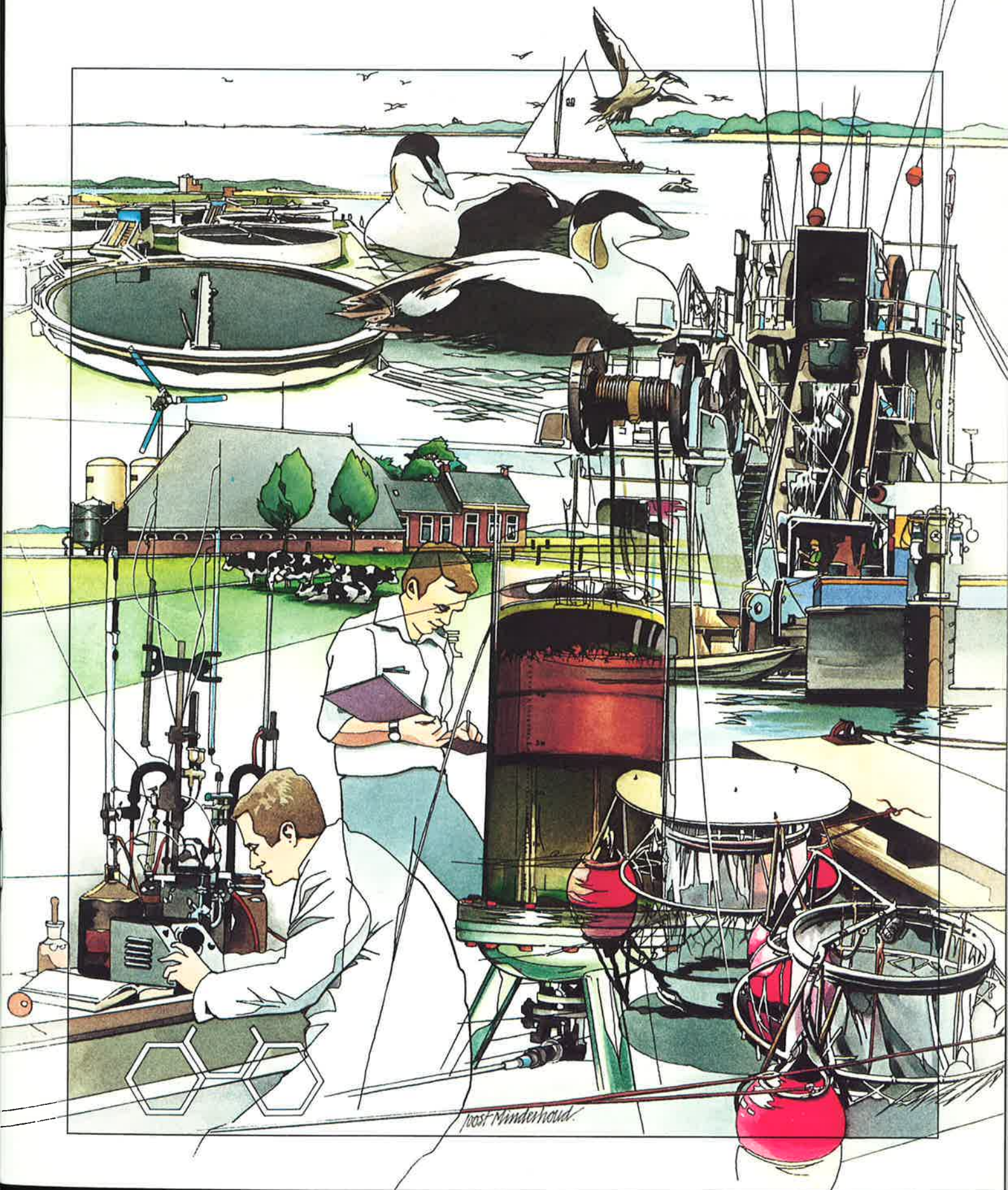


oppervlaktewater





# ten geleide

---

TNO is reeds vele jaren actief betrokken bij onderzoek op het gebied van de milieuproblematiek; dit onderzoek is van toenemend belang voor onze samenleving nu - en in de toekomst. In overeenstemming met dit belang spant TNO zich in om een bijdrage te leveren aan het oplossen van de vele vraagstukken waarvoor wij ons gesteld zien. In de laatste jaren is het besef gegroeid dat er een samenhang en wisselwerking bestaat tussen de processen en verschijnselen die het leefmilieu

bepalen. In de meeste gevallen is een samenhangende aanpak geboden waarbij rekening moet worden gehouden met de eisen die het beheersen van de kwaliteit van lucht, water en bodem stelt aan een verantwoord milieubeleid. Een volledig overzicht van onze activiteiten op het gebied van milieu-onderzoek kunt u vinden in de TNO-brochure "Milieu". In deze brochure willen wij U meer in het bijzonder kennis laten maken met onze activiteiten op het gebied van de

kwaliteitszorg van het oppervlaktewater, een gebied waar TNO eveneens vele jaren bij is betrokken. Het betreft onderzoek op het terrein van de opsporing, kwantificering en de sanering van waterverontreiniging. Mocht u nadere informatie wensen dan vindt U op pagina 24 een lijst met namen van contactpersonen en adressen. U kunt daar alle gewenste inlichtingen verkrijgen. Ook zijn wij gaarne bereid om een afspraak te maken voor een vrijblijvend oriënterend gesprek.

## *Inhoudsopgave*

Ten geleide	2
A. Water voor de samenleving	3
B. Oppervlaktewater	4
<i>b1. Algemene milieuaspecten</i>	4
<i>b2. Beleidsaspecten</i>	5
C. Effecten en lotgevallen	7
<i>c1. De praktijksituatie</i>	7
<i>c2. Laboratoriumonderzoek</i>	8
<i>c3. Model-ecosystemen</i>	10
<i>c4. Schakel tussen toets en praktijk</i>	12
<i>c5. Biomonitoring</i>	12
D. Beoordelen van een lozingssituatie	14
E. Baggerslib	15
F. Huishoudelijk en stedelijk afvalwater	16
G. Behandelen van industrieel afvalwater	19
H. Afvalwater van de voedingsmiddelenindustrie	21
I. Afvalwater van veehouderijbedrijven	23
Adressen van contactpersonen	24

## A. water voor de samenleving

---

Water is een onmisbaar element voor de natuur en de mens. Het vormt een wezenlijk bestanddeel van alle levende wezens, en is essentieel voor hun voortbestaan, reden waarom ze water uit het milieu opnemen. Voor vissen en vele andere organismen is water het leefmilieu. De drinkwatervoorziening is van vitaal belang voor mens en dier, en voor de land- en tuinbouw. Water is belangrijk als grondstof voor en transportmiddel in onze industrieën en als transportweg voor de scheepvaart. Het oppervlakte-

water is zeer belangrijk bij de waterhuishouding van Nederland. Ook vervult het een belangrijke functie in het gevoelsleven van mensen, onder andere bij de openluchtrecreatie.

Door menselijke activiteiten kan het water verontreinigd worden waardoor het minder geschikt is voor een van de bovengenoemde functies.

De verontreiniging kan zowel direct plaatsvinden door lozing van afvalstoffen op oppervlaktewater, alsook indirect bijvoorbeeld door depositie van in de

lucht aanwezige verontreinigingen of door opname van stoffen uit allerlei gestorte afvalstoffen.

Overheid en industrie hebben samen tot taak de kwaliteit van het oppervlaktewater op een zodanig peil te handhaven dat essentiële functies niet worden aangetast. Deze kosten zouden vergeleken moeten worden met de kosten die nu gemaakt worden voor het zuiveren van oppervlaktewater, voor de bereiding van drinkwater of bevoeiingswater. Er kunnen dan vele honderden miljoenen



## B. oppervlaktewater

### *b1. algemene milieuaspecten*

guldens worden bespaard. TNO is al vele jaren actief betrokken bij onderzoek voor de industrie en de overheid om hen in deze taak te ondersteunen.

Eenzijds wordt informatie geleverd om het waterkwaliteitsbeleid te onderbouwen, anderzijds worden technieken ontwikkeld om praktische maatregelen te kunnen uitvoeren.

In de volgende hoofdstukken zal besproken worden op welke wijze deze activiteiten binnen TNO vorm krijgen.

De kwaliteit van oppervlaktewater is afhankelijk van de hoeveelheid en de aard van de daarin voorkomende stoffen. Deze kunnen daarin "van nature" voorkomen of daarin door de activiteiten van de mens zijn terechtgekomen.

De mate van verontreiniging wordt niet alleen bepaald door lozingen, depositie of opname uit gestort afval maar ook door de lotgevallen van die stoffen in tijd en ruimte. Zij komt in het bijzonder tot uiting in het effect op de biologische systemen.

Grote delen van ons oppervlaktewater worden voortdurend belast met milieuvreemde stoffen die in relatief lage concentratie voorkomen. Dit kunnen toxische stoffen zijn maar ook nutriënten zoals fosfaat, nitraat, ammonium of goed afbreekbare organische verbindingen. Een overmaat aan voedingsstoffen leidt tot ongewenste eutrofiëringsverschijnselen.

