

# De afvalwaterzuivering bij BASF in Ludwigshafen

## 1. Algemeen

De BASF, afkorting van Badische Anilin und Soda Fabrik, werd opgericht in 1865 in het 1843 gestichte Ludwigshafen tegenover Mannheim aan de Rijn. De naam klopt niet meer, want aniline en soda worden niet meer geproduceerd en Ludwigshafen behoort niet meer tot Baden maar tot het land Rheinland-Pfalz. Voor de tweede wereldoorlog vormde de BASF met Bayer en Hoechst de I.G. Farben. De grotendeels verwoeste fabriek werd na die oorlog weer als zelfstandig bedrijf opgebouwd.



DRS. H. F. W. KLEIJN  
TH Delft

ING. J. P. HEIJN  
RIZA Lelystad

In tegenstelling met Hoechst en Bayer vindt de productie in Duitsland plaats in één fabriekscomplex. Dit is dan ook met een oppervlakte van 6 km<sup>2</sup> het grootste van Europa. Er werken 50.000 mensen waarvan 8500 vrouwen die zijn ondergebracht in 300 productie-afdelingen in 1500 gebouwen. In de 'Forschung' zijn 10.000 personen werkzaam waarvan 20 procent met milieu-problemen bezig zijn.

In de 19e eeuw waren de hoofdproducten van BASF synthetische organische kleurstoffen, bereid uit de destillatieproducten van teer en verder soda, zwavelzuur en zoutzuur. De tweede fase in het begin van de twintigste eeuw was de synthese van gassen onder hoge druk. Het Haber-Bosch procédé voor de bereiding van ammoniak uit stikstof en waterstof werd hier het eerst toegepast in 1913. Een andere synthese was de hydrering van steenkool, teer of olie volgens Bergius waarbij vloeibare koolwaterstoffen ontstaan. Het derde tijdperk was dat van de fabricage van kunststoffen uit etheen, ethyn en methaan. Het laatste gas werd gekregen uit steenkool en water.

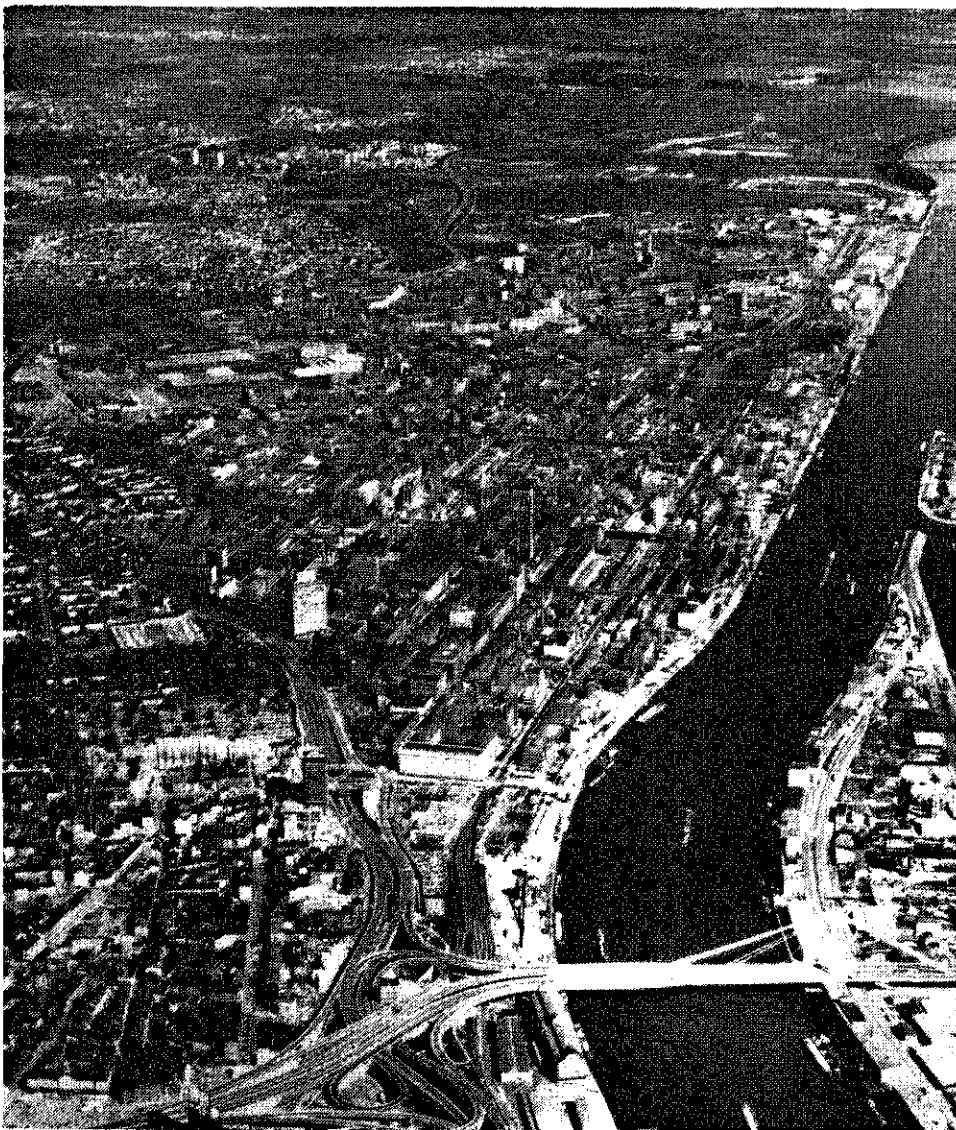
Na de tweede wereldoorlog kwam de petrochemie op. De gasvormige grondstoffen worden aangevoerd via pijpleidingen die Ludwigshafen verbinden met aardgaswinplaatsen en raffinaderijen stroomafwaarts aan de Rijn.

De voornaamste producten zijn organische kleurstoffen, kunststoffen, kunstvezels,

*In september 1980 organiseerde de Stichting Postakademiale Vorming Gezondheidstechniek een excursie naar enkele afvalwaterzuiverings- en drinkwaterbedrijven in de Bondsrepubliek Duitsland. Van het bezoek aan BASF werd bijgaande informatie verkregen, welke voor de lezers ongetwijfeld interessante aspecten heeft, niet in de laatste plaats wegens de belangrijke Nederlandse bijdrage aan de totstandkoming van de afvalwaterzuivering van het bedrijf.*

petrochemische produkten, kunstmest, geneesmiddelen, bestrijdingsmiddelen en katalysatoren voor de procesindustrie. Ongeveer 5000 produkten, totaal 6 Mt/y, worden gefabriceerd. Tevens ontstaan ongeveer 1000 verschillende afvalprodukten. Elk jaar komen er 100 nieuwe afvalprodukten bij en verdwijnen er andere.

