

Schoon water uit suikerbieten

Voordracht uit de 17e vakantiecursus in behandeling van afvalwater 'Wat de industrie doet', gehouden op 13 en 14 mei 1982 aan de TH Delft.

1. Grondstof

Samenstelling van de biet, splitsing in produkten. Deze staan schematisch aangegeven in afb. 1. Uit deze simpele afbeelding zijn reeds een aantal belangrijke conclusies te trekken:

— Suiker is reeds in de biet aanwezig. De fabriek isoleert de suiker door verwijdering van de andere stoffen ('niet-suikers'). Zie de behandeling van het proces in paragraaf 2.

— 'Water' staat niet bij de omliggende produkten. Toch zal van de 50 % (van het

Nederland ! Wij komen hier in paragraaf 4 op terug.

— Het celsap van de biet bevat de suiker (16 %) samen met de andere oplosbare stoffen (2 %). Het percentage suiker in oplosbare droge stof (het 'reinheidsquotient') bedraagt dus in de ruwe grondstof reeds $16/18 \times 100 = 89 \%$.

Wanneer dus ergens in het proces verliezen optreden, zullen deze steeds groten-deels uit suiker bestaan. Met andere woorden, suikerverlies en watervervuiling zijn direct gekoppeld.

— Tenslotte: afb. 1 heeft betrekking op een schone biet. Aan de geogste bieten, geleverd aan de suikerfabriek, kleven grote hoeveelheden tarra (15 - 25 %). Over de invloed daarvan op de suiker-verliezen wordt gesproken in paragraaf 4.



IR. R. DE VLETTER
CSM Diemen

bietengewicht), aangeduid als 'verdampt uit sap', ruim de helft fysiek overblijven. De rest verdampt in de koeltoren. Dat betekent dat een gemiddelde Nederlandse suikerfabriek, die ongeveer 7000 ton bieten per dag verwerkt, en die alle afvalwater volledig in recirculatie heeft, toch een onvermijdbare lozing overhoudt van ca. 2000 m³ water per dag. Nadere details in paragraaf 3.

— Het suikerverlies à 0,3 % is op te vatten als een variabele. Afhankelijk van de mate van sanering, treft men fabrieken aan met een minimum verlies van 0,1 à 0,15 % tot een maximum van 0,5 à 1 %. Dit laatste overigens niet (meer) in

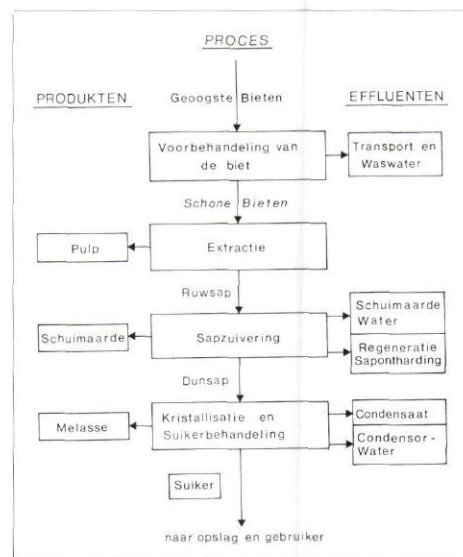
2. Het processchema van een suikerfabriek

Afb. 2 geeft een vereenvoudigd proces-schema van een bietsuikerfabriek.

De bieten komen aan de fabriek, samen met alle akkergrond, blad, onkruid en andere ongerechtigheden, die bij het oogsten en bij de op- en overslag op de boerderij tussen de bieten zijn terechtgekomen (de tarra).

Voorbehandeling. Het transport vanaf de losplaats of de opslag op het fabrieksterrein naar de fabriek gebeurt met transportwater. In deze transportweg zijn een aantal reinigingstrappen ingebouwd, zodat relatief schone bieten de fabriek ingaan.

Extractie. De bieten worden in dunne reepjes gesneden die in continue apparaten in tegenstroom met warm water (70 - 75°)



Afb. 2 - Processchema van een suikerfabriek.

worden geëxtraheerd. De overblijvende pulp wordt, al of niet gedroogd, als veevoeder gebruikt.

Sapzuivering. Het geëxtraheerde ruwsap is blauwgrijs van kleur en troebel. Door behandeling met kalk en koolzuurgas en enkele filtraties wordt het helder gemaakt. Het afgefilterde neerslag heet schuimaarde en vindt toepassing als kalkmeststof. Het lichtgele filtraat draagt de naam dunsap. Dit wordt van restanten opgeloste kalk ontdaan in de sapontharding met behulp van een kationenwisselaar in de natrium-cyclus.

Kristallisatie en suikerbehandeling. Hierbij moet het dunsap met 13 % drogestof worden ingedampt tot een oververzadigde suikeroplossing. Dit gebeurt om economische redenen grotendeels in een meertrapsverdampfer. De dampen hiervan worden als verwarmingsmedium in het proces gebruikt.

