

ZIEKE VIS EN SPUISLUIZEN

Onderzoek naar ziekte bij bot (*Platichthys flesus*)
vóór en achter de Afsluitdijk

Eindrapport over de onderzoeksjaren 1988-2001

Auteurs: Dick Vethaak, Johan Jol en Jan Pieters

Januari 2004

Rapport RIKZ - 2004.003



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Kust en Zee / RIKZ

Inhoudsopgave

Samenvatting

Summary

Voorwoord

1	Inleiding	13
1.1	Kader van het onderzoek	13
1.2	Onderzoeksvragen	14
1.3	De bot als indicatorvis	14
1.4	Beschrijving van de spuicomplexen in de Afsluitdijk	15
1.5	Maatregelen ter verbetering van de visintrek	16
2	Materialen en methoden	19
2.1	Onderzoekslocaties	19
2.2	Visbemonstering en overige monsternames	20
2.3	Bepaling van de visconditiefactor	21
2.4	Diagnosticeren van visziekten	22
2.5	Histopathologisch onderzoek van de lever en milt	22
2.6	Bacteriologisch onderzoek	23
2.7	Chemisch onderzoek	23
2.7.1	Analyse van microverontreinigingen in sediment	23
2.7.2	Analyse van microverontreinigingen in vis	23
2.8	Verklaring van enkele in de tekst gebruikte termen	24
2.9	Dataverwerking	24
3	Resultaten	25
3.1	Grootte en samenstelling van de vismonsters bij de spuisluizen	25
3.2	Aanwezigheid van ziekten bij bot in de gehele Waddenzee in de periode 1988-1996	26
3.3	Aanwezigheid van ziekten bij bot op de spuilocaties in de Afsluitdijk in de periode 1988-2000	29
3.3.1	Huidaandoeningen	30
3.3.2	Inwendige aandoeningen	34
3.3.3	Visconditiefactor	35
3.3.4	Aanwezigheid van bacteriën	35
3.3.5	Totaalbeeld	37
3.4	Resultaten chemische analyses	37
3.4.1	Gehalten in botlever en -gal	39
3.4.2	Gehalten in sedimenten	42
3.4.3	Integratie van gehalten in bot en sediment	44
3.5	Correlaties van ziekteoptreden met spuidebiet, microverontreinigingen en conditiefactor	45
4	Discussie	47
4.1	Temporele en ruimtelijke trends in de aanwezigheid van visziekten	47
4.2	Mogelijke oorzaken van het verhoogde ziekteoptreden bij de spuilocaties	47
4.2.1	Bacteriën	47
4.2.2	Wisselingen in zoutgehalte	48
4.2.3	Visconditietoestand	48
4.2.4	Milieuverontreinigingen	49
4.2.5	Huidbeschadigingen	51

4.2.6	Belemmering visintrek	51
4.3	Mogelijke oorzaken van waargenomen temporele ziekte-trends	51
4.4	Effect van visintrek-bevorderende maatregel op visgezondheid	52
4.5	Consequenties van het verhoogde ziekteoptreden	52
4.6	Belangrijke vragen voortkomend uit het onderzoek	53
5	Conclusies en aanbevelingen	55
5.1	Conclusies	55
5.2	Aanbevelingen voor beheer en beleid	56
5.3	Aanbevelingen voor onderzoek	56
6	Literatuur	57
7	Bijlagen	61

Samenvatting

Samenvatting

Zieke vis en spuisluizen: onderzoek naar ziekte bij bot (*Platichthys flesus*) vóór en achter de Afsluitdijk. Eindrapport over de onderzoeksjaren 1988-2001.

In de zomer van 1987 sloegen sport- en beroepsvissers alarm over regelmatige vangsten van zieke botten (*Platichthys flesus*) in de Waddenzee bij Den Oever. Naar aanleiding hiervan kreeg het RIKZ van de Rijkswaterstaatsdirecties Noord-Nederland en Noord-Holland de opdracht tot inventarisatie van visziektes in de Waddenzee, en dan met name rondom de spuisluizen in de Afsluitdijk. Men veronderstelde namelijk een verband tussen de visziekte en de sterke zoet-zout-schommelingen bij de spuisluizen.

Doel van de inventarisatie was:

1. Huidzweren en andere aandoeningen bij bot in kaart te brengen en in de tijd te volgen;
2. De meest waarschijnlijke oorzaken van de ziekte-uitbraak bij de spuisluizen vast te stellen;
3. Het effect van genomen beheersmaatregelen te bepalen;
4. Aanbevelingen te doen voor het inpassen van visziekte bij toekomstige monitoring.

Het onderzoek werd tussen 1988 en 2001 uitgevoerd, en omvatte ziekte-inventarisaties bij bot en bacteriologisch, histologisch en chemisch onderzoek in bot, water en/of sediment. Dit rapport is een eindanalyse van de inventarisaties, en bevat de resultaten van zowel eerder gepubliceerd (1988, 1994 en 1996) als nieuw onderzoek (uit 1999 en 2000).