*Het gigantische fabriekscomplex in Ludwigshafen.*



## 2. Watervoorziening

Een zo groot fabriekscomplex heeft enorm veel water nodig: 1,5 Tl/y. Hiervan wordt 21 procent of 320 GL/y verkregen door circulatie van koelwater zodat de winning ongeveer 1,2 TL/y bedraagt. De voornaamste leverancier is de Rijn waaraan ongeveer drie procent van het gemiddelde debiet (39 TL/y of 1240 m<sup>3</sup>/s) wordt onttrokken. Verder leveren 40 eigen putten 25 GL/y grondwater. Het areaal van de winning is 120 km<sup>2</sup>. Er wordt ongeveer 4,5 L/s . km<sup>2</sup> onttrokken.

Tenslotte levert het waterleidingbedrijf van de stad Ludwigshafen nog 4,5 GL/y drinkwater bereid uit grondwater.

Op drie plaatsen wordt het water aan de Rijn onttrokken, en wel op zo'n manier dat geen drijvende olie meegaat (afb. 1).

Na het passeren van een grof rooster, een fijn rooster en een zeefband komt het

water in een gesloten filter in de vorm van een liggende cilinder. Het filter is gevuld met een 2,5 m dikke laag zand met

korrels van 1 tot 2 mm diameter. Het totale filteroppervlak van de installaties is 10.000 m<sup>2</sup>. Vóór het filter wordt 3 tot

10 mg/L chloor toegevoegd, zoveel dat het filtraat weer juist chloorvrij is.

De filtersnelheid is 35 tot 40 m/h (10-11 mm/s). De spoelsnelheid loopt op van 20 tot 70 m/h (5,5-19 mm/s), de expansie is dan 20 tot 30 procent. De filterlooptijd is in het algemeen 10 tot 20 h maar een enkele maal maar 10 tot 15 min. Het gehalte aan zwevende stof daalt 40 tot 60 mg/L naar 5 mg/L.

De watervoorziening wordt geregeld vanuit drie centrale meetkamers en 15 onderstations. Er is een net van 250 km buizen met diameters van 0,2 tot 1,4 m. De diameters zijn zo groot omdat in geval van brand veel water op één plaats beschikbaar moet zijn (afb. 2).

Het leeuwedeel van de 1,5 TL/y 85 procent, dient voor koeling. Voor de circulatie van koelwater zijn drie typen koeltorens in gebruik. Bij de natte koeltorens verdampert een deel van het neerdruppelende water in een opwaartse luchtstroom. Een bezwaar van dit type is de nevel- en mistvorming vooral 's winters.

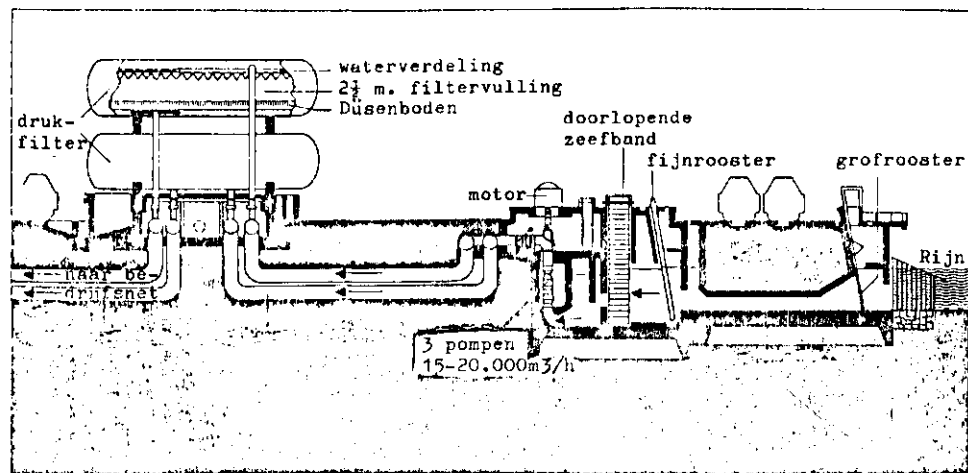
In de droge koeltoren is er alleen indirect contact tussen lucht en water. Dit model geeft 's zomers onvoldoende koeling. Een combinatie van beide vormen eerst droog dan nat (afb. 3) geeft het beste resultaat. In enkele gevallen zorgt het grondwater voor een koeling tot zeer lage temperatuur bijv. bij het spinnen met een spindop.

Als slechts een koeling tot 50 °C of hoger nodig is past men luchtkoeling toe. Dit is bij een derde deel van de koelinstallaties. Ongeveer 12,5 procent van het water, 190 GL/y wordt gebruikt in de productie en 1,7 procent, 25 GL/y gaat naar de stoomketels die met een druk van 40 tot 100 bar werken.

Het ketelwater en een deel van het proceswater wordt ontkalkt en gedemineraliseerd. De ontkalking gebeurt door toevoeging van calciumhydroxide waarna in een cycloon kogeltjes van calciumcarbonaat verder aangroeien en daarna worden afgescheiden. Een rest van calciumcarbonaat wordt in een snelfilter tegengehouden.

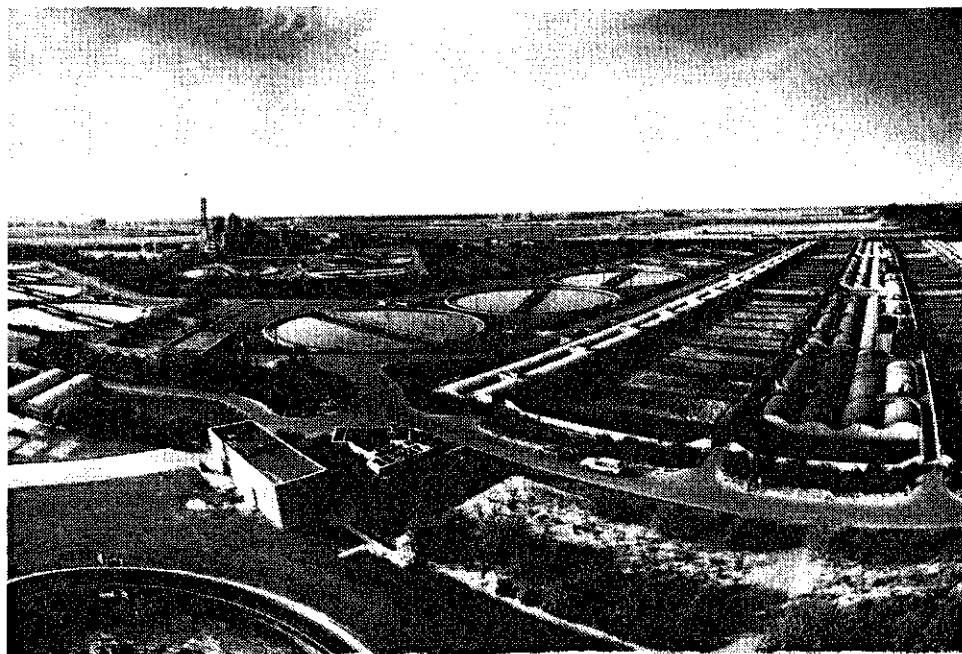
Voor de demineralisatie passeert het water achtereenvolgens een kationenwisselaar in de waterstofvorm, een anionenwisselaar in de hydroxidevorm en een gemengd bed. Vroeger werd uitsluitend grondwater als uitgangsstof gebruikt maar tegenwoordig wordt ook rivierwater toegepast. Dit heeft het bezwaar dat het zoutgehalte van de Rijn sterk wisselt. Op dinsdag en woensdag is het zoutgehalte laag daar dit water in het weekend de lozing van de kalimijnen in de Elzas is gepasseerd.