Verontreinigingen hechten zich vaak bij voorkeur aan gesuspendeerd materiaal zoals slibdeeltjes en plankton, dat door

boven:

*Zodra de zomerse warmte voelbaar wordt veranderen vele sloten en plassen in een dicht met algen bedekt oppervlak, veroorzaakt door een teveel aan voedingsstoffen zoals fosfaten en nitraten. Deze zogenaamde eutrofiëring heeft vele ongewenste gevolgen.*

onder:

*Het transport van verontreinigd materiaal zoals slibdeeltjes en plankton heeft tot gevolg dat in sedimentatiegebieden, bijvoorbeeld in havens en riviermondingen, onder invloed van vertraagde stroomsnelheden en soms van een verhoogde zoutconcentratie, verontreinigd sediment wordt afgezet.*



## *b2. beleidsaspecten*

rivieren stroomafwaarts wordt getransporteerd.

Ook de opbloei en de sterfte van plankton speelt bij sedimentatieprocessen mogelijk een belangrijke rol. In het sediment levende organismen zoals tubificiden, wormen en schelpdieren kunnen de met het sediment uitgezakte verontreinigingen weer mobiliseren en zo in de voedselketen brengen.

Het voeren van een efficiënt milieu-beleid behelst het tegengaan van verdere uitbreiding van de vervuiling en het saneren van niet toelaatbare situaties.

Het vergunningenbeleid van de overheid heeft als primaire doelstelling het verminderen van de verontreiniging van het oppervlaktewater. Bij het opstellen van deze criteria moet men dus rekening houden met het beschermen van de aquatische ecosystemen. Men streeft ernaar om deze ecosystemen zo min

mogelijk te verstoren en de "natuurlijke samenstelling" en soortenrijkdom in water en sediment te handhaven. Anderzijds moeten ook andere maatschappelijke functies van het water in het oog worden gehouden. Een zekere beïnvloeding van deze ecosystemen zal echter niet altijd te voorkomen zijn. Deze moet dan binnen zekere grenzen blijven en dus voorspelbaar zijn. Als beheersmaatregelen hanteert men algemene regelingen en een vergunningstelsel voor specifieke



*Het terugdringen van verontreiniging moet aan de bron beginnen.*

doeleinden. In de algemene internationale regelingen worden de zogenaamde zwarte en grijze lijsten gehanteerd. Stoffen die op de "zwarte lijst" voorkomen mogen in het geheel niet geloosd en/of gestort worden. Voor "grijze lijst" stoffen geldt dat ze slechts onder zekere beperkingen geloosd mogen worden. Een goede afweging van alle belangen die bij de verontreiniging en sanering van ons oppervlaktewater een rol spelen is alleen mogelijk indien de effecten van geloosde stoffen op de aquatische

ecosystemen bekend zijn. Voor de effectuering van het beleid dient men te beschikken over adequate toetsmethoden om de milieutoxicologische consequenties van het lozen van afvalstromen, -stoffen en -produkten te kunnen vaststellen. Tevens moet men in staat zijn om de milieubelasting in (mogelijk) bedreigde gebieden te kunnen taxeren. Hierbij worden vaak biomonitoring-technieken toegepast. TNO is reeds vele jaren actief in de ontwikkeling en uitvoering van inter-

nationaal erkende standaard-toetsmethoden en biomonitoring-technieken. De waterbeherende instantie staat dan voor de moeilijke taak om sociaal-economische, technologische en biologische aspecten tegen elkaar af te wegen. Wat betreft de kwantificering van de milieutoxicologische aspecten is het dus een vereiste dat het niveau van nauwkeurigheid en relevantie overeenstemt met dat van de overige aspecten die in de belangenafweging aan de orde komen.

**linksboven:**

*Het zoveel mogelijk handhaven van de "natuurlijke" samenstelling en soortenrijkdom.*

**rechtsboven:**

*"Anderzijds moeten ook andere maatschappelijke functies van het water in het oog worden gehouden".*

**onder:**

*Biomonitoring met mosselen op een van onze rivieren. Uit de toename van het gehalte aan een bepaalde stof in de mossel kan men een beeld krijgen van de biologische beschikbaarheid van die stof. Deze is meestal veel lager dan de totale concentratie ervan in het water.*



## C. effecten en lotgevallen

### c1. de praktijksituatie

De verontreiniging van water betekent in de praktijk dat mengsels van milieubelastende stoffen terechtkomen in gecompliceerde biologische systemen (ecosystemen). Naast de effecten van deze mengsels op individuele organismen worden ook de complexe wisselwerkingen tussen de verschillende organismen binnen ecosystemen beïnvloed. Vooral deze wisselwerkingen zijn van vitale betekenis voor het functioneren van deze ecosystemen. Het vaststellen van zulke effecten tegen een achtergrond

met een sterke natuurlijke variatie is dermate gecompliceerd, dat men niet kan verwachten dat de ecotoxicologie, een wetenschap die nauwelijks twee decennia oud is, hiervoor kant en klare oplossingen heeft.

De actuele situatie vraagt in een aantal gevallen echter dringend om sanering. Deze zal dan op basis van de bestaande milieutoxicologische kennis moeten worden uitgevoerd.

Om deze reden worden veelvuldig standaard-laboratoriumtoetsen uit-

gevoerd, waarbij in elke toets slechts sprake is van één toetsorganisme. Ook wordt de omzetting van stoffen in het milieu (biodegradatie en speciatie) onder laboratoriumomstandigheden bepaald. Om enigermate tegemoet te komen aan de grote verschillen tussen laboratorium- en veldsituatie worden, bij het schatten van toelaatbare niveau's van verontreinigingen, veiligheidsfactoren geïntroduceerd.

Daarnaast worden experimenten uitgevoerd in model-ecosystemen, waarbij



boven:

*Voor het volgen van de lotgevallen van een stof tijdens laboratoriumexperimenten en in het veld zijn nauwkeurige analyses vereist. De foto toont een volautomatische hogedruk-vloeistofchromatograaf (HPLC) waarmee bijvoorbeeld PAK's tot het ppb-niveau kunnen worden aangetoond.*

links onder en rechts onder:

*Zoöplankton is evenals het Fytoplankton een essentiële schakel in voedselketens in aquatische ecosystemen. Tot het zoöplankton behoort een aantal soorten die gemakkelijk kunnen worden gehouden. Voorbeelden hiervan zijn de watervlo, Daphnia magna (links onder) en het raderdiertje, Brachionus rubrens, (rechts onder) die dan ook in laboratoriumtesten gebruikt worden.*





min of meer stabiele levensgemeenschappen onder semi-veldcondities aan verontreinigingen worden blootgesteld. Hiermee kan dan inzicht worden verkregen in de onder echte veldcondities te verwachten biodegradatie van stoffen en de invloed van verontreinigingen op biologische wisselwerkingen binnen deze ecosystemen. De analyse van de effecten in model-ecosystemen is vaak veel moeilijker dan bij standaardtoetsen. Het aantal organismen dat bij deze effectenstudies

kan worden betrokken is nog steeds om praktische redenen enigszins beperkt. Willen wij dus tot een meer adequate vorm van milieutoxicologie komen dan is een verdieping van het inzicht nodig in de wisselwerkingen binnen deze ecosystemen, in de vormen waarin verontreinigingen erin voorkomen en in de biochemische activiteiten van deze vormen in de biologische sleutelprocessen. TNO is op al deze gebieden van onderzoek, soms al vele jaren, actief en zal dit ook in de toekomst blijven.

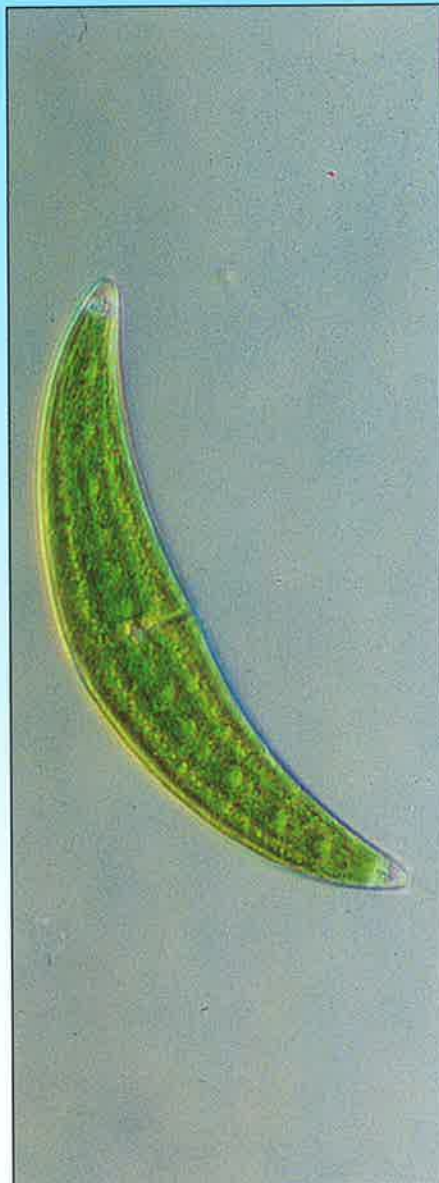
De belangrijkste parameters bij het milieutoxicologisch onderzoek zijn: toxiciteit, accumulerend vermogen, biologische afbreekbaarheid en biologische beschikbaarheid. Deze gegevens zijn essentieel om te kunnen voorspellen welke effecten bij lozing van milieubelastende stoffen verwacht moeten worden. Van stoffen, die in het laboratorium acuut toxische eigenschappen vertonen, zal gebruik en lozing of moeten worden verboden of in hoge mate moeten worden

links:

*De sieralg, Closterium leibleinii, is in tegenstelling tot de meeste andere sieralgen nog redelijk bestand tegen organische vervuiling. De alg kan een lengte van 0.1-0.25 mm bereiken.*

rechts:

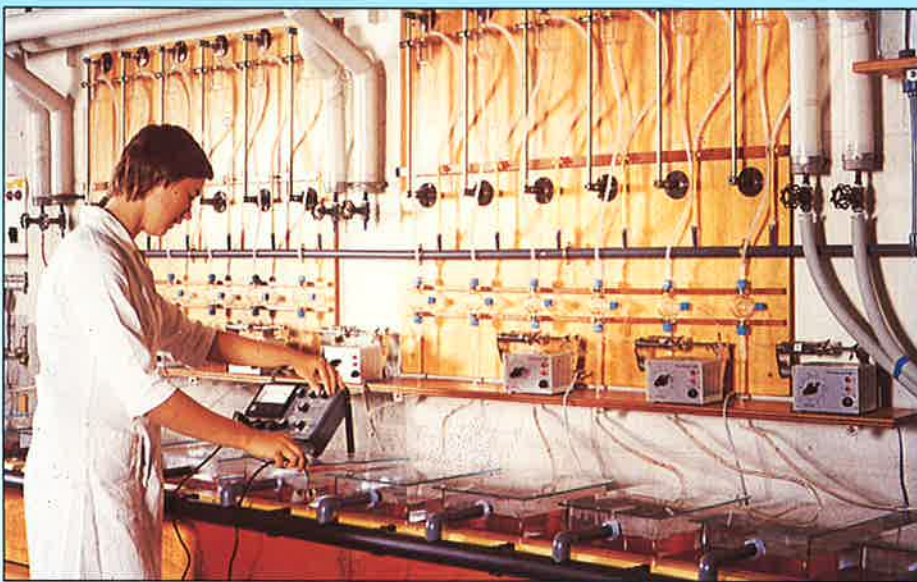
*De kiezelalg, Eunotia robusta heeft net als de andere kiezelwieren (diatomeeën) kiezel nodig om de schalen te maken waar hij in woont. Deze zijn op de foto goed te zien evenals de kern (in het midden) en de merkwaardig gevormde chloroplasten.*



beperkt. De moeilijk afbreekbare, accumulerende stoffen zijn het sterkst milieubelastend omdat deze aanleiding kunnen geven tot lange termijn effecten. Bij de laboratoriumexperimenten wordt door TNO gebruik gemaakt van toetsorganismen als bacteriën, algen, schelpdieren en vissen. TNO heeft vele tientallen soorten micro-organismen in het toetsenpakket. Van de hogere diersoorten (vissen, schelpdieren, kreeften) wordt er een dertigtal regelmatig gebruikt.

Er wordt gelet op effecten als sterfte, reproductie, ontwikkeling van pasgeboren organismen en gedrag. Ook de invloed van verontreinigingen op omzettingen in biologische zuiveringsystemen en de hierbij optredende afbraak van deze stoffen vormen onderdeel van deze toetsen. Veelal worden genormaliseerde NEN- of OECD-methoden gevolgd en wordt er op verzoek gewerkt volgens de richtlijnen van Good Laboratory Practice (GLP). De combinatie van toxiciteitstoetsen en

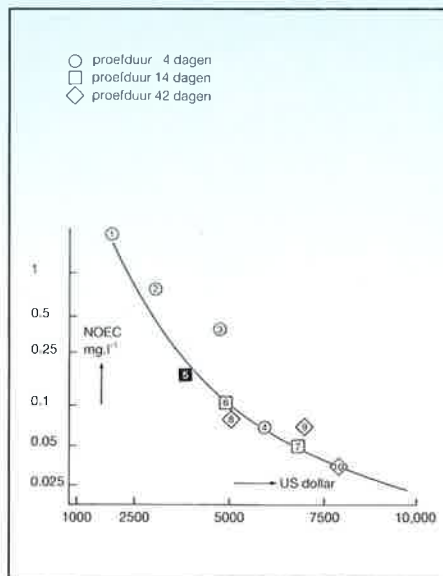
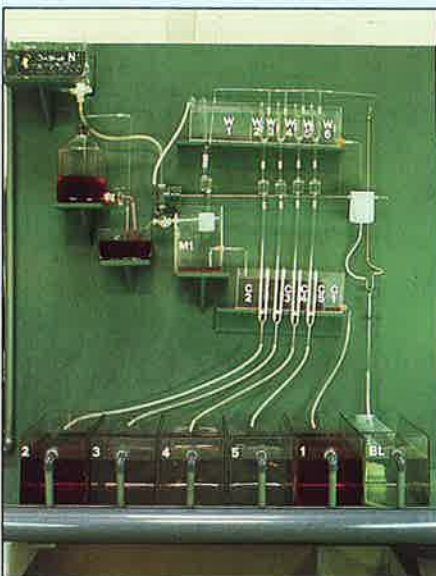
geavanceerd analytisch-chemisch onderzoek naar de opname van de stof in het toetsorganisme en de omzettingen in het toetsmedium, levert gegevens voor een eerste milieutoxicologische karakterisering. Aan de hand van deze relatief weinig kostbare laboratoriumtoetsen, kunnen effecten en lozingen, eventueel ook na toepassing van sanering of overgang op andere wijzen van lozing, worden vastgesteld.



boven:  
Voor het in stand houden van de diverse cultures zijn uitgebreide opstellingen noodzakelijk waarvan op de foto een voorbeeld te zien is.

linksonder:  
Om te kunnen beoordelen of bepaalde stoffen door organismen worden opgenomen, kan in het laboratorium gebruik worden gemaakt van zogenaamde doorstroomsystemen.

rechtsonder:  
Gemiddelde NOEC (No Observed Effect Concentrations) van toetscombinaties 1-10 tegen de kosten.  
De grafiek laat het resultaat zien van experimenten met acht verschillende stoffen, een algensoort, twee vissoorten, een schaaldiersoort, een bacterie en een diatomee. De 'Organization for Economical Coöperation and Development' (OECD) heeft een onderzoek ingesteld om tot algemeen geaccepteerde toetsen te komen. Verschillende landen hebben hieraan meegewerkt. Uit de figuur blijkt dat de OECD-basisset (No. 5) een redelijke gevoeligheid paart aan een acceptabele kostprijs.



### c3. model-ecosystemen

Een logische stap in de richting van de praktische lozingsituatie is de overgang naar experimenten in model-ecosystemen. Deze zijn echter veel kostbaarder dan laboratoriumtoetsen. Voor het uitvoeren van toetsen in model-ecosystemen maakt TNO gebruik van model-plankton- en model-wad-ecosystemen. De *model-plankton-ecosystemen* bestaan uit plankton dat in de Noordzee is verzameld en in plastic zakken van 1500 liter is overgebracht. Deze zakken zijn in de haven van Den

Helder opgehangen zodat hierin een natuurlijk licht en temperatuurregime heerst. Na het inbrengen van een toetsverbinding wordt de ontwikkeling van de planktongemeenschap gedurende 6 weken gevolgd. Naast effecten op individuele organismen kan ook de invloed op wisselwerkingen zoals bijvoorbeeld tussen het fyto- en het zoöplankton worden bestudeerd. Plankton is een essentiële schakel in de voedselketen van vele organismen en waterdieren. In *model-wad-ecosystemen*

is vooral de bestudering van effecten op sedimentbewoners aan de orde. In bakken met een oppervlak van circa 20 m<sup>2</sup> wordt een sediment van natuurlijke herkomst gebracht en voorzien van een gedefinieerd aantal organismen van relevante soorten. Hierin kan een realistisch getijdesysteem worden gesimuleerd. Het onderzoek heeft onder andere betrekking op biologische effecten in de Waddenzee. Doordat grote delen van de zoute Waddenzee in het intergetijdgebied

boven:

*De soorten organismen waarmee in het laboratorium proefresultaten worden verkregen, zijn niet altijd representatief voor het ecosysteem waarover de proeven informatie zouden moeten leveren. Een oplossing hiervoor is moeilijk te vinden doordat vele marinesoorten in het laboratorium niet goed kunnen worden gehouden. Ook is het soms moeilijk om een gemengde cultuur te kweken of te houden. Voor natuurlijke ecosystemen is echter het naast elkaar voorkomen van vele soorten met hun interacties een fundamenteel gegeven.*

*Om een brug te slaan tussen het laboratorium en de veldsituatie wordt door TNO een methode toegepast waarin althans voor een belangrijk deel aan genoemde bezwaren tegemoet wordt gekomen. De foto toont model-plankton-ecosystemen in natuurlijk zeewater. Ze zijn verankerd in de haven van Den Helder, zodat ze zijn blootgesteld aan de natuurlijke fluctuaties van temperatuur en licht.*



onder:

*Voor het onderzoek van het wad-ecosysteem wordt deze inrichting gebruikt. De modelbakken hebben afmetingen van 6 m x 3,5 m en zijn 1,2 m diep. De natuurlijke getidebeweging kan worden nagebootst door water tussen paren van bassins heen en weer te pompen. Het onderzoek wordt uitgevoerd in nauwe samenwerking met het Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) en het Rijksinstituut voor Natuuronderzoek (RIN), beide op Texel.*



liggen heeft dit ecosysteem bijzondere eigenschappen die, wat betreft het bestuderen van effecten van verontreinigingen, om een bijzondere aanpak vragen. Omdat dit gebied bijzonder kwetsbaar is, kan bijvoorbeeld het leklaan van een tanker of van een olieleiding een ware milieuramp betekenen.

Indien een dergelijke milieuramp onverhoopt plaats zou vinden dan dient de overheid over relevante informatie te beschikken over het lot en de effecten

van uitgestroomde olie en over de ecologische gevolgen van de verschillende verwijderingstechnieken (mechanisch dan wel met dispergeermiddelen).