In totaal zijn 24.692 botten op gezondheidsparameters gescreend: 9.711 botten rond de spuisluizen in de Afsluitdijk (1988-2000) en 14.981 botten elders in de Waddenzee (1988-1996). De ziektecijfers bevestigden de alarmerende observaties van de vissers: de bot-populatie in de Waddenzee was door diverse huidaandoeningen aangetast. Huidzweren werden het vaakst aangetroffen, en dan vooral buiten de spuisluizen. Bij de Afsluitdijk ging het om 20 tot 50% van de botten. Bij de afwateringssluizen van het Lauwersmeer, Harlingen en de Dollard was 5% van de botten aangetast: nog steeds significant meer dan in natuurlijke estuaria en in zout of zoet water, waar minder dan 2% huidzweren bleek te hebben. Andere visziekten werden minder vaak aangetroffen, maar vertoonden een vergelijkbaar patroon.

Sinds 1988 is de situatie echter sterk verbeterd. Het percentage botten met huidzweren voor de spuisluizen van de Afsluitdijk is teruggelopen van ongeveer 30% naar 10%, al was er in 1996 sprake van een tijdelijke verhoging. Andere onderzochte huidziekten zijn bijna tot een natuurlijk niveau teruggekeerd (<0,5%) of zelfs zo goed als verdwenen. Een verklaring hiervoor is dat de kwaliteit van het leefmilieu van de bot in de bewuste periode is verbeterd.

Ook aangepast spuibeheer heeft vrucht afgeworpen – in 1994 bleek uit onderzoek dat het aantal zieke vissen bij Den Oever en Kornwerderzand verder was gereduceerd door tussen 1991 en 1993 aangepast spuibeheer te hanteren.

Hoewel visziekten inmiddels veel minder vaak voorkomen, lijden botten buiten de spuisluizen in de Afsluitdijk nog steeds duidelijk vaker aan huidzweren dan botten achter de Afsluitdijk. Ook lijden ze vaker aan inwendige aandoeningen, verkeren ze vaker in een slechte voedingsconditie en bevatten ze hogere gehalten aan bepaalde microverontreinigingen – ook als gehalten in sedimenten binnen én buiten de sluisen gelijk zijn (of zelfs lager zijn binnen de sluisen). Statistisch onderzoek heeft uitgewezen dat er een positief verband bestaat tussen het optreden van huidzweren bij botten en de interne gehalten van bepaalde milieuverontreinigingen. Specifieke leveraandoeningen in bot worden waarschijnlijk veroorzaakt door bepaalde milieucontaminanten.

Oorzaak van de ziekte-uitbraak bij botpopulaties vóór de spuisluizen van de Afsluitdijk, is waarschijnlijk een opeenhoping van stressveroorzakende factoren. Dit tast het afweersysteem van de vis aan, waardoor de vis vatbaarder wordt voor allerlei ziekten. De kans is daardoor groter dat verhoogde concentraties bacteriën in het water huidzweren veroorzaken.

De belangrijkste stressveroorzakende factoren zijn:

1. Intrekbelemmering. Als de bot gedwongen wordt langdurig in het ongunstige water aan de buitenkant van de spuisluizen te verblijven, verzwakt zijn conditie en afweersysteem en neemt de kans op zweren en andere aandoeningen toe;
2. Continue abrupte en extreme schommelingen in zoutgehalten. Deze gaan gepaard met osmotische stress en aantasting van het immuunsysteem;
3. Slechte water- en bodemkwaliteit in de spuiromgeving, met verhoogde concentraties bacteriën en milieuverontreinigingen, een beperkt voedselaanbod, en mogelijk zuurstofloze perioden;
4. Beschadiging van de (beschermende) slijmlaag van de vis door de plaatselijke visserij ('discard') en de spoelkokers in de spuisluis.

Mogelijke maatregelen tegen visziekten bij de spuisluizen in de Afsluitdijk zijn dan ook:

1. Het verbeteren van de (in)trekmogelijkheden voor bot;
2. Het voorkomen van abrupte, extreme zoet-zoutwisselingen bij het spuibeheer;
3. Het verbeteren van de milieucondities in de spuiromgeving en de directe omgeving ervan.

Omdat uit dit onderzoek geen duidelijke relatie blijkt tussen de interne gehalten van bepaalde milieuverontreinigingen in bot en de gehalten van dezelfde verontreiniging in sediment, is het daarnaast raadzaam gericht onderzoek uit te voeren naar de mogelijke invloed die zoet-zoutschommelingen op het gedrag van stoffen hebben.