Afb. 1 - De bedrijfswaterinlaat van BASF.

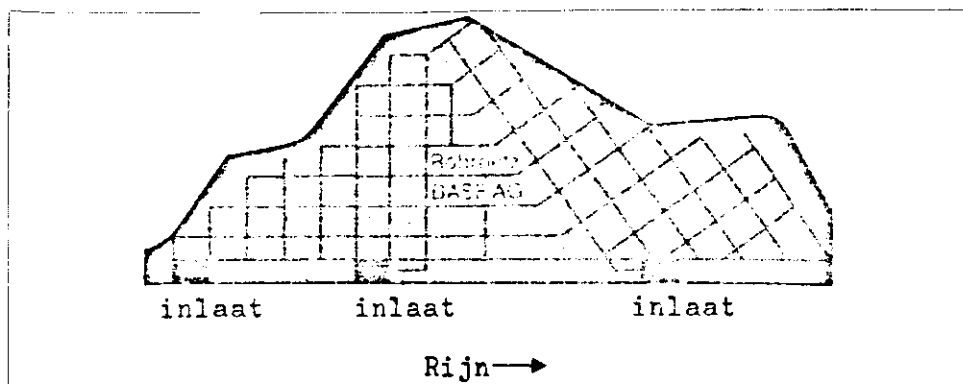


Totaal filteroppervlak, 3 innamepunten = 10.000 m<sup>2</sup>.  
Korrelgrootte 1-2 mm., filtersnelheid 40 m/sec.

De afvalwaterzuiveringsinstallatie.

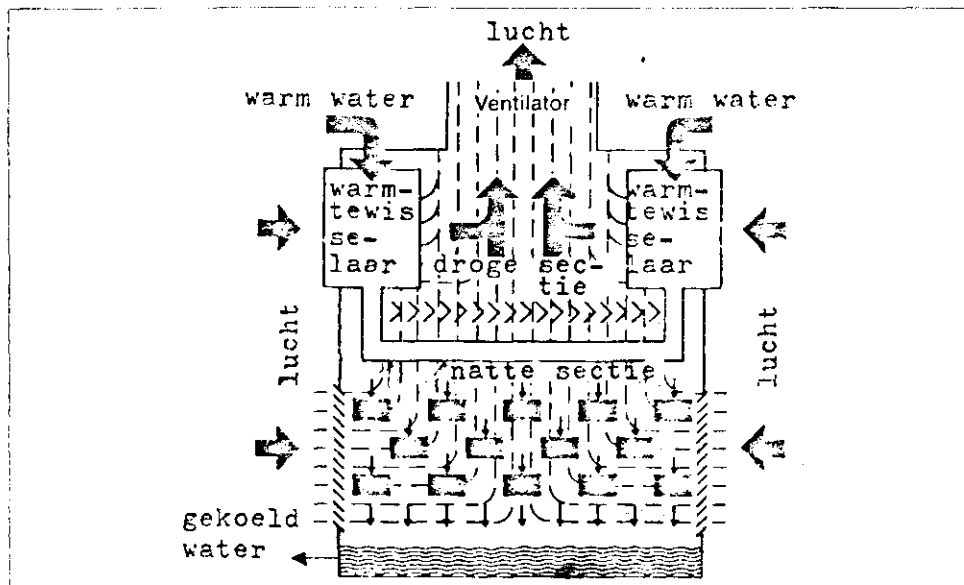


Afb. 2 - Het bedrijfswaternet van BASF.



### 3. Maatregelen in de fabriek

In 1878 onderzocht men het afvalwater van



Afb. 3 - De gecombineerde natte en droge koeltoren

het bedrijf en kwam tot de slotsom dat het niet schadelijk was. Pas omstreeks 1955 brak het besef door dat het 'zelfreinigend vermogen' van de Rijn begrensd was. In 1957 kreeg prof. Pöpel, leider van een instituut dat nauw met de Technische Hochschule in Stuttgart was verbonden, een opdracht van de BASF. De sindsdien op gang gekomen sanering bestaat uit drie delen, maatregelen in de fabriek zelf, aanleg van een gescheiden rioolstelsel en bouw van een grote zuiveringsinstallatie. In een periode van 10 jaar, van 1964 tot 1974 is dit gerealiseerd.

De maatregelen in de fabriek betreffen hergebruik van stoffen, verbetering of vervanging van processen, zuivering vooraf van het afvalwater, verbranding van organische oplosmiddelen e.d.

Voorbeelden zijn:

1. Bij de omzetting van cyclohexaan in cyclohexanon komt 75 t/d organische koolstof in het afvalwater. Een deel bevat zoveel adipinezuur ( $\text{COOH}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}$ ) dat isolatie mogelijk is. Een zuur afvalwater wordt verbrand in één van de centrale verbrandingsinstallaties en een basisch afvalwater in een kleine oven bij de productie-eenheid zelf. Bij deze laatste verbranding ontstaat tevens een oplossing van natriumcarbonaat in water die wordt gebruikt om verdund afvalzuur uit de kleurstoffabricage te neutraliseren.

2. Het zeer geconcentreerde afvalwater dat bij de synthese van organische verbindingen met vier koolstofatomen ontstaat bevat 20 t/d organische koolstof voornamelijk als butyraat. Door aanzuren ontstaat een organische fase die veel in water slecht oplosbaar boterzuur bevat. Deze

vloeistof wordt in een centrale oven verbrand.

3. Bij de kleurstoffabricage ontstaat verontreinigd zwavelzuur. Dit wordt in twee installaties geconcentreerd en dan omgezet in zwaveldioxide waaruit weer zwavelzuur wordt gemaakt. De investering hiervoor was driemaal zo hoog als die voor een installatie voor het bereiden van zwavelzuur uit ruwe zwavel met een even grote capaciteit van 350 t/d. Het voordeel is dat er geen belasting is van de Rijn met zuur en dat stijging van de ionenconcentraties die bij neutralisatie optreedt wordt vermeden.

4. Het gebruik van organische chloorverbindingen (voornamelijk als oplosmiddel) is met 80 procent teruggedrongen. De moeilijk afbreekbare stoffen worden vervangen of geconcentreerd, afgescheiden en verbrand. In het bedrijf wordt 20 kt/y verbrand en op zee 1 tot 3 kt/y.