Ook uit de eindtrap, de kristallisatie (kookpannen) ontwijkt weer veel waterdamp. Door de kristallisatie wordt het sap uiteindelijk gesplitst in kristalsuiker (produkt) en moederloog (melasse). Melasse bevat nog 50 % opgeloste suiker (ca. 2 % van de 16 % uit de biet) en wordt gebruikt in de veevoeder sector en als grondstof voor alcoholbereiding.

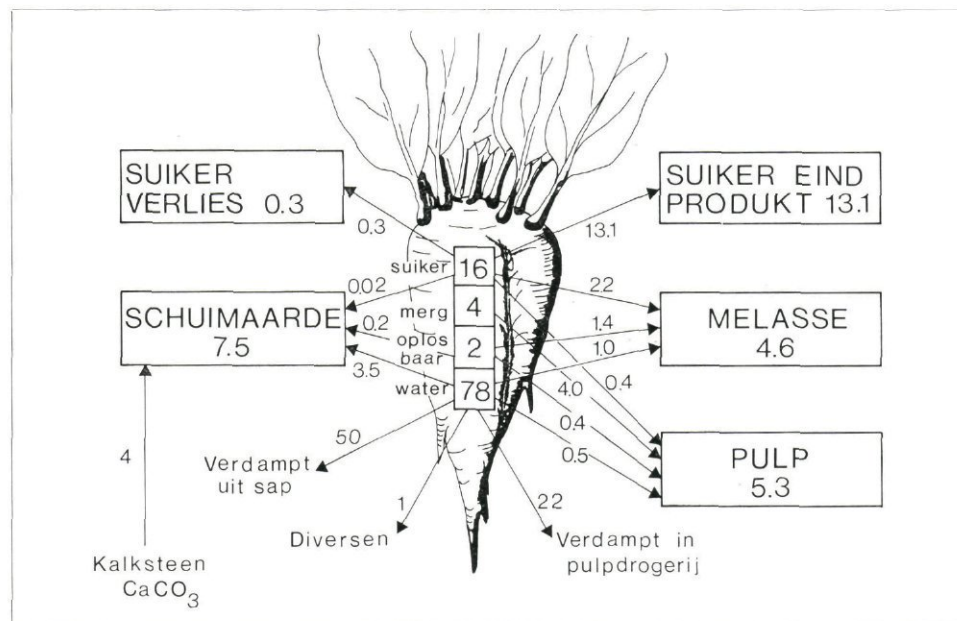
In deze korte procesbeschrijving zijn alleen de hoofdpunten genoemd, die van belang zijn voor het inzicht in het ontstaan van de effluënten.

3. Proces-effluënten

Oorsprong, hoeveelheid, samenstelling.

In afb. 2 zijn een vijftal proces-effluënten genoemd. Cijfermateriaal voor de hoeveel-

Afb. 1 - Samenstelling van biet en produkten, % van de biet.



TABEL I - Effluënten van een suikerfabriek.

	% biet	Hoeveelheid m ³ /dag bij 6000 t/d	mg/l Concentratie		Kg/dag bij 6000 tb/d	
			CZV	N kj	CZV	N kj
— transport- en waswater (in circulatie)	800	50.000	2.000	50	10.000	100
— schuimaarde water	4	250	10.000	150	2.500	40
— regeneratie sapontharding (Cl ⁻ -houdend)	5	300	2.000	300	600	90
— condensaat	25	1.500	200	200	300	300
— condensorwater (in circulatie)	500	30.000	200	50	500	100

Totaal 140 x 10² 6 x 10²

heffing (gesaneerd, ongezuiverd): $\frac{140 \times 10^2 + 4,57 \times 6 \times 10^2}{0,18} = 93.000$ i.e. of 15 i.e. per ton verwerkte
84 % afkomstig van CZV; 16 % van N idem ongesaneerd: 75 i.e. bieten per dag

heden en de samenstelling is opgenomen in tabel I.

Transport en waswater van de bieten

De aanhangende akkergrond wordt door wassen zoveel mogelijk verwijderd. Grof materiaal (blad, onkruid, stenen etc.) wordt door zeven en andere mechanische behandelingen verwijderd. Veel meer problemen geven de opgeloste verontreinigingen. Een biet is nu eenmaal een levend weefsel, opgebouwd uit plantencellen. Het massale gemechaniseerde proces van oogsten en transport (bruto 100.000 ton per dag) maakt een vrij ruwe behandeling vrijwel onvermijdelijk. Breuken en kneuzingen zijn normaal. Ook bij het wassen treden op nieuw beschadigingen op. Het celsap uit de beschadigde cellen komt in het water terecht en vormt de belangrijkste bron van verontreiniging met organische stof (CZV) van een suikerfabriek.

Schuimaardewater

Het CaCO₃ neerslag bevat suiker en ander organisch materiaal uit het sap. Bij de opslag van de natte filterkoek ontstaat door vochtafscheiding en regen een relatief kleine hoeveelheid sterk verontreinigd afvalwater.