Geadviseerd wordt ten slotte om ook in de toekomst visziekten bij spuilocaties regelmatig te monitoren. Huidzweren en de bijbehorende littekens bij bot zijn een goede indicatie van de intreksituatie door de spuicomplexen in de Afsluitdijk. De kwaliteit van het leefmilieu in de omgeving van spuisluizen kan mede worden beoordeeld door

huidzweren, andere huidziekten en leveraandoeningen te monitoren. Ook kan met zulke monitoring worden getoetst of genomen beheersmaatregelen effect hebben.

Summary

Summary

Fish disease and drainage sluices: an investigation of disease in flounder (*Platichthys flesus*) in front of and behind the Lake IJssel drainage sluices. Final report covering research period 1988-2001.

In the summer of 1987, recreational and professional fishermen reported regular catches of diseased flounder (*Platichthys flesus*) in the Waddenzee near Den Oever. As a result, the Noord-Nederland and Noord-Holland Directorates instructed the RIKZ to perform an inventory of fish disease in the Waddenzee, with a particular focus around the drainage sluices of the Afsluitdijk (Lake IJssel dam). It was presumed that there was a relationship between the diseased fish and the strong fluctuations in salinity near the drainage sluices.

The objectives of the study:

1. To determine the occurrence of skin lesions and other afflictions in flounder and to monitor them over time;
2. To determine the most probable causes of the outbreak of the disease near the drainage sluices;
3. To determine the effect of measures taken;
4. To make recommendations regarding the inclusion of fish disease in future monitoring.

The investigation took place between 1988 and 2001 and included an inventory of diseases/disorders in flounder as well as bacteriological, histological and chemical investigation in flounder, water and/or sediment. This report is a final analysis of the inventories and contains the results of both previously published research (1988, 1984 and 1996) as well as new investigations (from 1999 and 2000).

A total of 24,692 flounder were screened with respect to health parameters: 9,711 around the drainage sluices of the Afsluitdijk (1988-2000) and 14,981 elsewhere in the Waddenzee (1988-1996). The disease data confirmed the fishermen's alarming observations: the Waddenzee flounder population had been affected by various skin disorders. Skin ulcers were most prevalent, primarily outside the drainage sluices. Near the Afsluitdijk, 20-50% of flounder were affected. Near the freshwater outlets of the Lauwersmeer, Harlingen and the Dollard, 5% of flounder were affected – still a significantly higher percentage than in the natural estuaries and in salt or freshwater where less than 2% were found with skin ulcers. Other fish diseases were found less frequently, but showed a similar pattern.

Since 1988 however, the situation has improved considerably. The percentage of flounder with skin ulcers in front of the drainage sluices of the Afsluitdijk has fallen from some 30% to 10%, despite a temporary increase in 1996. Other skin diseases investigated have returned to an almost natural level (<0,5%) or have as good as disappeared. An explanation for these findings is that the quality of the flounder's habitat has improved in the period in question. The adapted

sluice management has also born fruit. Research in 1994 showed that the number of diseased fish at Den Oever and Kornwerderzand had further decreased between 1991 and 1993 by using adapted sluice management.

Although fish diseases now occur far less frequently, flounder outside the drainage sluices still clearly suffer more from skin ulcers than flounder behind the Afsluitdijk. They are also more subject to internal disorders, are in a worse nutritional condition and contain higher concentrations of micro-contaminants – even when sediment concentrations inside and outside the sluices are equal (or are even lower inside the sluices). Statistic data shows that there is a positive correlation between the occurrence of skin ulcers in flounder and the tissue concentration of certain environmental contaminants.

The cause of the outbreak of disease in flounder in front of the Afsluitdijk drainage sluices is most probably an accumulation of stress factors. This affects the fish' immune system, making the fish more susceptible to a variety of diseases. This in turn heightens the probability that increased concentrations of bacteria in the water give rise to skin ulcers.

The most important stress factors are:

1. Obstacles to fish migration: if fish are forced to spend long periods of time in the unfavourable water conditions outside the drainage sluices, this reduces the physical condition of the fish and increases the probability of ulcers and other disorders;
2. Ongoing abrupt and extreme salinity fluctuations. These are a direct cause of osmotic stress and impairment of the immune system;
3. Unfavourable water and water bottom conditions in the direct vicinity of the drainage sluices, with increased concentrations of bacteria and environmental pollution, limited food supply and possible episothic oxygen depletion;
4. Injuries to the fish' (protective) mucus layer as a result of local fishing (discard) and transport through the drainage sluices' drainage pipes.

Possible measures to combat fish disease near the Afsluitdijk drainage sluices therefore include:

1. Improvement in the flounder's migration options;
2. The prevention of abrupt and extreme fluctuation in salinity concentrations by means of sluice management;
3. Improvement in environmental conditions in the sluices' direct environment.

Since the research did not show a direct correlation between internal concentrations of certain environmental contaminants in flounder and concentrations of the same contaminants in sediment, it is recommended that focused research be performed into the possible influence of salinity fluctuations on the behaviour of contaminants.

