbehandlung einschl. Dienstgebäude	Fr. 5 949 400.—
Gasometer und Gasdruckleitung	Fr. 423 000.—
Erschliessung und Umgebungsarbeiten	Fr. 2 363 000.—
Landerwerb	Fr. 540 000.—
Projekt und Bauleitung, Verschiedenes	Fr. 2 465 600.—
Total	Fr. 25 000 000.—

Der seinerzeit angeforderte Kredit auf der Preisgrundlage von Juni 1962 betrug 19,80 Mio Fr. Anhand des zürcherischen Baukostenindex wurde, auf die ganze Bauzeit bezogen, eine durchschnittliche Teuerung von rund 25% berechnet. Die Anlage kann somit ohne Kreditüberschreitung erstellt werden, obwohl wesentliche Teile derselben umprojektiert und dem neuesten Stand der Klärtechnik entsprechend erstellt worden sind.

Adressen der Verfasser: *Paul Morgenthaler*, Ing., Teilhaber im Ingenieurbüro A. Kropf, dipl. Ing. ETH, Waldmannstrasse 10, 8001 Zürich; *Alex Wildberger*, dipl. Ing. ETH, Ingenieurbüro, Grabenstrasse 11, 8200 Schaffhausen; *Peter Fotsch*, Elektro-Ing. in Firma Elektro-Watt Ingenieurunternehmung AG, 8022 Zürich.

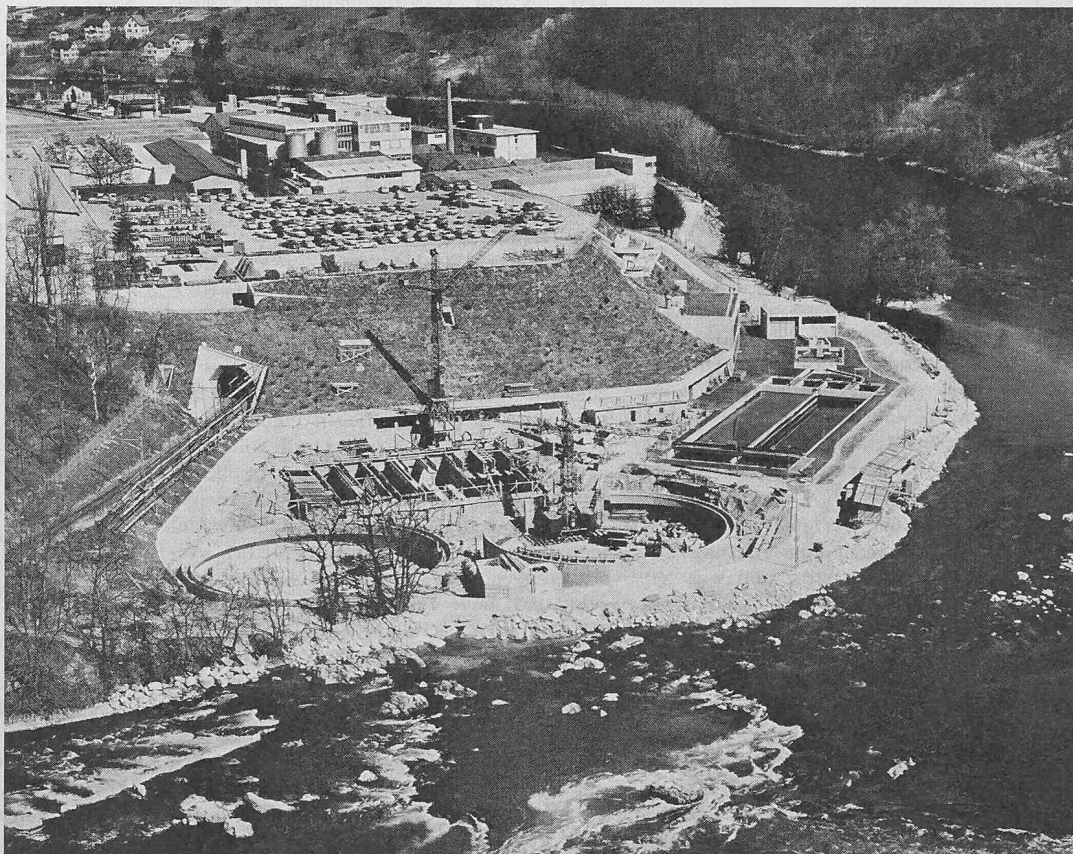


Bild 5. Flugaufnahme der Kläranlage von Südwesten, Bauzustand April 1969

(Comet-Flugaufnahme)