Regeneratie sapontharding

Bij de regeneratie van de ionenwisselaars moet eerst het sap door water worden verdrongen. Het is niet mogelijk dit volledig te doen. Het mengsel van spoelwater en chloridehoudende regeneratie-oplossing vormt een problematisch afvalwater.

Condensaat en condensorwater

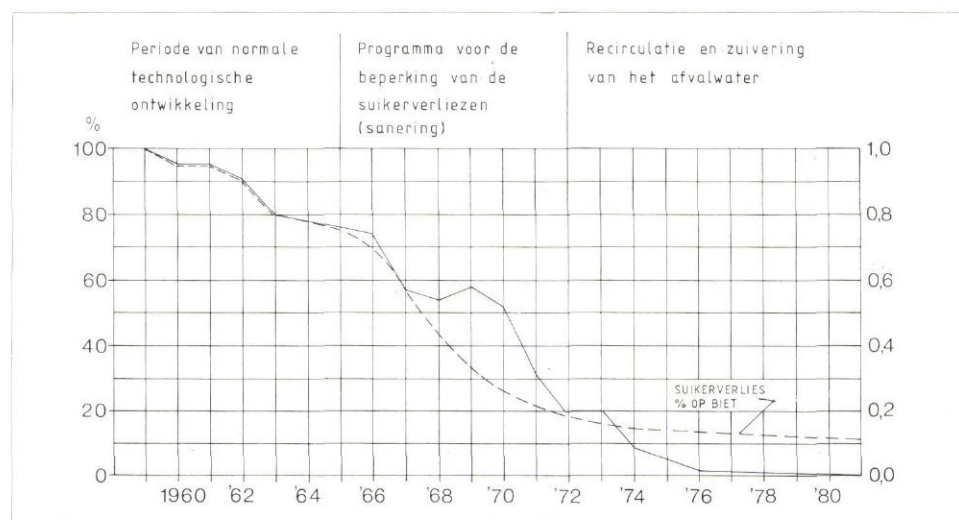
Bij het indampen van de suikeroplossingen gaat niet alleen waterdamp over naar het condensaat. Dunsap bevat enkele honderden mg/l ammoniak, afkomstig van amide-splitsing in het alkanische sap. Vluchtige stoffen zoals ajijszuur en kleine hoeveel-

heden sap (nevel die de sapvangers passeert) zorgen voor een lichte organische verontreiniging van het condensaat. Bij de kristallisatie worden de dampen in mengcondensators neergeslagen. Het condensaat wordt daarbij gemengd met het condensorwater.

Onder tabel I is een berekening uitgevoerd over de totale vervuiling van alle afvalwater.

Een gemiddelde Nederlandse suikerfabriek, die 6000 à 7000 ton bieten per dag verwerkt, zou na sanering, doch zonder enige zuivering, ongeveer 100.000 i.e. aan watervervuiling produceren. Dat is 15 i.e. per ton verwerkte bieten per dag. Daarvan is 16 % afkomstig van de ammoniakstikstof. Zo'n 20 jaar geleden, toen de fabrieken nog niet gesaneerd waren, was de totale vervuiling ca. vijfmaal zo hoog. De sanering heeft echter vrijwel alleen betrekking op suikerverliezen. Oorspronkelijk was het stikstofaandeel dus niet meer dan 4 %, en nauwelijks de moeite waard om aandacht aan te besteden.

Afb. 3 - Watervervuiling CSM suikerfabrieken.



In de huidige toestand echter, waar steeds meer CZV via anaerobe zuivering wordt verwijderd, stijgt het aandeel van de stikstof in de restvervuiling tot boven de 50 %.

Het belang van stikstofverwijdering wordt dus relatief steeds groter.

4. Interne sanering, recirculatie en zuivering

Deze paragraaf geeft weer 'wat de industrie doet'. Het resultaat kan bekeken worden in afb. 3. De getrokken lijn geeft aan dat de watervervuiling van de suikerfabrieken van de CSM op dit moment is teruggebracht tot minder dan 0,5 % van de oorspronkelijke.

Hoe is het mogelijk geweest om dat te bereiken?

Daarbij springen drie belangrijke technologische ontwikkelingen naar voren:

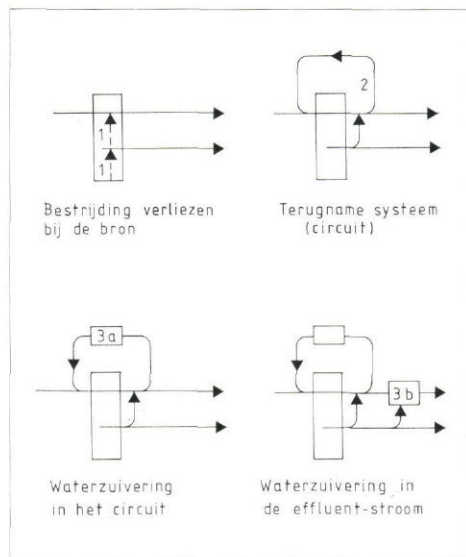
— een gericht programma van bestrijding van suikerverliezen (interne sanering, paragraaf 4.1.)