It is furthermore recommended that fish diseases continue to be monitored regularly in the vicinity of sluices. Skin ulcers and associated scarring are a good indication of migration conditions through the Afsluitdijk's drainage pipes. The quality of the habitat in the vicinity of the drainage sluices can in part be assessed by the presence of skin ulcers, other skin disorders and liver disorders. This monitoring could also indicate whether measures taken have been effective.

Voorwoord

Het visziekte-onderzoek is uitgevoerd als onderdeel van het project GRADIËNTEN (voorheen OVERGANG). Dit project beoogt het opstellen van een advies over de wijze waarop in de Waddenzee kan worden vormgegeven aan integraal systeembeheer (kustzonezorg) van de overgangszone van zoet naar zout en van land naar water. Het advies dient een bijdrage te leveren aan het tot stand komen van een gemeenschappelijke visie op de na te streven relatie tussen het binnendijkse met het buitendijkse gebied van de Waddenzee.

We willen de volgende personen en instellingen bedanken voor hun hulp met de visbemonsteringen en/of het beschikbaar stellen van faciliteiten/personeel:

De beroepsvissers de Gebr. Jorna, S. Wigbout, Gebrs. Bos, A. Koornstra; J. Heyligenberg, E. Lont (RWS-NH, vestiging Den Oever), Joop Jungman (RIKZ) en Balt Verboom (RIVO); De bemanning, meetpersoneel en kapitein van ms. Professor Lorentz en ms. Kennemer (RWS-NH).

Verder willen we bedanken: Ton van de Zande (RIKZ, ITLH) voor coördinatie en uitvoering van de chemische analyses; Pim Leonards en Stefan van Leeuwen (RIVO) voor de analyses van gebromeerde vlamvertagers; AlControl voor de analyse van minerale olie; Freek Arieze (IVM-VU) en M. Steendijk (RIKZ) voor de bepaling van PAK metabolieten;

De volgende personen gaven nuttig commentaar op een concept-manuscript van het rapport: Marie-Louise Meijer (RIKZ ABW), Zwanette Jager (RIKZ OSW), Kees Borrius (RWS Directie NN), en Joost Lahr (AquaSense).



Spuisluizen in de Afsluitdijk bij Den Oever

1 Inleiding

1.1 Kader van het onderzoek

Een belangrijke taakstelling van het Rijk is het bevorderen van gezonde, veerkrachtige en duurzaam functionerende watersystemen. Dit geldt ook voor de Waddenzee. Een hiervan afgeleide doelstelling is het streven naar meer natuurlijke zoet-zout en land-water overgangen en estuariene gradiënten. In dit kader zijn door het RIKZ in opdracht van de Waddendirecties van Rijkswaterstaat activiteiten uitgevoerd in het thema Gradiënten. Zo zijn de afgelopen jaren regelmatig inventarisaties van visziekten in de Waddenzee verricht. Hierbij kreeg het optreden van huidzweren bij bot bij de spuisluizen van Den Oever en Kornwerderzand speciale aandacht.

Aanleiding tot het onderzoek waren mededelingen van sport- en beroepsvissers in de zomer van 1987 over de regelmatige vangst van grote aantallen zieke botten en graadmagere vis in de Waddenzee bij Den Oever. De waargenomen ziektegevallen betroffen acute zweren en verschijnselen van vinrot, die mogelijk met bacteriën geassocieerd zijn. Omdat de bot gedurende de zomer een standvis is, werd verondersteld dat de ziekte-uitbraak verband moest houden met de situatie bij de spuisluiscplexen. Bekend is dat bij spuisluisituaties sterk wisselende zoutgehalteschommelingen optreden, waardoor een stress-situatie voor vis (en andere organismen) kan ontstaan. Vissen die in hun leefomgeving blootstaan aan stress kunnen een verminderde conditie krijgen, ziek worden, of zelfs dood gaan. Daarnaast spelen bij spuisituaties mogelijk ook andere stressfactoren een rol, zoals bijvoorbeeld de belemmering van de vistrek (omdat de sluizen een vrije doorgang bemoeilijken) en de lokale condities van de water/bodem-kwaliteit.

Naar aanleiding hiervan werd in 1988 een verkennend RWS-onderzoek uitgevoerd naar de aanwezigheid van visziekten in de Waddenzee. In 1994 en 1996 werden vervolgstudies uitgevoerd. Hoewel in deze inventarisaties de gezondheidstoestand van bot in de hele Waddenzee werd onderzocht, kreeg de situatie rond de spuisluizen in de Afsluitdijk speciale aandacht. De resultaten van deze studies zijn gerapporteerd in een drietal nota's (Vethaak, 1990; Vethaak *et al.*, 1996, 2000) en een wetenschappelijke publicatie (Vethaak, 1992). Het visziekte-onderzoek is opnieuw in 1999 en 2000 verricht, maar nu alleen bij de spuisluizen van Den Oever en Kornwerderzand. Om een mogelijke invloed van milieuverontreinigingen op de gezondheidstatus van bot te kunnen bepalen is tevens aanvullend chemisch onderzoek verricht.