5. Het fenolgehalte van het afvalwater is met 90 procent gereduceerd.

6. Het metaalgehalte van het afvalwater, o.a. chroom, koper, zink en kwik werd teruggebracht tot 5 à 20 procent.

7. Door toepassing van bijzondere methoden o.a. elektrochemische ontkleuring, ultrafiltratie, omgekeerde osmose, flotatie, wordt afvalwater van bepaalde processen vooraf gezuiverd.

8. Zeer gevaarlijk afval van de fabriek wordt opgeslagen in vaten in een gang van een oude kalimijn op 700 m diepte.

#### 4. Gescheiden riolering

Het fabriekcomplex loosde gemengd afvalwater - proces- en koelwater - op 15 plaatsen langs de 5 km lange Rijnsoever. In 1965 is men begonnen met de aanleg van een apart rioolstelsel van 34 km lengte voor het verontreinigde proceswater. Het hoofdriool loopt langs de Rijnsoever en heeft een maximale doorsnede van 2,60 x 2,80 m<sup>2</sup>. Het oude rioolstelsel van 50 km zorgt nu uitsluitend voor de afvoer van koelwater en proceswater met niet schadelijke anorganische bestanddelen direct naar de Rijn.

Veel aandacht werd besteed aan kleine of sporadisch vloeiende afvalwaterstromen, zodat nu 98 procent van de organische stoffen naar de afvalwaterzuiveringsinstallatie gaat.

Het in het nieuwe rioolstelsel verzamelde afvalwater heeft een pH die schommelt tussen 2 en 7.

De BOD is 500-600 mg/l, de TOC 300-400 mg/l en de COD 1450 mg/l.

De BOD-vracht is 250 t/d, die van TOC 150 t/d en die van COD 650 t/d.

Het water bevat hoofdzakelijk makkelijk afbreekbare organische verbindingen, mono-, di- en oxycarbonzuren (19 procent), één en meerwaardige alcoholen en aldehyden (10 procent), verder ketonen, sulfonzuuren, aminen. Het gehalte aan aromatische verbindingen is ongeveer 12 procent.

De concentratie van anionen is ongeveer 2 tot 3 g/L (chloride, sulfaat, waterstofcarbonaat). Het nitraatgehalte is zeer hoog, 97 tot 336 mg/L.

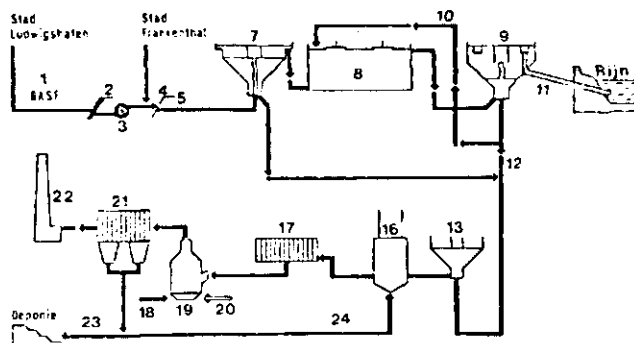
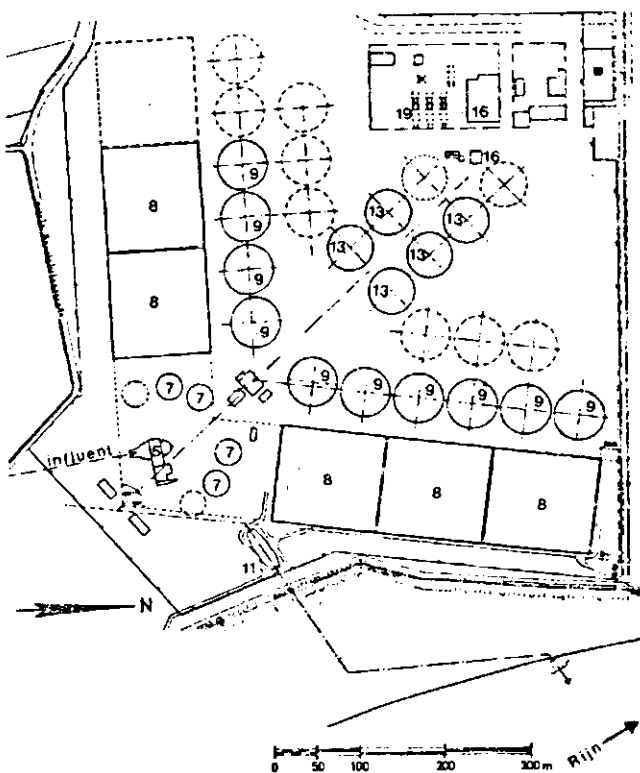
Het afvalwater is meestal gelig en helder. Er is weinig zwevende stof. Daarom is menging met stedelijk afvalwater gunstig voor de vorming van een goede slibvlok.

TABEL I - De ontwerpcapaciteit van de AWZI

	ONTWERPCAPACITEIT RWZI BASF							
	Afwalwaterstroom			Vervuilingswaarde (1 i.e. = 60 g BOD <sub>5</sub> /dag)				
	DWA gemiddeld m <sup>3</sup> /sec.	DWA maximaal m <sup>3</sup> /sec.	RWA maximaal m <sup>3</sup> /sec.	Ontwerp		Toekomst		
			BOD <sub>5</sub> ton/dag	i.e. x 1.000	BOD <sub>5</sub> ton/dag	i.e. x 1.000		
BASF	6,43	7,48	11,03	342,60	5.710			
Stad Ludwigshafen	0,80	0,80	1,15	25,00	420			
Stad Frankenthal	0,30	0,30	0,60	5,30	90			
Gemeente Bobenheim en Roxheim	0,07	0,07	0,14	2,10	30			
Uit de RWZI	0,05	0,05	1,08					
Totaal	7,65	8,70	14,00	375,00	6.250	450	7.500	