— het ontwerpen van een geïntegreerd watersysteem met een maximum aan hergebruik (recirculatie, paragraaf 4.2.)

— de ontwikkeling van de anaerobe zuivering (paragraaf 4.3.2.).

4.1. Interne sanering

Uit afb. 3 is af te lezen hoe deze in de tijd heeft plaatsgevonden. Tot 1965 is op de lozing bezuinigd, in hoofdzaak door overgang op continue werkwijzen. De grote interne sanering in de periode daarna, tussen 1965 en 1972 is voor de helft bereikt door de overgang van batterij – diffusie op continue extractie van de bietensnijdels. De andere helft is te danken aan doelgerichte verliesbestrijding. Nauwkeurige metingen met een mobiele auto-



Afb. 4 - Ontwikkeling watersystemen.

analyzer toonden de verliesbronnen aan, en maakten de bedrijfsleiding bewust van de mogelijke besparingen: 0,1 % suiker-verlies betekent voor een fabriek van 7000 ton bieten per dag en 100 campagnedagen 700.000 kilogram suiker, met een waarde (in de ingekochte bieten) van een half miljoen gulden per jaar, ongerekend de zuiverings- c.q. lozingskosten. In 1972 was met de interne sanering wel bijna het maximum bereikt. We hebben echter in paragraaf 3 gezien dat er een restverlies overblijft, afkomstig van beschadigingen aan de verwerkte bieten.

Bewuste vermindering van deze beschadiging door toepassen van kortere valhoogten en betere wasapparatuur hebben het verlies ook na 1972 nog geleidelijk doen dalen van 0,20 tot onder de 0,15 %. Daarbij is 0,1 % wel de limiet. Verdere verlaging zou alleen mogelijk zijn door ontwikkeling van andere oogst- en transportmethoden. Daarbij speelt ook de hoeveelheid tarra een rol: een schonere biet behoeft minder intensief te worden gewassen [1, 2].

4.2. Recirculatie

Het toenemende verschil tussen de (gestippelde) verlieslijn in afb. 3 en de (getrokken) lijn van de vervuiling, in de laatste periode na 1972, is te danken aan recirculatie en waterzuivering, toegepast in een geïntegreerd watersysteem. De opbouw van zo'n systeem wordt schematisch weergegeven in afb. 4:

Bij 1 zien we de oorspronkelijke fabriek met eenmalig gebruik en lozing van ingetrokken water (bovenste pijl) en produktie van condensaat (onderste pijl). In deze toestand kan alleen bezuinigd worden door de suikerverliezen 1 te minimaliseren. Bij 2 zien we een begin van hergebruik, dat echter spoedig gepaard zal gaan met

ophoping van de vervuiling tot schade van onszelf en van de bureu. Logische consequentie is de interne zuivering 3a, die het terugnamesysteem in goed bruikbare toestand moet houden. Het water hoeft daarbij niet aan hoge eisen te voldoen, mits het maar bruikbaar blijft voor het eigen bedrijf bijv. om bieten mee te wassen.

Heel anders is het bij de lozing in het milieu, waar we te maken hebben met lozingseisen en heffingen. De eindzuivering 3b is dus principieel van een ander type dan 3a.

3a: hoge belasting, effluent intern bruikbaar

3b: lage belasting, stikstofverwijdering, effluent met lage kosten te lozen.

Het geïntegreerde watersysteem dat aldus ontstaat, wordt weergegeven in afb. 5:

1 is het terugnamesysteem voor transport- en waswater. Hierin speelt de anaerobe zuivering een belangrijke rol;

2 het koelcircuit, omvat de condensors en de koeltoren of koelvijver;

3 zijn condensaat- en koelwaterstromen uit de fabriek, die te sterk vervuild zijn om zonder meer te lozen;

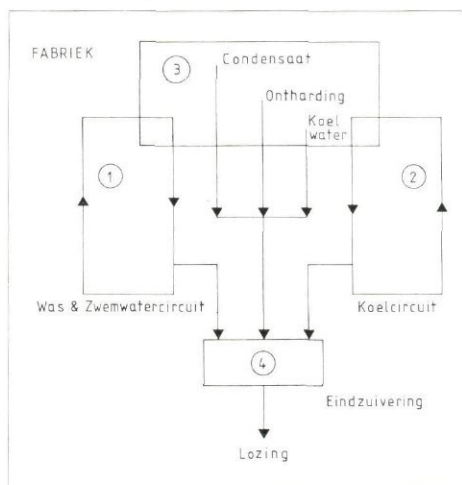
4 is dan de eindzuivering die de effluënten van 1, 2 en 3 moet kunnen verwerken.