Evenals de andere estuaria kent de Waddenzee een grote voedselrijkdom. Het gebied is de kraamkamer voor vele waterorganismen en is een fouragegebied voor vogels. De droogvallende gebieden en ondiepe geulen herbergen vele sedimentbewoners. Het onderzoek van een dergelijk getijdegebied richt zich

derhalve ook op deze aspecten van het ecosysteem.

Bij onderzoek in model-ecosystemen kunnen in vele gevallen meer relevante effecten worden waargenomen dan met standaard-toxiciteitsexperimenten. De effecten zijn bij model-ecosystemen echter minder gemakkelijk interpreteerbaar, omdat men gelijktijdig met vele soorten organismen te maken heeft.



boven:

*De foto laat het natuurlijke sediment zien dat nog niet door een olielozing is verstoord. Kenmerkend zijn de vele wormen en de kleine gaatjes afkomstig van het schelpdier *Macoma baltica* (nonnetje), dat met zijn slurfje het sedimentoppervlak aftast.*



onder:

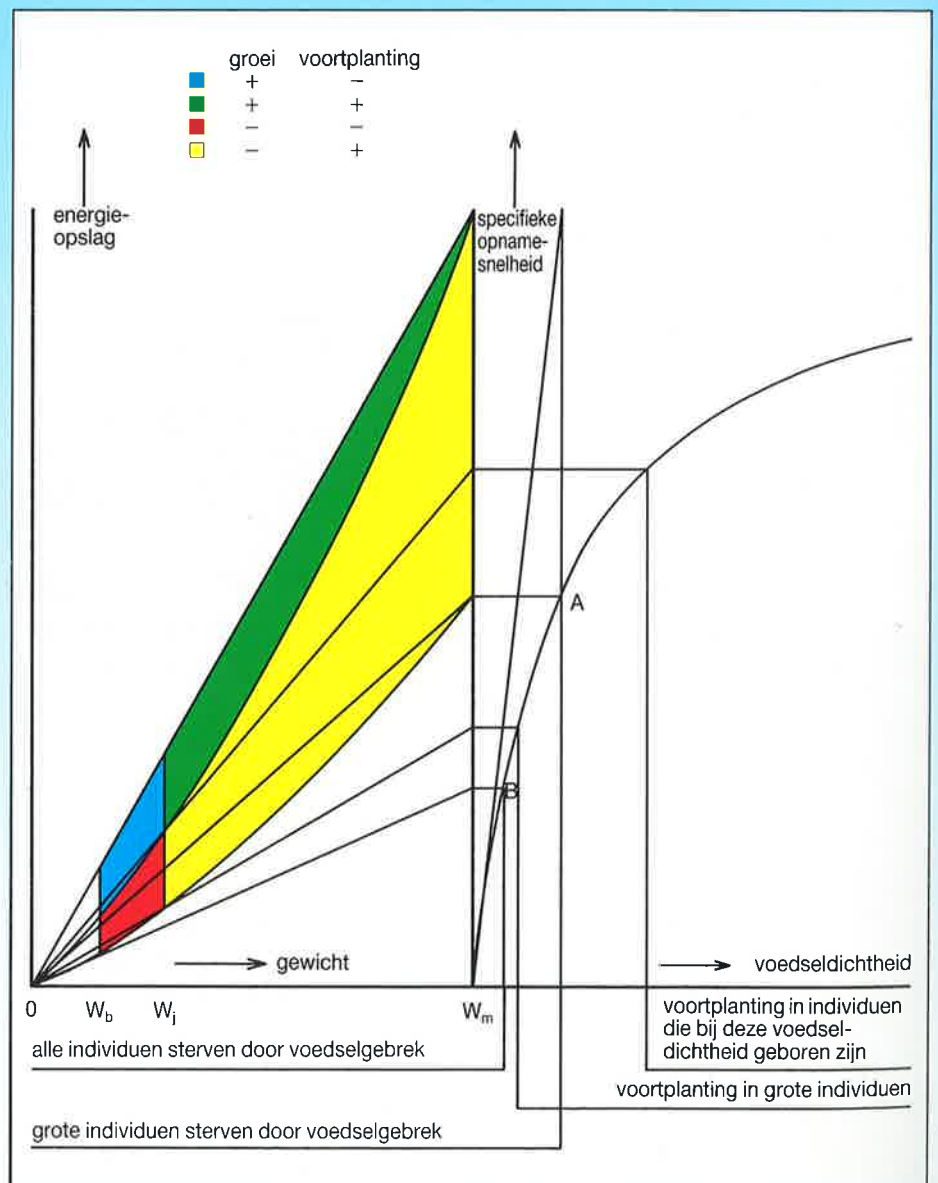
*Een (nagebootste) olielozing en de gevolgen na 6 dagen. De wormen zijn verdwenen, de gaatjes van de *Macoma baltica* zijn ook weg. De olie is door de sedimentbewoners in het sediment gewerkt. Het ecosysteem is sterk veranderd.*

Er ontbreekt een belangrijke schakel tussen de laboratorium- en veldsituatie. Als eerste stap in het onderzoek naar een model dat deze schakelfunctie zou kunnen vervullen, wordt bij TNO gewerkt aan experimenten met gestructureerde populaties van fyto- en zoöplankton (van ieder één soort); hierbij wordt nagegaan hoe het fytoplankton, het zoöplankton en de combinatie van beide reageren op natuurlijke stress-factoren (zoals voedsellimitatie) en op verontreinigingen. Een bijdrage tot de interpretatie van

effecten, gevonden met model-ecosystemen vormt het chemische onderzoek bij TNO naar de vorm waarin de verontreinigingen in het water voorkomen (speciation) en de fysische en biochemische eigenschappen in biologische sleutelprocessen.

Hoewel onze moderne analytische technieken met hun enorme gevoeligheid en selectiviteit een belangrijke bijdrage leveren aan het milieutoxicologisch onderzoek, geven zij alléén geen realistisch beeld van de actuele belasting van biologische systemen. Biomonitoring is het uitzetten van organismen in hun natuurlijke omgeving waarbij zij in aanraking komen met de daarin aanwezige verontreiniging. Het voordeel van biomonitoring is dat men de biologisch beschikbare fractie

Deze figuur toont de resultaten van een wiskundig model dat de biologische reactie beschrijft van organismen (hier de watervlo) op het aanbod van voedsel (rechter deel van de grafiek). Hierbij is aangenomen dat de voedselopname van een individu evenredig is met zijn oppervlak; een groter dier neemt meer voedsel op dan een kleiner dier. Het linker deel van de grafiek laat zien wat de gevolgen van de opname van het voedsel zijn; dit leidt tot een toename van de hoeveelheid in het individu opgeslagen energie die vervolgens kan worden omgezet in een toename van het gewicht (biomassa). In het gele gebied groeien de individuen niet meer, maar wordt alle voedsel gebruikt voor de voortplanting. In het groene gebied vindt zowel groei als voortplanting plaats. In het blauwe gebied alleen groei; in het rode gebied noch groei noch voortplanting. De grens voor grote individuen om nog te kunnen leven ligt bij een voedseldichtheid aangeduid met A; deze grens is voor alle individuen te vinden bij punt B. Dit basismodel is ontwikkeld ter onderbouwing van onderzoek naar de invloed van voedseldichtheid en toxische stress op organismen.



van verontreinigingen meet die aanleiding geeft tot de feitelijke belasting van het proefdier en dat men deze over langere perioden integreert. Eenzelfde resultaat zou bij benadering alleen kunnen worden verkregen door frequente bemonstering en chemische analyse van het milieu en men zou bovendien de relatie tussen de concentratie in het milieu en de wijze van voorkomen en de accumulatie in het toetsorganisme moeten kennen. Een belangrijk bijkomend voordeel van deze methode is dat ook

stoffen kunnen worden opgespoord, die ongeregeld of in zeer lage concentraties voorkomen, zoals bijvoorbeeld PCB's. Ze worden namelijk in het toetsorganisme tot goed analyseerbare concentraties geaccumuleerd, terwijl ze bij normale bemonstering en analyse gemakkelijk aan de aandacht kunnen ontsnappen. Door deze combinatie van chemische analyse en biologische techniek kan men een beeld krijgen van de verspreiding van de vervuiling en het niveau daarvan. Het is een uitstekend middel bij de

opsporing van prioriteitsgebieden en de evaluatie van saneringen of andere beleidsmaatregelen.