**Legenda Afvalwaterzuiveringsinrichting BASF**

1. neutralisatie: aankomend water pH 2-6 / 50-60 tCaO/dag
2. grofrooster (aut): 1 stuks, staafafstand 60 mm, afvoer roostergoed 0,7 t/d (1975-1977)
3. gemaal: 4 pompen + 1 reserve, geïnstalleerd vermogen 1100 Kw, h = 26,2 m, 330-600 omw./min.
4. steenvang: 2 stuks, 2 x 6 x 2,5 m elk.
5. fijnrooster (aut): 4 stuks, staafafstand 20 mm, breed 2.40 m, roostergoed 2,3 t/d (1975-1977)
6. roostergoedpers: 1 stuks, cap. 5 m<sup>3</sup>/h.
7. voorbezinking: 4 stuks, elk Ø 29 m, verbl.tijd 12 min. oppervl.bel. 10-19 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>/h.
8. beluchtingsbassin (zie afb. 4a): 5 stuks, elk 122,20 x 115,30 x gem. 4,25 m, verbl.t. 11,5 uur, 22 bel. type Simcar, totaal vermogen 15000 Kw, OC = 27000 kgO<sub>2</sub>/h, slib.bel. = 0,4 kg BOD<sub>5</sub>/kg . ds . dag, slibconcentratie 4,5 kg ds/m<sup>3</sup>, ruimtebelasting 1,28 kg BOD<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> . dag op 4 pl. v. d. tank continue O<sub>2</sub> meting, slibindex ~ 50 ml/g.
9. nabezinking: 10 stuks, Ø 57 m<sup>2</sup>, verbl.t. 3,1 uur, oppervl.bel. 1,08 - 1,97 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>/h.
10. terugvoerslibgemaal: 5 vijzels, elk 7740 m<sup>3</sup>/h, h = 4,10 m.
11. effluentgemaal: 4 pompen elk 12630 m<sup>3</sup>/h, h = 9,75 m.
12. surpluslibgemaal: 2 vijzels elk 595 m<sup>3</sup>/h (~ 230 t/d)
13. indikker: 5 stuks, verbl.t. 1 dag, oppervl.bel. 30 kg ds/m<sup>2</sup>/dag, kantdiepte gem. 3 m, ingedikt slib 4-7 % d.s., 4400 m<sup>3</sup>/dag (1975-1977), overloop water 31000 m<sup>3</sup>/d. (1975-1977), Ø 52,50 m.
14. primairslibgemaal: oorspronkelijke vijzels vervangen door pomp, 28 t ds/dag (1975-1977) ontw. = 90 t/dag, naar zandclarifier, 3 stuks afvoer naar stort, 7 t/dag.
15. drijf-aagafvoer: voorbezinktank + nabezinktank via vijzel naar 2 vet-vangers, afvoer naar stort, 1,2 ton/dag.
16. slibconditionering: 6 straten, toevoeging as max. 176 kg/m<sup>3</sup> slib, kalk 15 kg/m<sup>3</sup> slib, ijzerchloride 4-6 kg/m<sup>3</sup> slib.
17. kamerfilterpers: 5 stuks + 1 reserve, 15 BAR elk, filteroppervl. 1080 m<sup>2</sup>, voed.pomp 50 m<sup>3</sup>/h, filterkoek, 50-55 % drogestof.
18. olietoevoer.
19. verbranding: 3 wervelbedovens, elk verw. 20 t/h filterkoek, as afvoer per schip plus een deel voor gebruik op de AWZI.
20. luchttoevoer.
21. gaswasser: 3 electrofilters, cap. totaal = 45000 Nm<sup>3</sup>/h, reststof 150 mg/m<sup>3</sup>
22. schoorsteen: 48 meter hoog.
23. afvoer as.
24. terugvoer as.

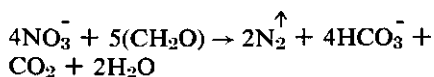


Afb. 4 - De afvalwaterzuiveringsinstallatie.

**5. De afvalwaterzuiveringsinstallatie****5.1. De proefinstallatie**

In de jaren 1969 tot 1971 werd een proefinstallatie gebouwd met een beluchtingsbekken van 400 m<sup>3</sup> en een capaciteit van 1500 m<sup>3</sup>/d (17 L/s) en van 800 kg/d (9 g/s) uitgedrukt als BOD.

Hier werd vastgesteld dat eerst denitrificatie moet plaatsvinden daar anders in het zuurstofarme nabezinkingsbekken drijfslib zou ontstaan door stikstofontwikkeling



Een tweetrapsysteem bleek echter overbodig te zijn. Het was voldoende het eerste

deel van het beluchtingsbekken zuurstof-arm te maken.

Verder was het nodig het ruwe afvalwater te mengen met een grote hoeveelheid actief slib om vergiftiging te voorkomen. Een goede slibvlok werd verkregen wanneer alleen de grove zwevende stof uit het afvalwater werd verwijderd.

**5.2. Capaciteit**

Het afvalwater van de fabriek wordt gemengd met het huishoudelijk afvalwater van Ludwigshafen, Frankenthal en twee kleine gemeenten.

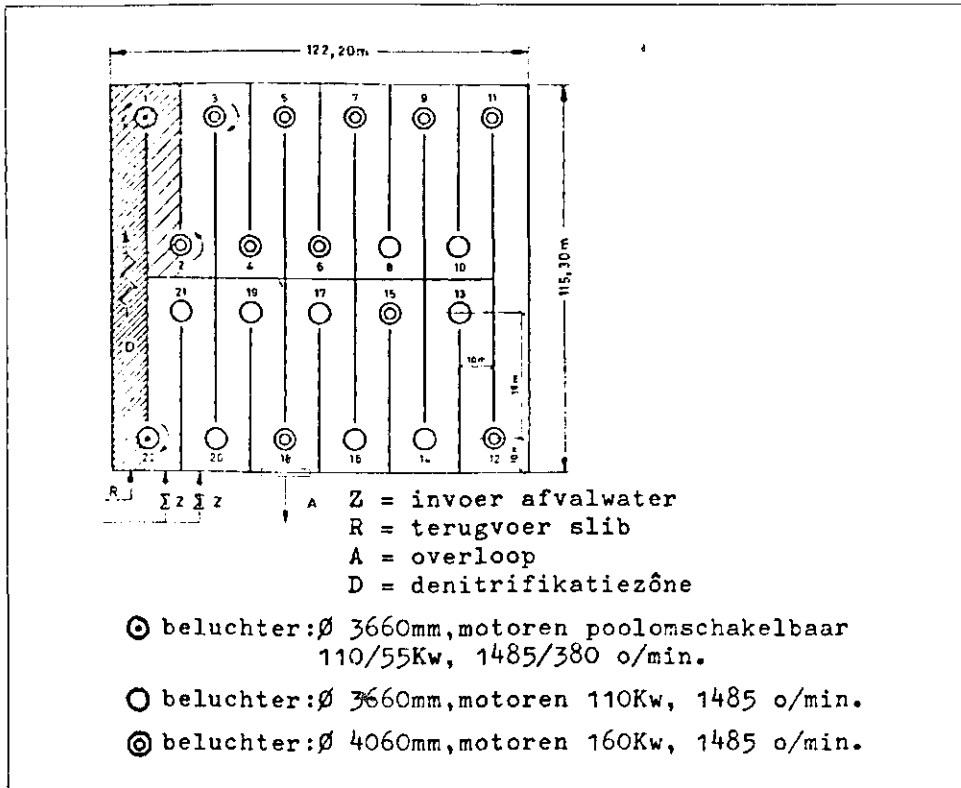
De installatie is berekend op een capaciteit van 7,6 m<sup>3</sup>/s, max. 8,9 m<sup>3</sup>/s. Bij regen kan

14 m<sup>3</sup>/s worden verwerkt. De maximale vracht is BOD = 375 t/d (zie verder tabel I). DHV (Dwars, Hederik en Verhey) bouwde de installatie in de jaren 1973 en 1974.