4.3. Zuivering

4.3.1. Beluchtigingsvijvers

Toen de CSM in de 70'er jaren met toenemende heffingen werd geconfronteerd, moest snel een begin worden gemaakt met waterterugnamsysteem. Een zuiveringssysteem, dat de zware vuilast van 10 tot 20 ton CZV per dag efficiënt zou kunnen verwerken, was niet voorhanden, en zo werd gekozen voor een tijdelijk systeem met beluchtigingsvijvers, voorzien van drijvende oppervlakte-beluchters.

Afb. 5 - Principe van de watersystemen bij CSM.



Daarbij werd wel hinder ondervonden van de opbouw van oplosbare (vetzuren) en onoplosbare (bacteriën) organische stof, maar de fabrieken voelden zich genoodzaakt dit tijdelijk voor lief te nemen. Via CZV-balansen bleek het zelfs mogelijk een zekere perfectionering en optimalisatie tot stand te brengen [3].

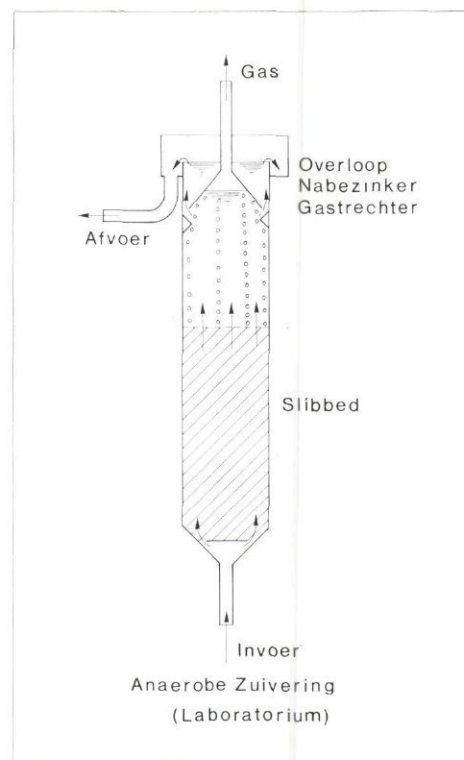
4.3.2. Ontwikkeling anaerobe zuivering

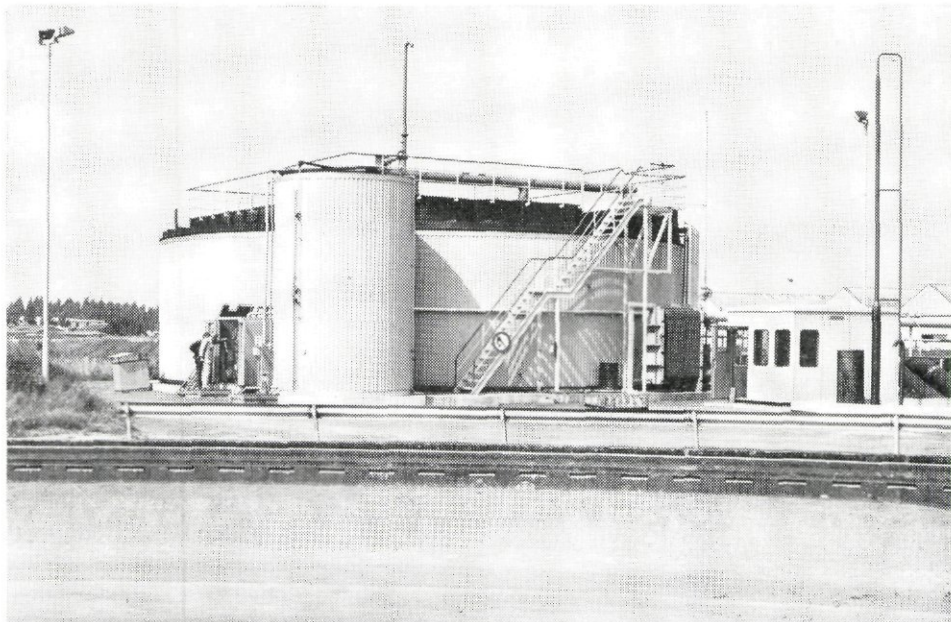
Inmiddels was Lettinga in 1971 in Wageningen begonnen het principe van anaerobe zuivering met methaangisting op laboratoriumschaal uit te testen.

Proeven met afvalwater uit het was- en zwemwatersysteem van de CSM in 1972 en 1973 toonden aan dat de opgehoopte vetzuren het specifieke voedsel waren voor de methaanbacteriën, en voor nagenoeg 100 % werden verwijderd.