Het huidige rapport presenteert een eindanalyse van de resultaten van genoemde visziekte-inventarisaties rond de spuisluizen in de Afsluitdijk gecombineerd met informatie over de belasting door milieuverontreinigingen over de periode 1988-2000.

Het rapport dient met name als basis voor:

- het beoordelen van een eventuele voortzetting van het visziekte-onderzoek, al of niet inbegrepen in een toekomstig

monitoringsprogramma;

- het verstrekken van advies aan de waterbeheerder, met name in relatie tot de uitbreiding van de afvoercapaciteit in de Afsluitdijk en de aanleg van eventuele nieuwe spuisluizen en een brakwaterzone in de Afsluitdijk.

Het voorkomen van ziekten bij bot in de hele Waddenzee in de periode 1988-1996 is in dit eindrapport slechts kort samengevat. Voor een uitvoerige beschrijving hiervan wordt verwezen naar eerder uitgebrachte rapportages (Vethaak, 1988; Vethaak *et al.* 1996, 2000).

1.2 Onderzoeksvragen

De visziekte-inventarisaties hebben tot doel de gezondheidstoestand van bot in de Waddenzee en in het bijzonder rond de spuisluizen in de Afsluitdijk in kaart te brengen. Belangrijke onderzoeksvragen zijn:

- Wat zijn de trends naar plaats en tijd in de aanwezigheid van huidzweren en andere aandoeningen bij bot?
- Welke factoren bepalen het lokale ziekteoptreden bij spuisluizen?
- In hoeverre zijn uitgevoerde beheersmaatregelen (zoals aangepast spui-beheer en bevordering van de visintrek) doelmatig geweest in het terugdringen van het ziekteprobleem, en welke aanvullende maatregelen zijn eventueel nodig om het ziekteoptreden verder te bestrijden?

1.3 De bot als indicatorvis

De platvissoort bot (*Platichthys flesus*) wordt door RWS sinds begin 80 jaren gebruikt als indicatorvis voor het vaststellen van milieu-invloeden. De bot is een brakwatervis en kent een groot en gevarieerd verspreidingsgebied, dat zowel binnenwateren, riviermondingen als de ondiepe kustzone en de Waddenzee omvat. Zij leven hier in nauw contact met de bodem en kunnen aan hoge concentraties contaminanten worden blootgesteld. Bovendien toont de soort (van oudsher) een bijzondere ontvankelijkheid voor bepaalde ziekten en afwijkingen. Jonge botten zijn relatief plaatstrouw en worden verondersteld een goede indicatie van de plaatselijke milieucondities te geven. Volwassen botten, daarentegen, trekken elke winter naar de paaigronden op open zee om zich voort te planten. Omdat ze in de regel in het voorjaar weer terugkeren naar hun oorspronkelijke leefgebied kunnen cumulerende effecten worden verwacht voor oudere botten over langere perioden (Vethaak, 1993). Voor een uitvoerige beschrijving van de biologie en auto-ecologie van de bot wordt verwezen naar Rijnsdorp en Vethaak (1989). Hieronder volgen een aantal relevante aspecten over het trekgedrag en de distributie van bot met betrekking tot het onderzoeksgebied, de westelijke Waddenzee en het IJsselmeer.

Het grootste deel van de "Nederlandse" bot leeft in het ondiepe kustgebied en estuaria, en grote zoete wateren zoals het IJsselmeer. De volwassen botten trekken elk jaar gedurende de wintermaanden uit deze gebieden weg naar hun paaigebieden in open zee. Ze keren in de regel elk jaar in het voorjaar (april-mei) naar hun oorspronkelijke zomerverblijven terug. De bot die in de zomer in de Nederlandse wateren leeft, paait in een gebied van de Franse Kanaalkust tot de zuidelijke Noordzee. De pelagische eieren worden door de reststroom getransporteerd langs de Nederlandse kust. Larven van bot verschijnen