**boven:**  
*In zoetwatersystemen kan voor biomonitoring met succes gebruik worden gemaakt van het Nonnetje, *Macoma baltica*, waarvan op de foto een exemplaar is te zien.*



**onder:**  
*Voor het werken met mosselen worden veelal deze kooien gebruikt. De foto toont het binnenhalen van een kooi bij een biomonitoring studie in een van onze havens.*

## D. beoordelen van een lozingsituatie

Bij het beoordelen van een eventuele lozing moet steeds worden bedacht dat onze wateren reeds vrij zwaar zijn belast. Ook moet men rekening houden met het mogelijk ophopen van stoffen in het sediment waardoor deze op velerlei wijze weer elders in het milieu terecht kunnen komen. Accumulerende en zeer slecht afbreekbare stoffen zouden nooit in het aquatische milieu terecht moeten komen. Ze kunnen er vrijwel niet meer uit worden verwijderd; sommige accumuleren ook bij blootstellen aan lage concentraties in

het vet-weefsel van dieren. Voorbeelden waarbij ernstige problemen zijn opgetreden zijn DDT, PCB's en de DRINS. Het antwoord op de vraag of – en zo ja tot welke concentratie – een bepaalde stof op een locatie nog zal mogen worden geloosd, kan alleen worden gegeven op basis van een milieu-risicoanalyse. Deze vereist een goed en volledig inzicht in de vorm (speciation) en concentratie waarin de stof voorkomt in bijvoorbeeld het te lozen afvalwater en in het gebied waarop

geloosd zal worden. Hiervoor is een nauwkeurige *chemische analyse* vereist. Met behulp van een *verspreidingsmodel* kan vervolgens worden nagegaan wat de concentratie van de beschouwde stof zal kunnen zijn als functie van de plaats en de tijd in het desbetreffende gebied. Voor niet eerder onderzochte stoffen is vervolgens het eerder beschreven standaard-ecotoxicologisch onderzoek noodzakelijk. Eventueel aangevuld met biomonitoringonderzoek of experimenten met model-ecosystemen.

boven:

Voor het onderzoek naar de verontreiniging in een actuele situatie wordt door TNO bij voorkeur de biomonitoringstechniek toegepast. Hierbij wordt veelal gebruik gemaakt van organismen die zonder bezwaar op een vaste plaats kunnen worden gehouden, waardoor zij in aanraking komen met verontreinigingen die zowel opgelost kunnen zijn in de waterfase alsook geadsorbeerd aan kleine zwevende deeltjes. Een overzicht van organismen die voor toetsen geschikt zijn, treft u hiernaast aan.

onder:

Voor het verkrijgen van relevante gegevens moeten monsters in het natuurlijke ecosysteem worden genomen. De foto toont een meetploeg in actie tijdens het droogvallen van het wad bij onderzoek naar verontreiniging in sedimenten uit de getijdzone.

### Proeforganismen voor biomonitoring

**A. monitoring van de waterfase:**  
alle organismen die plankton  
en gesuspendeerd materiaal eten.

Noordzee, Waddenzee en Westerschelde  
– de eetbare Mossel, *Mytilus edulis*  
– de Kokkel, *Cerastoderma edule*

Zoetwatergebieden als  
Rijn, Maas, IJsselmeer, Haringvliet  
– de Zwanemossel, *Anadonta cygnea*  
– de Driehoeksmossel, *Dreissena polymorpha*  
– de Schildersmossel, *Unio spec.*

**B. Monitoring in de sedimentfase**  
(verontreinigingen komen zowel in het interstitiële water voor als aan het oppervlak van sedimentdeeltjes en kunnen zo een voedselbron zijn voor sedimentbewoners).

**Mariene systemen**  
zout water:  
– het Nonnetje, *Macoma baltica*  
– Borstelwormen, *Nerius diversicolor*,  
*Arenicola marina*  
zoet water:  
– de Erwtmossel, *Spibrium spec.*  
Tubificiden  
– Muggenlarven, *Chironomidae*

**Terrestrische systemen**  
– Regenwormen, *Eisenia foetida*



## E. baggerslib

Verontreinigde haven- en rivierslibben vormen een belangrijk milieuprobleem. Het gaat in Nederland per jaar om enkele tientallen miljoenen tonnen. Dit slib is in vele gevallen verontreinigd. Het betreft hier onder andere zware metalen, PCB's, PAK's en soms zelfs biociden zoals DRINS. De mate en aard van verontreiniging is bepalend voor de wijze waarop het slib kan worden gestort. Er is nog weinig bekend over de ecologische gevolgen van het storten van baggerslib. Het wordt momenteel

gestort op zee, in putten langs de rivieren of op land. Vast staat dat planten door het opnemen van verontreinigingen ernstige groeischade op kunnen lopen. Ook is bijvoorbeeld bekend dat dieren uit het verontreinigde Westerscheldegebied hoge gehalten aan verontreinigingen kunnen bevatten.

Dieren zijn schakels in verschillende voedselketens. Doordat gegevens hierover nog slechts fragmentarisch beschikbaar zijn is het nog niet goed mogelijk om de volle omvang van deze

milieuproblemen vast te stellen. De wisselwerking tussen de verontreinigingen binnen ecosystemen zijn zo complex dat chemische analyse alléén geen uitsluitsel kan geven. Biologisch onderzoek is derhalve noodzakelijk om relevante informatie te verkrijgen. TNO heeft voor deze sedimenttoetsen een aantal proeforganismen beschikbaar. Voor de milieuproblematiek wordt baggerslib onderscheiden in vier soorten waarin klasse I marienslib omvat; klasse III is rivierslib en klasse II een mengsel



**boven:**  
*Zo op het oog een schitterend landschap in de Verenigde Staten: hier werd jaren geleden veel baggerspecie gestort. De foto is genomen door een TNO-medewerker die op uitnodiging van een Amerikaanse overheidsinstantie aan dit probleem heeft gewerkt.*

**onder:**  
*Bij een nauwkeurige beschouwing van het riet kon een groot aantal groeifwijkingen worden geconstateerd. De grond bleek in sterke mate te zijn verontreinigd met onder andere zware metalen die uit een bovenste laag van 30 cm waren uitgespoeld. De top-laag had na 10 jaren het aanzien van normale bosgrond gekregen. Op 1.20 m diepte werd de originele baggerspecie aangetroffen.*





van I en III. Klasse IV bevat slib dat lokaal sterk verontreinigd is. Het reinigen van verontreinigd slib is, indien de verontreiniging niet of nog niet kon worden tegengegaan, uit een oogpunt van milieu-effecten de beste methode om dit milieuprobleem aan te pakken. Op basis van literatuurgegevens en door TNO ontwikkelde technieken wordt nagegaan hoe methoden kunnen worden ontwikkeld om grote hoeveelheden baggerslib te reinigen. Een van de mogelijkheden is om de baggerspecie

direct na het opbaggeren te scheiden in twee fracties; de fijnste fractie die de meeste verontreinigingen bevat, en een grove fractie die (veel) minder is vervuild. De effectiviteit van zo'n reinigingsmethode kan worden vastgesteld met behulp van bio-assays. Nagegaan moet worden of een volgende dure reinigingsstap nodig is, danwel of het gereinigde slib kan worden gestort en welke bestemmingen van deze stort in ecologisch opzicht verantwoord zijn.

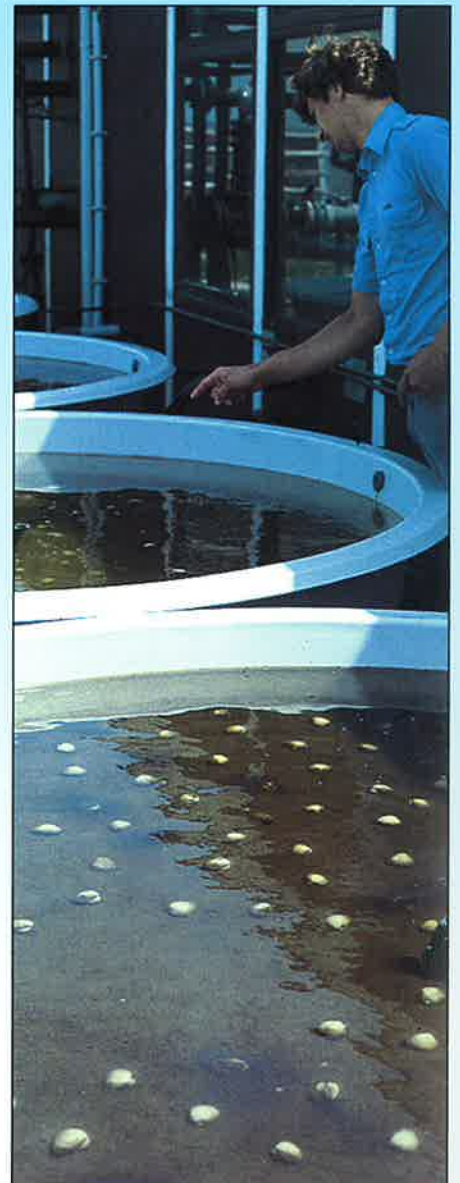
Dit afvalwater wordt momenteel in grote hoeveelheden via de riolering naar vele typen rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) geleid. Er zijn ook fabrieken die toestemming hebben om afvalwater op de riolering of direct op een RWZI te lozen. Rioolwaterzuivering is een van de oudste technieken om verontreiniging van het oppervlaktewater te voorkomen. Het afvalwater dat naar een RWZI wordt gepompt bevat opgeloste en niet opgeloste verontreinigingen. De niet opgeloste verontreinigingen worden

links:

*Deze foto laat een experiment zien met aardwormen, Eisenia foetida, die in geperforeerde emmers werden uitgezet. De dieren nemen sommige zware metalen en organische micro-verontreinigingen op, zoals bijvoorbeeld PCB's. Hierdoor kunnen grote risico's ontstaan voor vogels en andere dieren die van wormen leven; zo kunnen deze verontreinigingen in voedselketens terechtkomen en ook de mens bereiken. Het spreekt vanzelf dat terreinen, waar zwaar verontreinigd baggerslib werd gestort voor recreatie niet zonder meer geschikt zijn. Met behulp van bio-assays kan het gedrag van ecosystemen in en op baggerslib worden voorspeld.*

rechts:

*Een voorbeeld van deze bio-assays is de hier getoonde proef. Een aantal bakken is gevuld met verontreinigd slib met verschillende concentraties verontreiniging. Hier zijn in het sediment levende dieren ingebracht. Boven het sediment staat water dat kan worden ververst. Op deze wijze worden de natuurlijke omstandigheden van temperatuur, zonnestraling en waterbeweging nagebootst.*



vooraf verwijderd met behulp van roosters en door bezinking. De opgeloste voornamelijk organische verontreinigingen worden langs microbiologische weg verwijderd. Dit is veelal een behandeling met luchtzuurstof (aeroob). De zuiverende micro-organismen groeien hierbij aan zodat zuiveringsslib wordt gevormd dat in een laatste procesfase van het gezuiverde water wordt afgescheiden door bezinken. De eindproducten van een RWZI zijn gezuiverd water (effluent), surplus-zuiveringsslib en gassen. Het

zuiveringsslib moet vervolgens verder worden verwerkt. Er bestaat een groot aantal behandelingswijzen voor het surplus-zuiveringsslib. De voornaamste zijn anaerobe behandeling (vergisten), indikken, stabiliseren, conditioneren en tenslotte ontwateren. Voor ieder van deze behandelingswijzen bestaan verschillende processen. De kwaliteit van het slib hangt af van de combinatie van processen die men heeft gekozen. TNO heeft op dit gebied een jarenlange ervaring. Problemen die men bij de

huidige behandeling van afvalwater onder andere tegenkomt zijn stankoverlast, ruimtebeslag en energieverbruik. Er is geen combinatie van processtappen die in alle opzichten superieur is. De lokale situatie en de economie van de bedrijfsvoering zijn bepalend voor de keuze van de processen. Een mogelijkheid is de omzetting van organisch materiaal tot biogas waardoor de energiebalans van de RWZI verbetert. Voor het verwerken van slib tot een nuttig eindproduct is de



boven:  
*Bij het veel toegepaste aerobe actiefslib-systeem (op de foto een RWZI volgens het oxidatiesloot-principe) is het beluchten van het actieve slib de belangrijkste stap in het zuiveringsproces. De foto toont het actieve slib dat de beluchter verlaat, op de achtergrond de oxidatiesloot. Nadelen van deze werkwijze zijn onder andere het ontstaan van aerosolen, groot ruimtebeslag en geluidhinder.*



onder:  
*Een van de methoden om geluidhinder en aerosolvorming tegen te gaan is het plaatsen van een kap over de beluchter.*

mate van verontreiniging van het slib van doorslaggevend belang. Bij toepassing in de landbouw worden er eisen gesteld met betrekking tot het gehalte aan bijvoorbeeld zware metalen. Een groot deel van het slib vindt momenteel een bestemming in de land- en tuinbouw als meststof of als grondverbeteringsmiddel. Slib dat niet kan worden afgezet zal eventueel moeten worden verbrand, waarbij aandacht zal moeten worden besteed aan eventuele emissies. TNO is op al deze gebieden actief en heeft proef-

installaties en expertise in huis. Hoewel afvalwaterzuivering al vele decennia wordt toegepast zijn er aan de huidige processen toch nog diverse bezwaren verbonden. Voor de toekomst zal gekeken moeten worden naar nieuwe ontwikkelingen. Deze moeten worden gericht op nieuwe afvalstromen en -technieken die een gevolg kunnen zijn van biotechnologische processen. Voor zover dit economisch aantrekkelijk is, zullen bedrijven ertoe overgaan om afvalwater zoveel mogelijk zelf te gaan zuiveren. Dit

kan er in de toekomst toe gaan leiden dat bestaande installaties een overcapaciteit krijgen en dan duur worden in de exploitatie. Er zal dus ook gekeken moeten worden naar systemen die aan de beheerder een grotere flexibiliteit bieden of meer compact kunnen worden uitgevoerd. Er is ook aanleiding om opnieuw te bezien welke stoffen, zij het in lage concentraties aanwezig, niet in een RWZI worden tegengehouden of afgebroken en wat de lotgevallen van bepaalde zeer schadelijke stoffen in een RWZI zijn.

boven:

*Een andere methode om afvalwater te zuiveren is het toepassen van oxidatiebedden. De foto toont een dergelijke installatie waarbij het afvalwater over het vaste bed wordt verspreid en het actieve slib zich op een dragende laag van filtermateriaal bevindt.*

onder:

*Ook het bedrijf van een RWZI is kwetsbaar voor eventuele storingen door calamiteiten. TNO kan in deze gevallen adviseren hoe te handelen. De foto toont een mobiele installatie die naar de zuiveringsinstallatie kan worden gebracht. Hiermee zijn metingen ter plaatse mogelijk waardoor op korte termijn resultaten beschikbaar komen, gericht op herstel van de zuiveringsactiviteiten. Ook heeft TNO in Delft biologische zuiveringsinstallaties voor 500 inwoner-equivalenten waarmee lotgevalstudies kunnen worden uitgevoerd en piekbelastingen kunnen worden gesimuleerd.*

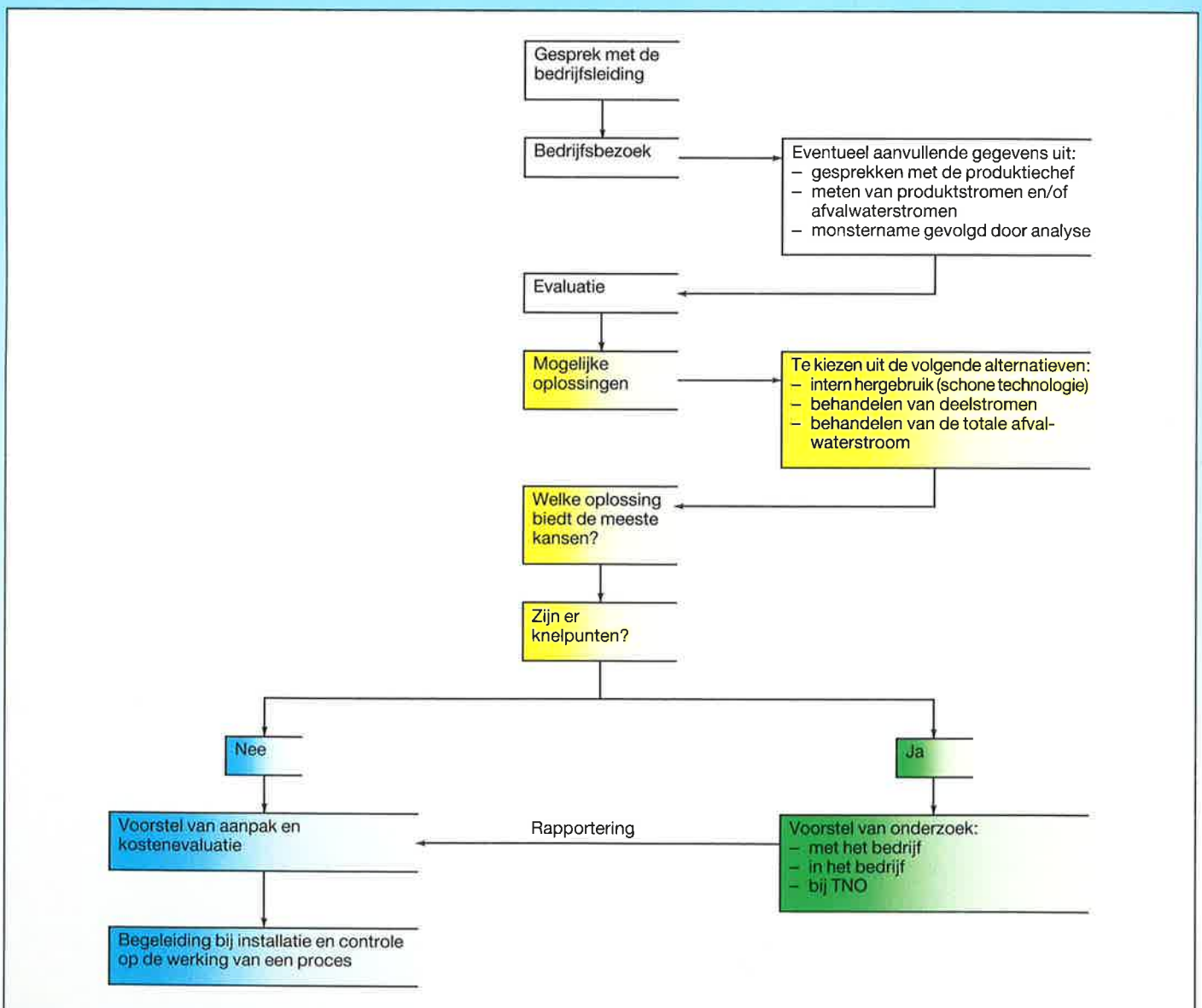


## G. behandelen van industrieel afvalwater

Vrijwel ieder industrieel bedrijf kent de problematiek van het afvalwater. Het lozen van verontreinigd afvalwater is ingevolge de Wet verontreiniging oppervlaktewater (WVO) zonder toestemming van de waterbeheerder in het algemeen verboden. In bepaalde gevallen zal zuivering nodig zijn voordat afvalwater naar een rioolstelsel of oppervlaktewater mag worden afgevoerd. Hoofddoel is het verkrijgen van water dat geloosd mag worden en zo mogelijk het terugwinnen van waardevolle stoffen uit

het afvalwater. Is dit niet mogelijk dan is gewoonlijk een integrale zuivering aan de orde. TNO kan helpen om de problemen die hierbij ontstaan op te lossen. Hoe TNO hierbij te werk gaat is in onderstaand schema aangegeven. Het is soms mogelijk om te attenderen op subsidie-regelingen van de overheid. Voor het oplossen van de problemen is meten en bemonsteren van het afvalwater in het bedrijf noodzakelijk. TNO heeft hiervoor doelmatige meet- en monsternameapparatuur.