CSM en Wageningen zetten de proeven voort op pilot-plant schaal (6 m³) in 1974 en 1975, waarbij nog gunstiger resultaten werden verkregen dan op het laboratorium. Dat was te danken aan de vorming van snel bezinkend korrelig slib, dat in hoge concentratie in de reactor kon worden gehouden. Anders dan bij aerobe systemen waar steeds een derde fase (luchtzuurstof) nodig is, kan bij een anaerobe reactor worden volstaan met het influent in aanraking te brengen met het biologisch slib. Zo konden met de hoge slibconcentraties ook ongedacht hoge capaciteiten worden

Afb. 6 - Anaerobe laboratorium-reactor, waaraan alle onderdelen te zien zijn, die ook in de grote reactoren aanwezig zijn.





Afb. 7 - Industriële anaerobe reactor van 1300 m³, CSM-suikerfabriek Breda.

bereikt (omzettingen tot 30 kg CZV per m³, d.) (afb. 6).

Naar aanleiding hiervan werd in samenwerking met TH Delft (ir. R. R. van der Meer) en met overheidssubsidie een schaalvergrotingsprogramma opgezet: 1976 – 30 m³; 1977 – 200 m³. De reactor van 200 m³ was bedoeld als praktijktest en tegelijk demonstratieproject. Aan de officiële ingebruikstelling door de Directeur Generaal Milieuhygiëne ir. W. C. Rey, is door het tijdschrift H₂O uitvoerige aandacht besteed [4].

Meteen het jaar daarop (1978) werd de eerste industriële installatie in Halfweg gebouwd, en nu zijn 5 van de 10 Nederlandse suikerfabrieken hiermee voorzien (afb. 7). Daarnaast zijn op dit moment in binnen- en buitenland bij allerlei agrarische industrieën nog een 20-tal installaties in gebruik of in aanbouw. De totale capaciteit van deze 25 installaties bedraagt ruim 2 miljoen i.e. De potentiële gasproductie is meer dan 150.000 m³ methaan per dag.

Het succes en de snelle penetratie van deze nieuwe technologie zijn te danken aan een aantal specifiek *gunstige eigenschappen*:

— Energie.

Per kg omgezette CZV vraagt een actief slibproces 0,5 tot 1,5 kWh voor beluchting. Een methaanreactor levert 3 kWh verbrandingsenergie.

— Capaciteit.

Per volume-eenheid is de capaciteit 6 tot 10 keer zo hoog als bij een actief slibinstallatie.

— De investeringskosten zijn een factor 4 tot 6 kleiner.

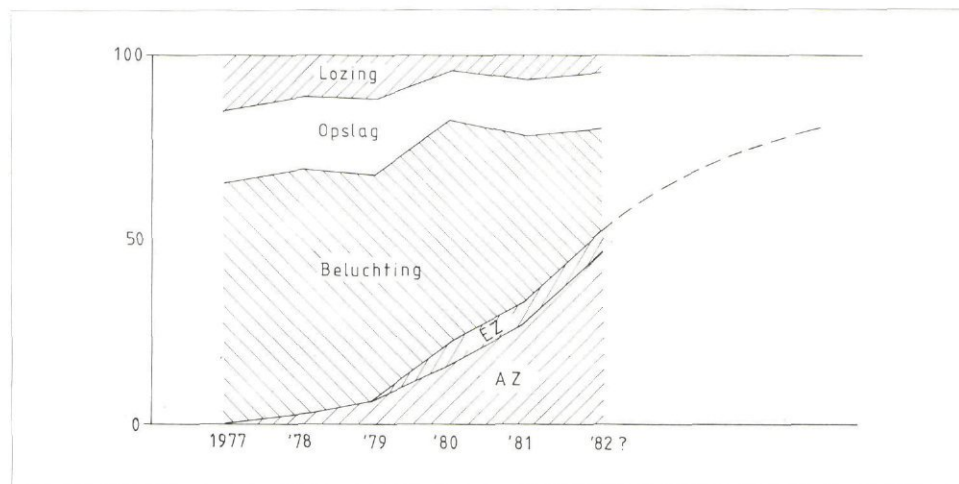
— De jaarkosten zijn bij volledig gebruik van het methaangas vrijwel nihil.

— De slibproductie is 1/5 à 1/10 van die van een aerobe installatie. Tot nu toe wordt bijna alle surplus-slib gebruikt voor het opstarten van nieuwe installaties.

— Het slib kan korter of langer ongevoed worden bewaard, en wordt daarna bij belasting direct weer actief. Een campagnebedrijf zet de reactor dus rustig 9 maanden stil. Belastingsschommelingen worden geruisloos opgevangen door het aanwezige slib.

— De reactor vraagt dan ook nauwelijks enige bediening: men registreert het influent-debiet, pH, temperatuur en gasproductie. Alleen als deze waarden buiten het ingestelde traject komen is ingrijpen nodig.

Afb. 8 - De totale watervervuiling met oplosbaar organisch materiaal wordt verdeeld over zuivering, opslag in het systeem en lozing. Zuivering door beluchtingsvijvers, anaerobe zuivering (AZ) en aerobe eindzuivering (EZ).