Het terrein is 60 ha groot, 35 ha is bebouwd en 25 ha is park. Er is nog plaats voor twee bezinkingsbekkens, één beluchtingsbekken, tien nabezinkingsbekkens en vier indikers, alle van gelijke afmetingen als de bestaande.

**5.3. De neutralisatie**

Al op 3,7 km afstand van de zuiveringsinstallatie wordt het afvalwater van de fabriek gemengd met dat van de stad Ludwigshafen (afb. 4).



Afb. 5 - Het beluchtingsbekken van de AWZI van BASF.

Daarna doseert men in het 150 m lange laatste deel van het hoofdriool kalkmelk waarbij de pH automatisch op 6 wordt ingesteld. De concentratie van de calciumhydroxidesuspensie werd verhoogd van 10 tot 20 procent daar het verbruik van calciumoxide hoger was dan verwacht, nl. 60 t/d met een maximum van 200 t/d. Op drie plaatsen in de buis wordt de pH gemeten en op twee plaatsen er tussenin bestaat de mogelijkheid om de kalkmelk te doseren. De eerste dosering kan dan door een tweede nog worden gecorrigeerd. Oorspronkelijk was het plan om bij de tweede doseerinrichting natriumhydroxide-oplossing te gebruiken om een snelle pH-instelling te verkrijgen, maar dit bleek niet nodig daar bijna altijd de eerste dosering de pH afdoende op peil bracht.

In de rioolbuis zijn twee cascades aangebracht met hoogten van 0,50 en 0,65 m, en samen met de turbulente stroming geeft dit een snelle menging. Het water passeert een grof rooster met een staafafstand van 60 mm. Hier wordt 0,7 t/d roostergoed tegengehouden.

Bij aankomst in het pompstation ligt de waterspiegel op 6,5 m onder het maaiveld. Vijf pompen met ieder een capaciteit van 3 m<sup>3</sup>/s zijn beschikbaar om het afvalwater in twee betonnen drukleidingen van 1,6 m diameter te persen. Iedere buis heeft een capaciteit van 6 m<sup>3</sup>/s. Het water passeert de hele zuiveringsinstallatie onder een vrij verval van 4,5 m en kan dan nog zonder

pompen op de Rijn worden geloosd als de waterstand normaal is.

#### 5.4. Mechanische reiniging

Twee steenvangers van 6 x 2,5 m<sup>2</sup> aan het einde van de 3,5 km lange drukleidingen verwijderen partikels groter dan 5 mm. Dan verzamelen vier roosters van 2,40 m

breedte met een staafafstand van 20 mm 2,3 t/d roostergoed. Het water wordt nu verdeeld over vier ronde bekkens met een diameter van 29 m en een inhoud van 4 x 1300 m<sup>3</sup>. De oppervlaktebelasting is 11 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> . h. De verblijftijd in de 'Grobentschlammmer' is zeer kort, 0,2 h, zodat alleen de grove deeltjes groter dan 0,2 mm sedimenteren. Het primaire slib gaat naar een zandscheider (Dorr Klassierer). De zandproductie van deeltjes groter dan 1 mm bedraagt drogestof/tijd = 6 t/d en de productie van overblijvend primair slib is drogestof/tijd = 22 t/d waar nog 1,2 t/d drijfslib bijkomt. Alle vijzels voor primair slib waren snel versleten en zijn nu vervangen door pompen.

Proeven wezen uit dat door toevoeging van 0,5 mg/L Sedipur de afscheiding van de vaste stof 50 tot 60 procent hoger lag en dat de BOD-reductie dan toenam met 10 procent. Eén of twee indickers zijn nu buiten gebruik.

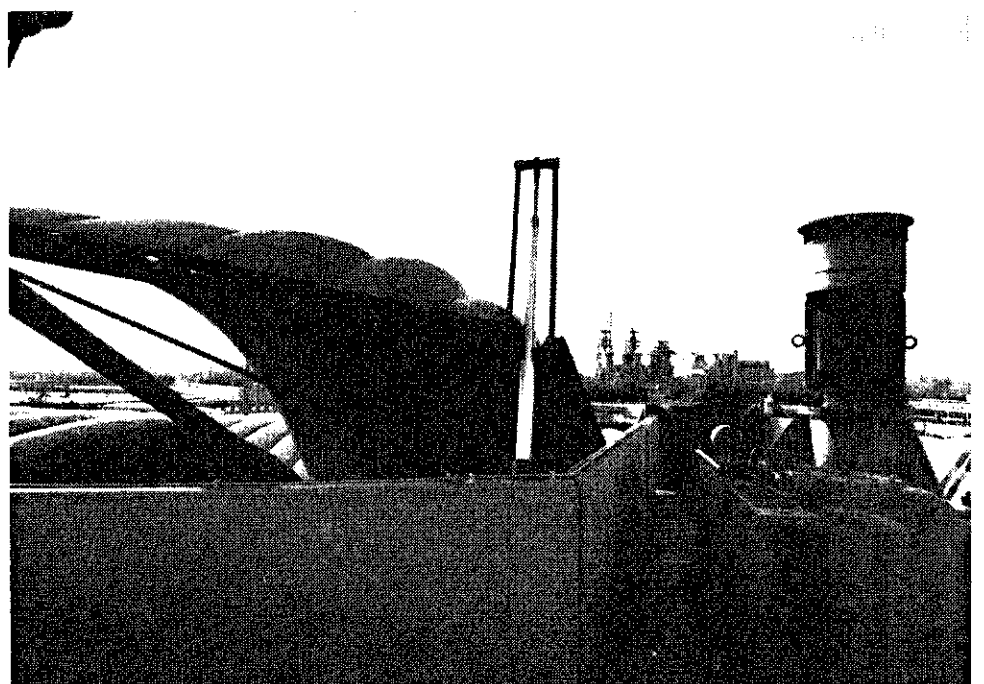
De 'Grobentschlammmer' zijn zo hoog met afvalwater gevuld dat de toevoer geen cascade vormt waardoor de verspreiding van stank aanzienlijk kleiner is.

#### 5.5. Beluchting

Het water wordt opnieuw verdeeld, nu over vijf bekkens. De dwarsleidingen zijn aangebracht om te zorgen dat bij het uitvallen van één van de bekkens de andere delen van de installatie optimaal kunnen functioneren.

De vijf rechthoekige bekkens hebben een inhoud van 5 x 58.700 m<sup>3</sup> en de afmetingen zijn 122 x 115 m<sup>2</sup> bij een waterdiepte van

Kunststoffen deksels op de beluchters reduceren de stank tot enkele procenten van de vroegere waarden.