in de zeegaten vanaf april. Door middel van selectief getijdentransport zoeken de botlarven hun weg naar zoet water alwaar de metamorfose tot benthische platvisje plaatsvindt (Jager, 1999). In een ongestoorde estuariene overgang, zoals bijvoorbeeld de Eems, worden metamorfoaserende en pas gesettelde botlarven in grote hoeveelheden aangetroffen in het meso- en oligohaliene traject (Kleef en Jager, 1999). Een deel van de jonge botjes groeit in de Waddenzee op en een ander deel zoekt actief, via de sluiscomplexen in de afsluitdijk, het zoete water van het IJsselmeer op. Hierbij wordt mogelijk gebruik gemaakt zoet-zoutgradienten en van de dichtheidsonderstromingen in de zuid-westelijke Waddenzee. In het voorjaar zoekt ook de oudere bot de ondiepere Waddenzee en binnenwateren weer op. Door de intrekbelemmering als gevolg van de sluiscomplexen, scholen in het water direct voor de sluiscomplexen doorgaans grote aantallen botten samen, die hier gedurende langere tijd blijven. Verondersteld kan worden dat de bot op deze locaties met name gedurende de zomermaanden een goede indicatie van de plaatselijke milieucondities geeft, omdat de bot dan relatief plaatstrouw is. Hoewel na afsluiting van de Zuiderzee de aanvoer van bot uit het IJsselmeer sterk afnam, kent het IJsselmeer nog steeds een florerende "zoetwater" botpopulatie met zowel jonge als oudere botten (Rijnsdorp en Vethaak, 1989). Bestandsopnamen duiden sinds begin negentiger jaren zelfs op een sterke toename in aantallen jonge (zogenoemde 0-groep) en volwassen bot in het IJsselmeer (de Leeuw, 2001). Deze sterke toename kan mogelijk worden toegeschreven aan visintrekbevorderende maatregelen bij Den Oever en Kornwerderzand (zie 1.5). De botpopulatie in het IJsselmeer wordt in stand gehouden door de intrek van 0-groep botjes die actief via de sluizen het zoete water opzoeken. De veronderstelling dat botten zich in het zoete IJsselmeerwater ook zouden kunnen voortplanten is niet waarschijnlijk, hoewel dit wetenschappelijk nooit is onderzocht.

1.4 Beschrijving van de spuicomplexen in de Afsluitdijk

Het water uit het IJsselmeer wordt naar de Waddenzee afgevoerd via twee spuicomplexen in de Afsluitdijk, één bij Den Oever en één bij Kornwerderzand. Bij deze complexen van spuisluizen mengt het gespuide zoete water uit het IJsselmeer zich grotendeels al over de eerste kilometers buiten de sluizen met het zoute water van de Waddenzee. In totaal betreft het 25 uitwaterings- of spuiokers van elk 12 meter breed, waarvan 3*5 kokers bij Den Oever (Stevin sluizen) en 2*5 bij Kornwerderzand (Lorentz sluizen). De totale breedte van de spuisluizen is dus 300 meter. Door deze sluizen kan momenteel maximaal ruim 5000 m³/s (5 miljoen liter/s) IJsselmeerwater per seconde op de Waddenzee worden gespuid. Er kan alleen gespuid worden bij laag water in de Waddenzee, want het spuien gebeurt onder vrij verval bij een peilverschil van minimaal 0,1 m tussen IJsselmeer en Waddenzee. Een dergelijk peilverschil doet zich onder normale omstandigheden zo'n 6 tot 8 uur per etmaal voor. Tabel 1 geeft de spuidebieten weer van Den Oever en Kornwerderzand in de jaren 1988 tot en met 2000, waarbij 1988 te boek staat als een nat en 1996 als een droog jaar. De gespuide hoeveelheid van Kornwerderzand is circa 70% van de hoeveelheid bij Den Oever. Spui vanuit het IJsselmeer resulteert in lokaal verlaagde saliniteitsgehalten in de Waddenzee. Hierdoor ontstaat een zoet-zout gradiënt. Bij de spui punten bij Den Oever en Kornwerderzand treden regelmatig extreem lage saliniteiten en grote zoet-zoutschommelingen op.

Tabel 1

Spuidebieten bij Den Oever en Kornwerderzand in de onderzoeksjaren 1988-2000.

Spuidebieten in 10 ⁶ m ³					
Den Oever	1e kwart	2e kwart	3e kwart	4e kwart	Totaal
1988	4731	2671	2248	3493	13142
1994	4653	2538	1012	2139	10341
1996	1751	747	1187	2645	6330
1999	3836	2461	1474	2477	10247
2000	4066	1755	1811	2930	10562
Kornwerderzand					
1988	3677	1649	925	1629	7880
1994	3477	1865	1442	2797	9581
1996	853	432	724	2344	4352
1999	3050	1455	774	2046	7326
2000	3185	1060	1257	2384	7886

Verder zijn hier door het spuien relatief diepe spuikommen gevormd (enkele tientallen meters). In de geulen en de zeegaten verder van de spui punten af worden geen echt lage saliniteiten gemeten.

1.5 Maatregelen ter verbetering van de visintrek

Voor de visintrek zijn alleen de twee buitenste kokers van elke set van vijf kokers relevant. Dit betekent dat bij Den Oever 3 x 2 kokers voor visintrek worden gebruikt en bij Kornwerderzand 2 x 2 kokers.