4.3.3. Aerobe eindzuivering

We hebben gezien dat als afsluiting van het geïntegreerde watersysteem een aerobe nazuivering nodig is, waarbij ook de ammoniakstikstof wordt verwijderd. Zowel op laboratoriumschaal, als in praktijkinstallaties blijkt het goed mogelijk alle effluënten van een suikerfabriek op deze wijze te zuiveren.

Nitrificatie verloopt evengoed als bij huishoudelijk afvalwater, er is voldoende organische stof beschikbaar voor de reductie via denitrificatie van het nitraat. Een jaarlijks toenemend aantal Nederlandse suikerfabrieken wordt van een dergelijke eindzuivering voorzien. De meeste anderen weten zich nog te behelpen met een eenvoudige nabeluchting in een vijver.

4.4. Het lot van de organische watervervuiling

In tabel I is reeds aangegeven uit welke bronnen de totale organische vervuiling van een suikerfabriek afkomstig is. Waar deze organische stof tenslotte blijft, is te zien in afb. 8.

In 1977 werd ongeveer 2/3 gedeelte afgebroken door de oppervlaktebeluchters, terwijl de rest werd geloosd, of opgeslagen in het watersysteem en in de gedeponeerde tarra.

De daarna ontwikkelde zuiveringssystemen: anaerobe zuivering (AZ) en aerobe eindzuivering (EZ) zullen dit jaar reeds meer dan de helft voor hun rekening nemen, terwijl de lozing is gedaald tot enkele procenten. Het aandeel van AZ + EZ zal op den duur vermoedelijk stijgen tot 80 à 90 %.

5. Toekomstverwachting

In de voorafgaande paragrafen is uiteengezet hoe ter vermindering van de be-

lastig van het water met organische stoffen een systematisch programma is afgewerkt, waarbij aan interne sanering voorrang is gegeven boven zuivering. De belasting met stikstofverbindingen echter, is tot nu toe vrijwel uitsluitend met biologische zuivering bestreden en niet via bestrijding bij de bron. Voor de chloride-houdende oplossingen afkomstig van het regenereren van de

sapontharding, is bestrijding bij de bron de enige mogelijkheid.

Er is nu door het Centraal Laboratorium van de CSM te Breda (dr. ir. P. W. van der Poel) een werkwijze voorgesteld, om het proces zodanig aan te passen dat beide verontreinigingen ammoniak en chloride, bij de bron worden bestreden. Het principe hiervan kan worden verklaard met behulp van de afb. 9a en b.

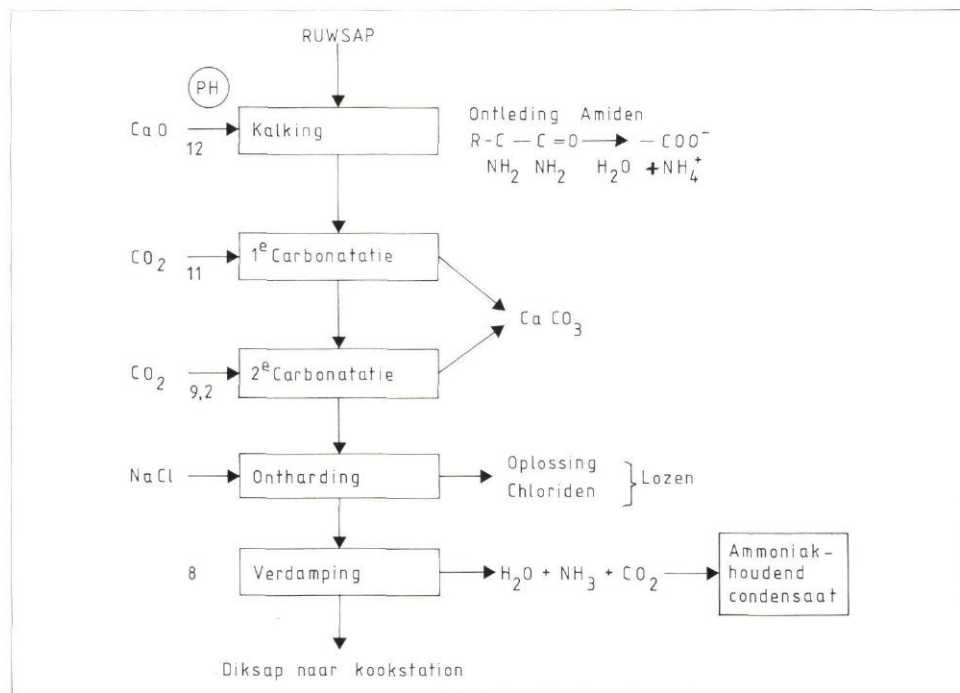
Afb. 9a geeft de huidige werkwijze bij de sapzuivering: in de hoofdkalking worden bij $\text{pH} = 12$ en temperatuur $= 85^\circ\text{C}$ de amiden uit het ruwsap gesplitst, waarbij ammoniak vrijkomt. Met CO_2 wordt de pH in twee trappen verlaagd tot 9,2 waarbij het CaCO_3 neerslag wordt afgefilterd. In de verdamping ontwijkt ammoniak, waardoor de pH verder daalt. Om daarbij te voorkomen dat kalk op de verwarmende oppervlakken neerslaat, is voorafgaande ontharding noodzakelijk.