4,25 m. Zij zijn ingedeeld volgens het carrousselprincipe met 10 m brede kanalen en met oppervlaktebeluchters op de omkeerpunten (afb. 5). In totaal zijn er 110 beluchters met 110 of 160 kW vermogen, totaal 15 MW. Zij zorgen voor een stroomsnelheid van 0,3 m/s en een zuurstofoverdracht van 375 t/d.

De regeling van de zuurstofoverdracht gebeurt door het in- of uitschakelen van sommige beluchters en wel zo dat het eerste deel van elk bekken zuurstofarm (kleiner dan 0,2 mg/L) is, zodat daar denitrificatie plaatsvindt. Daar in de voorbezinking alleen grove deeltjes zijn verwijderd bevat het actief slib veel anorganische bestanddelen wat tot uiting komt in twee waarden voor de slibconcentratie  
droge organische stof/volume = 3,2 kg/m<sup>3</sup>  
drogestof/volume = 4,5 kg/m<sup>3</sup>  
De waarden voor andere grootheden zijn  
slibbelasting BOD/droge organische stof . tijd = 0,4 kg/kg . d  
ruimtebelasting BOD/volume . tijd = 1,3 kg/m<sup>3</sup> . d  
OC/load zuurstof/BOD = 1,6 kg/kg  
slibindex volume/drogestof = 40-50 mL/g  
De verblijftijd is ongeveer 12 h.

In één bekken zijn zes zuurstofsonden aangebracht. Door instelling van de beluchting op de gegevens van verschillende regelkringen kan op energie worden bespaard zonder het zuiveringsproces nadelig te beïnvloeden. Bij 95 % BOD reductie loopt de energiebehoefte terug van energie/BOD-afbraak = 1,1 tot 0,77 kWh/kg. Het meten in één bekken is voldoende, de andere bekkens worden op overeenkomstige wijze van zuurstof voorzien.

De vorming van aerosolen bij de beluchters gaf stankbezwaren in de op ongeveer 800 m

TABEL II - Gemiddelde resultaten van de afvalwaterzuiveringsinstallatie.

	Afwalwater		Effluent		verwijdering
	vracht	concentratie	vracht	concentratie	
BOD	t/d	mg/L	t/d	mg/L	%
BOD	260	550	13	30	95
COD	650	1450	120	250	80
TOC	150	350	32	70	80
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23	50	2	5	90

afstand gelegen wijk Pflingstweide. Een proef met het aanbrengen van een soort tent om de beluchter mislukte. Nu zijn zware kunststofslabben die tot in het water hangen om de beluchters aangebracht. De luchttoevoer vermindert hierdoor tot 1/30 van de oorspronkelijke waarde zonder dat de zuurstofoverdracht omlaag gaat. Men mag aannemen dat de stank eveneens tot enkele procenten van de vroegere waarde wordt teruggebracht.

Een positieve nevenwerking is de geringere temperatuurdaling in de winter. Slib dat veel calciumcarbonaat bevat zinkt snel. Het afgezette slib is moeilijk weer in circulatie te brengen. Om deze sedimentatie te beperken zijn schotten in de lengte van de kanaalarmen aangebracht. Tevens beperkt men de pH stijging bij de neutralisatie en gaat niet verder dan 6. Bij de denitrificatie loopt de pH verder op, maar zo weinig dat de vorming van calciumcarbonaat wordt belemmerd.

5.6. Nabezinking

Het water met actief slib uit de beluchting wordt opnieuw verdeeld en gaat naar één van de tien ronde bezinkingsbekkens. Nu heeft men twee bezinkingsbassins op één beluchtingsbekken maar er is plaats voor drie per beluchtingsbekken. De diameter van de bekkens is 57 m, de inhoud 10 x 8000 m<sup>3</sup> en de oppervlaktebelasting 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> . h. De verblijftijd is

3,1 h, maar de constructie van het bekken is zodanig dat het meeste slib maar 20 min in het bekken is, zodat de circulatie van het actief slib snel verloopt. De slibproductie is 450 ML/d met een concentratie variërend van drogestof/volume = 8 tot 15 kg/m<sup>3</sup>.

Een percentage van 50 tot 150, betrokken op de gemiddelde hoeveelheid afvalwater bij droog weer, kan worden teruggepompt en worden verdeeld over de vijf beluchtingsbekkens.

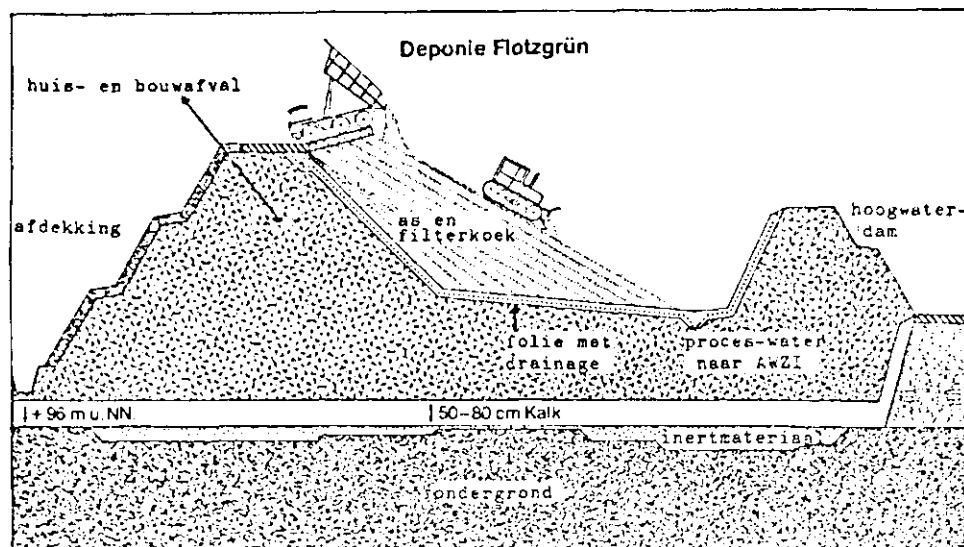
De aanvoer van overtollig actief slib is 216 t/d.

Het bovenstaande water vloeit naar de Rijn bij normale waterstand. Voor de lozing bij hoge waterstanden is een pompstation gebouwd.