Van 1938 tot eind jaren 50 zijn ten behoeve van de glasaalintrek loze schuttingen (het schutten van een sluis zonder scheepdoorvaart) uitgevoerd. Nadat in de 50-jaren was gebleken dat de glasaal reageert op stroming en dus niets aan deze schuttingen had, is in de 60-er jaren overgegaan op glasaal-inlaten. Hiertoe werden vanaf 1960 in de maanden van glasaalintrek maart-april-mei bij laagwater de beide schuiven van de visintrekkokers enkele centimeters geheven en weer gesloten wanneer het hoogteverschil tussen binnen en buiten 10 cm bedraagt.

Vanaf 1991 is de periode van deze maatregel verlengd tot en met september ten behoeve van intrek van larven van bot. Tevens is in 1991 ten behoeve van intrek van ook grote trekvis de opening verhoogd naar 50 cm en zijn tot en met 1993 de schuiven pas gesloten bij gelijke hoogte van het water in de Waddenzee en het IJsselmeer. De grote stroomsnelheden, die een knelpunt voor de vissen vormen bij het passeren van sluisen worden verlaagd door de schuiven bij een kleiner peilverschil te openen en te sluiten. De vissen die willen intrekken kunnen hiervan gebruik maken (Jager, 1999). In deze periode kon de vis goed naar binnen trekken wat ook blijkt uit de bestandgegevens van het RIVO (hoge dichtheden bot waaronder ook grotere exemplaren in het IJsselmeer). Dit sluisbeheer is na 1993 gestopt vanwege een te groot risico van zoutindringing (pers. mededeling Has Willet, Directie IJsselmeergebied).

Sinds 1993 worden dus van maart tot en met september bij laag water alleen de kokers geopend tot 50 cm, waarbij de schuiven worden gesloten bij 10 cm hoogte verschil. In de kokers treedt daarbij een hoge stroomsnelheid op van zoet naar zout van 1,5-3,5 m per seconde, waardoor alleen snelle zwemmers zoals zalm en forel kunnen intrekken. De schuiven worden echter met de hand bediend waardoor ze soms wat later dicht gaan en er af en toe wel visjes en larven naar

binnen kunnen. De gegevens van het RIVO laten zien dat er onder deze omstandigheden nog steeds botjes naar binnen komen, maar pas vanaf augustus-september als ze wat groter zijn. Het RIVO rapporteert een positief verband tussen dichtheden bot in IJsselmeer en het spuidebiet door de kokers (de Leeuw *et al.* 2001). Het feit dat er geen verband bestaat tussen de botstand in de Waddenzee en het IJsselmeer, suggereert dat slechts een klein deel van het botbestand kan intrekken en de intrekmogelijkheden beperkt zijn (de Leeuw *et al.* 2001).

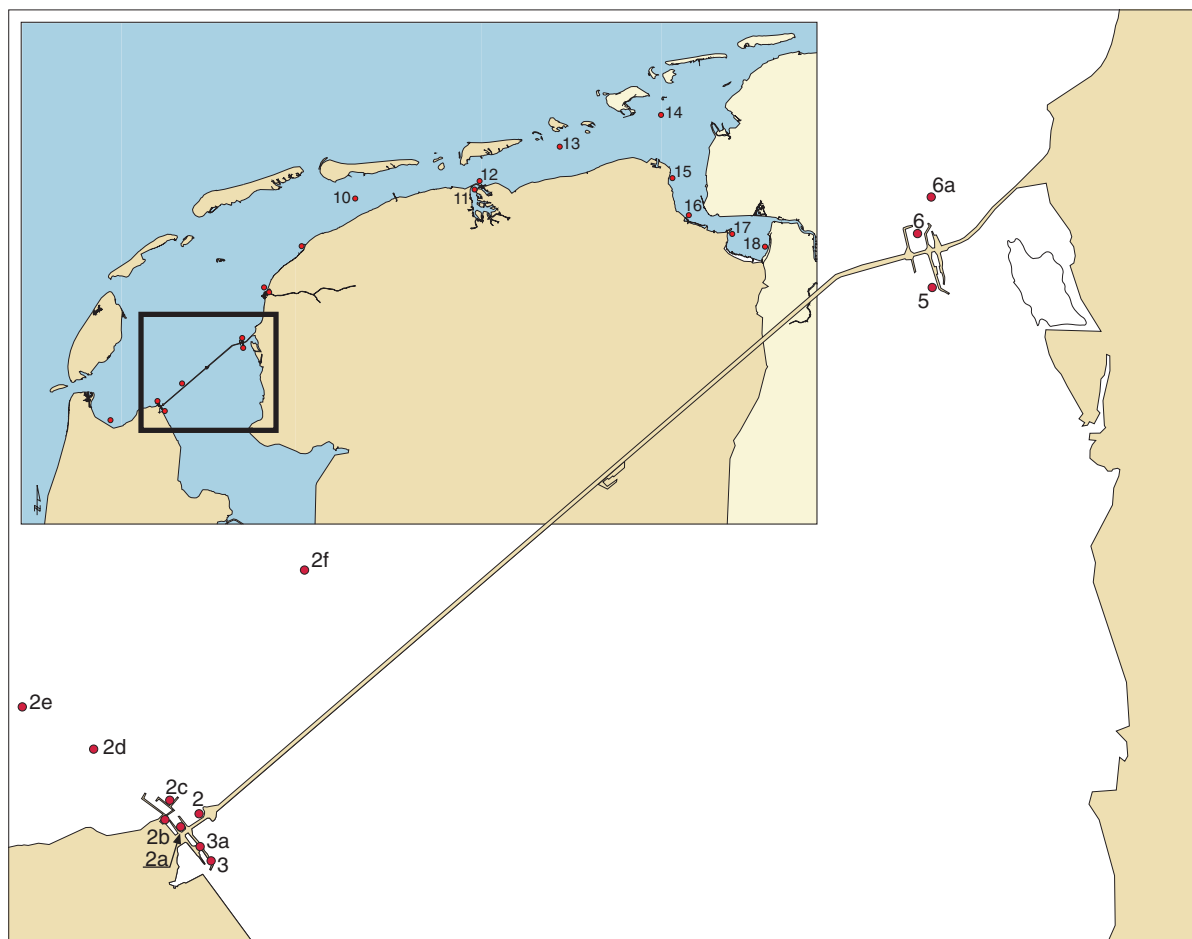
De spui van de visintrekkokers resulteert in minder zoet-zout schommelingen dan de spui van de gewone spuikokers. Dit komt omdat er via de visintrekkokers bij ieder laag water wordt gespuid, terwijl de gewone spuikokers worden gebruikt wanneer dat nodig is als er watertekorten zijn of als er hoog water is.