In afb. 9b is aangegeven hoe het condensaat gestript wordt, waarbij een geconcentreerde oplossing van ammonium-carbonaat ontstaat. Deze wordt gedeeltelijk in het sap van de tweede carbonatatie teruggebracht, zodanig dat de hoge carbonaatconcentratie de hardheid van het sap zo ver terugdrukt, dat de ontharding geheel of grotendeels overbodig wordt.

Het niet teruggevoerde ammonium-carbonaat vertegenwoordigt de netto productie van de fabriek en kan worden afgevoerd en gebruikt als meststof.

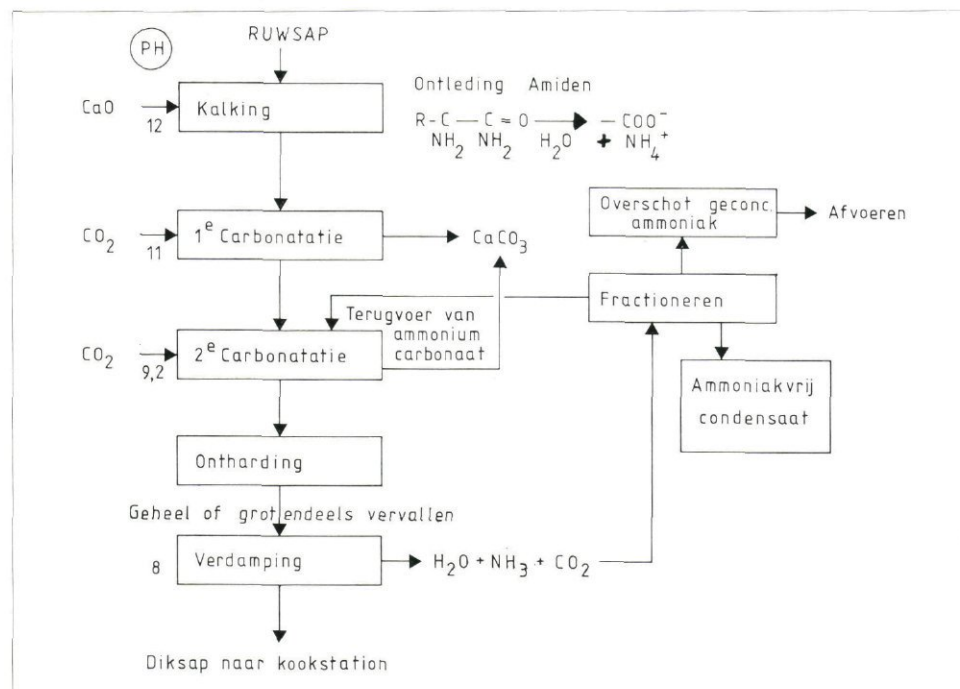
Alle beschreven processen bevinden zich in het ontwerp-stadium. De consequenties voor het suikerbedrijf worden reeds enkele jaren beproefd in de fabrieken van de CSM. De uitvoerbaarheid van het strip-proces, en met name de energetische gevolgen ervan zijn in studie bij DSM, in het kader van een gesubsidieerd project 'stoomstrippen van ammoniak' van de Werkgroep Stikstofverwijdering.

Mocht een en ander tot succes leiden, dan kan men zich een suikerfabriek voorstellen met een tweetal volledig gesloten water-circuits, en een productie van ammoniak-vrij condensaat, hetwelk als laatste fractie uit de biet kan worden afgescheiden als 'schoon water uit suikerbieten'.



Afb. 9a - Ontstaan van ammoniakhoudend condensaat en chloride oplossing bij sapzuivering en verdamping.

Afb. 9b - Mogelijke ingrepen in het proces volgens 9a, welke de verontreiniging met ammoniak en chloriden bij de bron bestrijden.



Literatuur

1. Vletter, R. de and Gils, W. van. *Influence of mechanical handling of sugarbeet on sugar yield in the factory*. The Sugar Journal, January 1976, 8 - 13.
2. Vletter, R. de and Gils, W. van. *Sugar Losses in beet washing*. International Sugar Journal 76 (1974), 233 - 236, 266 - 269.
3. Vletter, R. de and Wind, E. *COD balances as a tool in the wastewater management of sugar-factories*. CITS, 15th general assembly, Vienna, 1975. Zucker 29 (1976), 53 - 57.
4. Diverse artikelen in *H₂O 10* (1977), no. 23, blz. 526 - 533.

● ● ●