Het nemen van monsters moet met de grootst mogelijke precisie gebeuren, onder andere in verband met het voldoen aan wettelijke voorschriften. Voor het uitvoeren van de analyses van het afvalwater en het beoordelen van de effectiviteit van een zuiveringsproces beschikt TNO over zeer moderne analyseapparaten en over een staf medewerkers die vele jaren op dit gebied actief zijn. Bij het zuiveren van afvalwater (biologisch, fysisch of chemisch) wordt naast het schone effluent slib gevormd



dat meestal eerst ontwaterd moet worden. Daarna kan men zowel op het slib alsook op het water dat bij het ontwateren van het slib vrijkomt zondig een reeks van zuiveringsprocessen toepassen om kostbare grondstoffen terug te winnen of schadelijke reststoffen af te breken tot onschadelijke verbindingen. Het beoogde eindresultaat is een effluent dat voldoet aan de gestelde kwaliteitseisen. Hierdoor kan het worden geloosd op de riolering, op een RWZI of op het vrije oppervlaktewater.

Tevens wordt gestreefd naar een zo klein mogelijke hoeveelheid zuiveringsslib dat milieuvriendelijk kan worden verwerkt. Dit houdt in dat het slib lage gehalten heeft aan zware metalen en schadelijke organische of anorganische verbindingen. Het eindresultaat kan meestal niet in een enkele processtap worden bereikt. Daarom bestaan zuiveringsprocessen uit een aantal achtereenvolgende bewerkingen die stap voor stap moeten worden onderzocht. De eerste fase is meestal verkennend

laboratoriumonderzoek waarin wordt vastgesteld hoe het proces er uit moet gaan zien.

Hierbij komen de volgende vragen aan de orde:

- Is het zuiveringsrendement voldoende groot om verdere ontwikkeling van het proces te rechtvaardigen?
- Kan de gekozen behandelingsmethode zonder veel problemen in de procesvoering van het bedrijf worden opgenomen?

boven:

*In veel gevallen kan men voor het onderzoek aan afvalwater gebruik maken van een meetwagen. Deze meetwagen is uitgerust met standaardapparatuur voor het volume- en tijdsproportioneel bemonsteren van afvalwater en het nemen van representatieve mengmonsters. De TNO-vestiging in Waalwijk beschikt over twee van dergelijke meetwagens met een maximale capaciteit van respectievelijk 70 en 150 m<sup>3</sup>/h.*

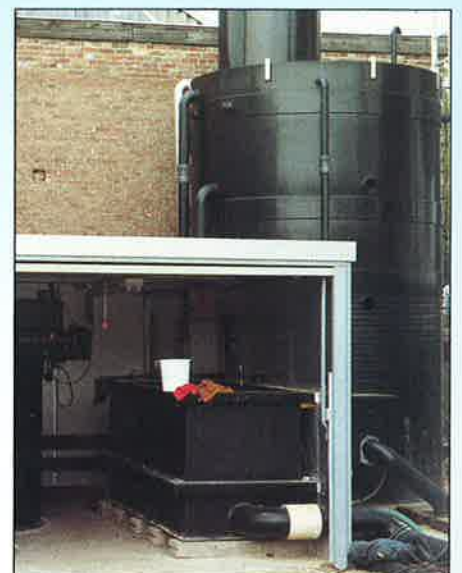
linksonder:

*Conditionering van het afvalwater dient om de bezinking van het gevormde zuiverings-slib te bevorderen. Dit conditioneringsonderzoek kan gemakkelijk in grote vaten worden uitgevoerd. Hierdoor kunnen de ontwerpgegevens voor de zuiveringsinstallatie worden vastgesteld. Daarna zal het bezonken slib moeten worden behandeld om de ontwatering te bevorderen. De foto laat een opstelling zien waarin het slib na behandeling met behulp van een filterpers wordt gereinigd.*

rechtsonder:

*Bij de installatie en ingebruikneming van een afvalwaterzuiveringsinstallatie is deskundig advies en begeleiding veelal onmisbaar. De foto toont een door het Instituut voor Leder en Schoenen TNO ontwikkelde waterzuiveringsinstallatie bij een lederfabriek voor het afvalwater dat ontstaat bij het nabehandelen van het leder. Het ontwikkelingsproject werd voor 60% betaald uit overheidsfondsen voor Schone Technologie. De overige 40% werd bijgedragen door TNO en de industrie. Andere voorbeelden van door TNO ontwikkelde zuiveringsprocessen zijn:*

- verwijdering van oppervlakteactieve stoffen;
- verwijderen van kwik uit dompelvloeistoffen;
- zuivering van afvalwater van een groot elektrochemisch bedrijf;
- zuivering van afvalwater en regeneratie van afgewerkte dompelbadvloeistoffen van de galvanische industrie.



## H. afvalwater van de voedingsmiddelenindustrie

– Is er in of bij het bedrijf voldoende ruimte beschikbaar om een afvalwaterbehandelingssysteem te kunnen plaatsen?

De volgende stap is semi-technisch (laboratorium)onderzoek dat in een kleine proefhal wordt uitgevoerd. TNO maakt hiervoor meestal gebruik van eigen apparatuur. Soms moet apparatuur speciaal worden ontwikkeld. Het onderzoek op semi-technische schaal levert alle gegevens op voor een economische evaluatie van het proces

van een bepaalde afvalwaterbehandeling die voorkeur verdient.

De onderzoekresultaten worden als een advies in een eindrapport vastgelegd.

Op basis hiervan kunnen de ontwerp-specificaties worden vastgesteld.

TNO kan helpen bij het begeleiden van de aanschaf, de ingebruikstelling of de controle van apparaten en installaties.

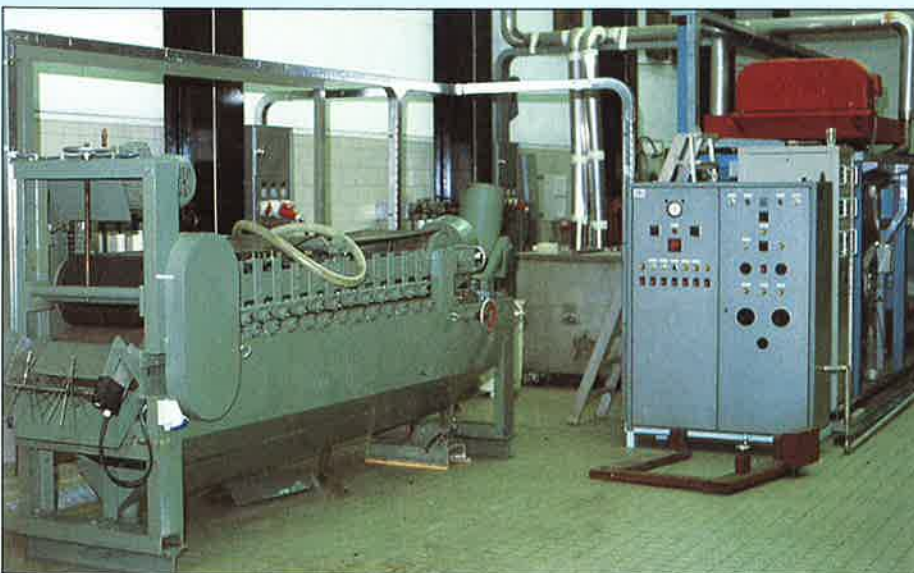
De voedingsmiddelenindustrie levert een belangrijke bijdrage aan onze nationale export. De meeste fabrieken hebben grote afvalwaterstromen, waarin veel biologisch afbreekbare organische stoffen voorkomen. Aerobe technieken voor het (voor)zuiveren van dit afvalwater zijn reeds vele jaren in gebruik. Daarna volgt in enkele gevallen een biologische stikstofverwijdering door middel van nitrificatie-denitrificatie. Voor hoge gehalten aan afbreekbare organische stof zijn anaerobe (voor)zuiveringsprocessen



boven en onder:

*Afvalwater afkomstig van slachterijen kan worden gezuiverd door eerst ijzerchloride en daarna een polyelektrolyt toe te voegen. Er ontstaat een slib dat een groot deel van de vervuiling bevat. Om dit slib een nuttige bestemming te geven is door TNO het ontwateringsaspect onderzocht in opdracht van de Rijksoverheid, met medewerking van vele instanties en bedrijven. Bij vele afvalslibben wordt dan eerst gekeken of deze door filtratie te ontwateren zijn. De foto linksboven laat een semitechnische proefinstallatie zien in ons laboratorium te Apeldoorn.*

*Ook is het mogelijk slib te conditioneren met stoom en het vervolgens te ontwateren met behulp van een zeefbandpers. De onderste foto laat een dergelijke pers zien.*



een interessant alternatief. Deze situatie komt onder andere voor bij suiker- en vleesverwerkende bedrijven. De keuze van de juiste combinatie van anaerobe zuivering met bijvoorbeeld biologische stikstofverwijderingsprocessen is nog onvoldoende onderzocht. Hierbij kan ook aandacht worden besteed aan fysische processen, zoals stoomstrippen. Deze keuze hangt af van de samenstelling van het afvalwater, de lozings situatie en economische factoren. Na inleidend laboratoriumonderzoek is steeds semi-

technisch onderzoek nodig om problemen als schuimvorming, stank en bedrijfsstoring te onderkennen en tot een goed ontwerp te komen.

Flotatieslib afkomstig van slachterijen is rijk aan eiwitten en werd veelal afgezet als meststof voor landbouwgronden. Door het grote overschot aan mest wordt er gezocht naar andere nuttige bestemmingen voor dit afvalproduct. Een mogelijke bestemming is veevoer, waarbij rekening moet worden gehouden met eventuele verontreinigingen zoals

zware metalen en ziektekiemen. Het slib kan na pasteurisatie en conservering bij opslag rechtstreeks aan de dieren worden gevoerd, danwel indirect na verwerking door een destructiebedrijf.