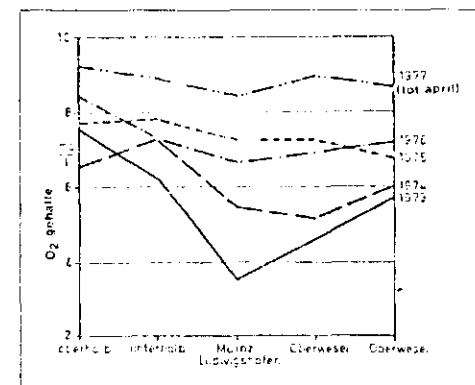
6. Slibbehandeling

Het primaire slib en het overtollige actief slib worden gemengd en verdeeld over vijf indickers met een diameter van 52,5 m, een oppervlak van 5 x 2150 m<sup>2</sup> en een volume van 5 x 7800 m<sup>3</sup>. De verblijftijd is ongeveer 24 h. Bij een oppervlaktebelasting van vaste stof/oppervlak . tijd = 30 kg/m<sup>2</sup> . d stijgt het gehalte aan vaste stof van 1 tot 5,5 procent. Het gedecanteerde water gaat terug naar de kringloop van actief slib. In vijf evenwijdige conditioneringsstraten wordt achtereenvolgens gedoseerd: een geconcentreerde oplossing van ijzer(III) chloride (FeCl<sub>3</sub>/slibvolume = 4 tot 6 kg/m<sup>3</sup>), een twintig-procentige suspensie van calciumhydroxide (CaO/slibvolume = 15 kg/m<sup>3</sup>) en as van de slibverbranding (as/slibvolume = max. 176 kg/m<sup>3</sup>).

Afb. 6 - De afvalberging van de BASF op het eiland Flotzgrün.



Afb. 7 - Jaarlijks gemiddelde zuurstof-gehalte van de Rijn in Rheinland-Pfalz, 1973 tot 1977.





Stortplaats aan de Rijn bij Speyer.

De conditionering vindt in afgesloten ruimten plaats daar hierbij stankverwekkende stoffen zoals aminen en mercaptanen ontstaan. De lucht boven het water wordt naar de verbrandingsoven gevoerd.

Zes filterpersen (en één in reserve) ontwateren het geconditioneerde slib. De normale grootte van de filterplaten is 1,5 x 1,5 m<sup>2</sup>, hier worden platen van 2 x 2 m<sup>2</sup> met een steunrichel in het midden gebruikt. Met 150 platen per pers is het filteroppervlak van de zes persen 6500 m<sup>2</sup>. De maximale druk van 15 bar wordt in 40 min. bereikt en de geproduceerde filterkoek (1000 t/d) bevat 55 procent drogestof. Het filtraat gaat naar de pompen voor de kringloop van het actief slib.

Voor de verbranding van de filterkoeken zijn drie wervelbedovens aanwezig die ieder 20 t/h kunnen verwerken. Het 'bed' bestaat uit kwartzand van 0,5–2 mm diameter. De temperatuur ligt tussen 600 en 900 °C. De verblijftijd in de oven is 2s en in de kamer voor de naverbranding 1s.

De rookgassen worden gekoeld tot 650 °C

met lucht die zelf een temperatuur van 500 °C bereikt. Een verdampingskoeler waarin Rijnwater wordt versproeid koelt de rookgassen verder tot 350 °C waarbij tevens grove asdeeltjes zich afscheiden. Hierna verwijdert een elektrofilter de fijne as. Het gehalte aan vaste stof van de rookgassen daalt van vaste stof/normaal volume = 170 g/m<sup>3</sup> tot 0,15 g/m<sup>3</sup>.

De niet voor de conditionering gebruikte as gaat, na bevochtiging tegen het stuiven, per vrachtwagen en schip naar de 80 ha grote stortplaats van de BASF op het eiland Flotzgrün in de Rijn bij Speyer, 40 km stroomopwaarts van Ludwigshafen (afb. 6). De ondergrond van de stort is inert materiaal dat kwelwater tegenhoudt en een 0,5 m dikke kalklaag die metaal-ionen aanwezig in het percolatiewater neerslaat. Als ook filterkoek wordt gestort gebeurt dit binnen wallen van bouwafval en grond en op een afdichting met kunststoffolie. Het percolatiewater wordt opgevangen en met de lege schepen naar de zuiveringsinstallatie gebracht.

In 1975 werd 250 ML as en 600 ML filterkoek naar Flotzgrün vervoerd. De ontwatering met de filterpersen verliep van het begin af vlot maar de slibverbranding gaf veel problemen.

## 7. Resultaten en controle

De belasting van de afvalwaterzuiveringsinrichting was in 1980 ongeveer 70 procent. Ongeveer 95 procent van de BOD, 80 procent van de TOC en COD en 90 tot 93 procent van het nitraat wordt verwijderd (zie tabel II).

Het zuurstofgehalte van de Rijn is gestegen van 0,5 tot 7 mg/l bij normale afvoer en bedraagt bij lage afvoer nog 3 tot 4 mg/l (afb. 7).

Voor de controle van het afvalwater beschikt de BASF over vele mobiele meetinstallaties en 22 vaste meetpunten.

In de Rijn wordt het zuurstofgehalte gemeten. Men analyseert monsters en voert vistests uit. Een jaarlijkse controle van de visstand geeft een indruk van de kwaliteit van het Rijnwater.

## 8. Kosten

De investeringskosten voor de waterzuivering bedroegen 450 miljoen DM waarvan 200 miljoen besteed werden voor de zuiveringsinstallatie, 160 miljoen voor de gescheiden riolering, 90 miljoen voor lokale maatregelen en 2 miljoen voor de proefinstallatie. De exploitatiekosten van de zuiveringsinrichting belopen 73 tot 80 miljoen DM per jaar waarvan 53 procent voor rekening van de slibbehandeling komt (verg. tabel III).

## Literatuur

Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Wasserversorgung und Umweltschutz in der chemischen Industrie dargestellt am Beispiel der BASF. Ludwigshafen, Hannover 1973, 165S.  
 Engelhardt, H., Haltrich, W. G. e.a. Die Kläranlage der BASF A.G. in Ludwigshafen/Rh. Chemie-Ing.-Techn. 1975, 47, 401-413.  
 Haltrich, W. G. Abwasserreinigung in der chemischen Industrie. Problemen und Erfahrungen. Chemie-Ing.-Techn. 1975, 47, 429-434.  
 Bender, E. und Konrad, B. Sauerstoffkonzentrationsregelung in den Belebungsbecken der BASF-Kläranlage. Regelungstechnik 1977, 25, 284-289.  
 Engelhardt, H. und Weisbrodt, W. Lösung der Abwasserprobleme in der chemischen Grossindustrie. Industrieabwässer 1978 (Juni), 1-6.  
 Engelhardt, H. und Haltrich, W. G. Gewässerschutz in der BASF A.G. Ludwigshafen, Chem.-Ing.-Techn. 1978, 50, 510-518.

TABEL III - Kosten voor de afvoer en behandeling van afvalwater van de BASF.

OVERZICHT VAN DE KOSTEN RWZI BASF					
	Miljoenen	Water-gedeelte	Slib-behandeling	Algemeen en terreinwerken	Totaal
Investerings	DM	104	76	20	200
Bouwkundige werken	(%)	65	13	92	
Mechanische werken	(%)	27	69	7	
Elektr., Meet- en Regeltechniek	(%)	8	18	1	
Rioleringswerken					160
Locale maatregelen					90
Extra kosten afdekking beluchtingselementen					10