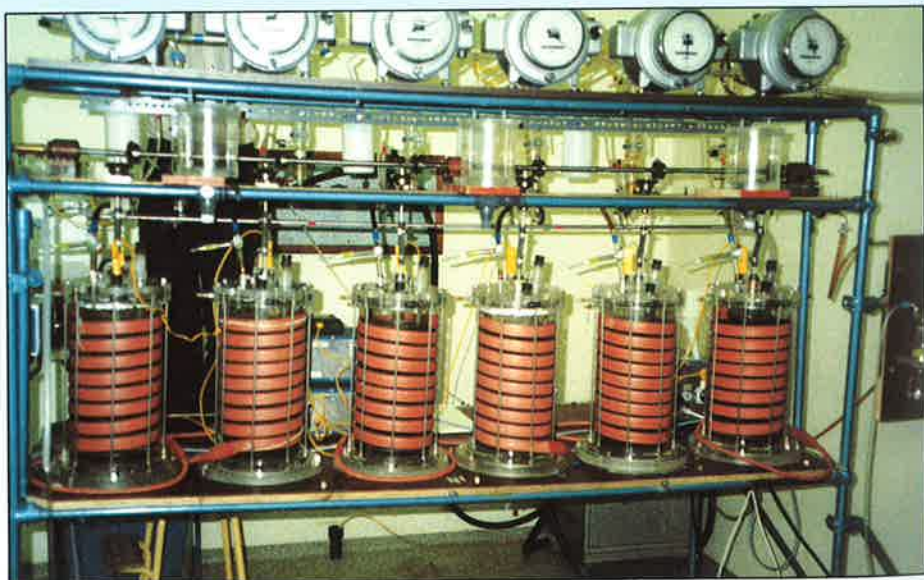
In principe kan er ook biogas uit flotatieslib worden gewonnen. Welke weg zal worden gekozen hangt onder andere af van de grootte van het bedrijf, de mogelijkheden tot afzet en de kostprijs van het eindproduct.

boven:

*Suikerfabrieken hadden in vroeger jaren vele problemen om hun grote hoeveelheid afvalwater te zuiveren. Dankzij intensief speurwerk is men erin geslaagd om hiervoor adequate oplossingen te vinden. De foto laat het lossen van een bietenschip zien bij een suikerfabriek aan de Oude Maas.*

onder:

*Bij het verwerken van zuiveringsslib kan het vergistingsproces waaruit biogas ontstaat een grote rol spelen. De foto toont een laboratoriumopstelling waarin de belangrijkste procesparameters kunnen worden geëvalueerd.*



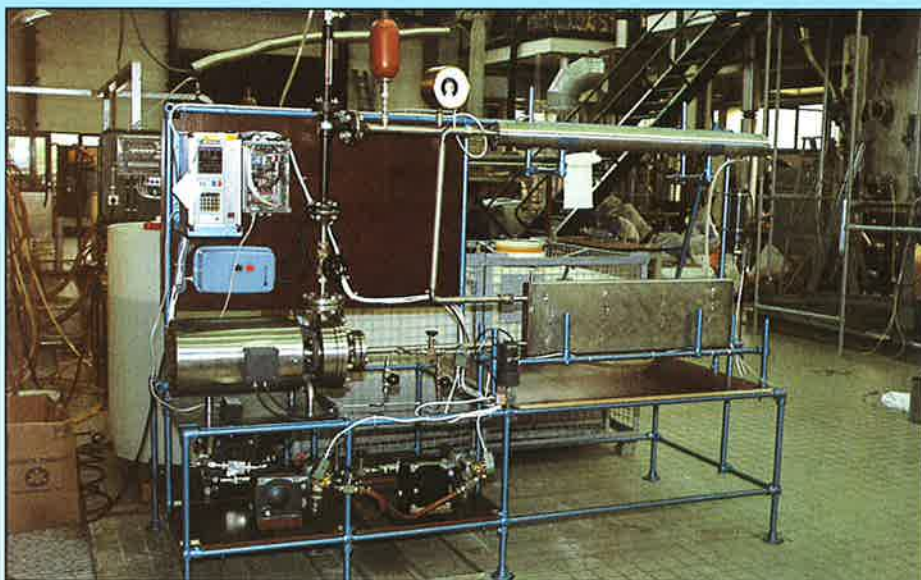
## I. afvalwater van veehouderijbedrijven

Regionaal bestaan er in Nederland aanzienlijke mestoverschotten, waarbij vooral varkensdrijfmest een urgent milieuprobleem vormt. De afzet ervan stagneert onder andere door concurrentie met andere organische afvalstoffen, het hoge watergehalte en de aanwezigheid van anorganische zouten en koper. De gedachten gaan steeds meer uit naar een of andere vorm van centrale verwerking van de mestoverschotten. Deze verwerking kan bestaan uit het afscheiden van de vaste deeltjes, het

produceren van biogas, het verwijderen van ammoniak en het ontzouten van het effluent. Het effluent kan dan worden geloosd. De gevormde slibkoek kan worden verbrand.

TNO is reeds vele jaren actief op het gebied van het onderzoek naar de verwerking van varkensdrijfmest. Onderzoek vindt plaats aan een aantal mogelijke deelprocessen op semi-technische schaal. Ook wordt overwogen om uit mest gistewit voor veevoer te produceren, om zodoende een nuttig

gebruik van de mestoverschotten te maken.



boven:  
*Een van de mogelijke processen voor het ontzouten van het effluent dat bij de verwerking van varkensdrijfmest vrijkomt, is omgekeerde osmose waarmee TNO jarenlange ervaring heeft opgedaan. De foto toont een semi-technische opstelling in een van de TNO-laboratoria te Apeldoorn.*

onder:  
*De samenstelling van het afvalwater van veehouderijbedrijven hangt ten nauwste samen met de voeding van de dieren. Bij kalvergier is het verwijderen van fosfaten noodzakelijk. De foto toont een onderzoek op praktijkschaal naar de verwijdering van fosfaat uit kalvergier.*





## adressen en contactpersonen

In nevenstaand overzicht vindt U alle adressen die voor U van belang kunnen zijn. U kunt zelf kiezen waar U het eerste contact wilt leggen. Indien Uw probleem beter door een van de andere TNO-vestigingen kan worden behandeld dan zullen onze medewerkers U gaarne behulpzaam zijn bij het leggen van de contacten.

	TNO-locatie Delft	TNO-locatie Apeldoorn	TNO-locatie Waalwijk
Ecotoxicologisch onderzoek (rivieren, estuaria, Waddenzee)	1*		
Baggerslib: ecotoxicologisch onderzoek technologisch onderzoek	1	2	
Chemische analyse: alle onderwerpen	3		
Afvalwaterzuivering: m.b.v. mechanische, fysische en chemische processen, industrieel en agrarisches afvalwater		4	
Rioolwaterzuivering: onderzoek, adviezen en begeleiding bij het zuiveren van stedelijk en huishoudelijk afvalwater en biologische behandeling van industrieel afvalwater	5		
Bemeten en bemonsteren van industrieel afvalwater: wettelijk voorgeschreven standaardanalyse			6

\* Het Laboratorium voor Mariene Biologie is gevestigd te Den Helder.

1. Drs. J.S.A. Langerwerf  
3. Dr. C. Pries  
5. Dr.ir. D.W. Scholte Ubing  
   Ir. B.A. Heide

*Hoofdgroep Maatschappelijke  
Technologie TNO, locatie Delft  
Schoemakerstraat 97  
Postbus 2600 AE Delft  
Telex 38071 zptno nl  
Tel. 015-569330*

- 2 en 4. Dr.ir. W.H. Rulkens

*Hoofdgroep Maatschappelijke  
Technologie TNO, locatie Apeldoorn  
Laan van Westenenk 501  
Postbus 342, 7300 AA Apeldoorn  
Telex 36395 tnoap nl  
Tel. 055-773344*

6. Ing. M.T. van Vliet

*Hoofdgroep Industriële Producten  
en Diensten TNO,  
Instituut voor Leder en Schoenen TNO  
Mr. van Coothstraat 55,  
5141 ER Waalwijk  
Telex 35083 lstno nl  
Tel. 04160-33255*

Informatie over werkgebieden van TNO  
TNO-Wegwijzer  
Ing. A. C. Lakwijk  
Schoemakerstraat 97  
2628 VK Delft  
Tel. 015 - 56 93 30, toestel 2041

colofon

*Productie en vormgeving:*  
Centrale Stafafdeling  
In- en Externe Communicatie (IEC-TNO)

*Illustratie omslag:*  
Joost Minderhoud, Bussum

*Overige illustraties:*  
IEC-TNO

*Fotografie:*  
KLM Aerocarto, Schiphol-Oost, p. 1  
Joost Guntenaar, Amsterdam, p. 3  
S.A.L.M. Kooijman, Delft, p. 4 boven en p. 6  
linksboven  
AeroCamera/Bart Hofmeester, Rotterdam, p. 4  
onder  
DSM, p. 5  
Art Reference/Steinkamp, Amsterdam p. 6  
rechtsboven  
Victor Scheffer, Den Haag, p. 7 boven  
J.M. Marquenie, Den Helder, p. 15 boven  
Suiker Unie, Breda, p. 22 boven

*Overige foto's:*  
TNO

*Druk:*  
Lakerveld B.V., 's-Gravenhage

oktober 1984