2 Materialen en methoden

2.1 Onderzoekslocaties

Het studiegebied bestaat uit het zuidwestelijke Waddenzeegebied en met name de spuisluizen aan weerszijden van de Afsluitdijk bij Den Oever en Kornwerderzand. Figuur 1 geeft het zuidwestelijke deel van de Waddenzee weer met de bemonsterde locaties, waarvan namen en enige karakteristieken zijn weergegeven in Tabel 2 en 3. Tevens tonen deze tabellen details van de verschillende bemonsteringen op de locaties.

Figuur 1
Overzicht van de
bemonsteringslocaties van bot
(inzet) en sedimenten t.b.v. het
visziekte-onderzoek.



Tabel 2

Overzicht van de meetlocaties en jaren van bemonstering van het visziekteonderzoek.

Nr	Locatie	Omschrijving	Diepte m	1988	1994	1996	1999	2000
				vj nj	vj nj	vj nj	vj nj	vj nj
1	Amsteldiep buiten	plaat langs zeedijk	-2 tot -3	X X	X X	X X		
2	Den Oever buiten	spuikom	-2 tot -29	X X	X X	X X	X X	X X
3	Den Oever binnen	oever nabij spuisluis	-2 tot -20	X X	X X	X X	X X	X X
4	Breezanddijk buiten	plaat langs Afsluitdijk	-2 tot -6	X X	X X	X X		
5	Kornwerderzand binnen	oever nabij spuisluis	-6 tot -24	X X	X X	X X		X X
6	Kornwerderzand buiten	spuikom	-6 tot -24	X X	X	X X	X X	X X
7	Harlingen binnen							
8	Harlingen buiten	kant van havendam	-2 tot -10	X	X	X		
8a	Harlingen 2 km	rand geul	-2 tot -10			X		
9	Koehool			X X				
10	Vrijheidsplaat/Borndiep	rand geul	-5 tot -10	X	X X	X		
11	Lauwersoog binnen	plaat	-2 tot -9	X X	X X			
12	Lauwersoog buiten	geul	-6 tot -9	X X	X X			
13	Lauwers	geul	-8 tot -15	X X	X X			
14	Oude Westereems/R'oog							
15/16	Bocht van Watum	geul	-4 tot -7	X X	X X	X		
17	Noord van de Dollard	geul	-2 tot -4	X X	X X		X	
18	Nieuw Statenzijl	geul	-2 tot -4	X X	X X			

vj = voorjaar; nj = najaar

Tabel 3

Overzicht van de bemonsteringslocaties van sedimenten tbv van aanvullend chemisch onderzoek in 2001.

Nr	Locatie	Omschrijving	RDM-coördinaten		Diepte in m
			x	y	
2	Den Oever	spui buitenkant; slib	131855	550232	4
2a	Den Oever	sluis buitenkant; slib	131705	549803	3
2b	Den Oever	visserhaven; slib, olieresten	131180	550150	5
2c	Waddenzee	plaat ten N. van Den Oever; zand met slib	131297	550596	3
2d	Waddenzee	NW Van Den Oever; zand met slib	129501	551740	3
2e	Waddenzee	NW Van Den Oever; zand met slib	125932	552942	3
2f	Waddenzee	plaat benoorden afsluitdijk	134987	555974	4
3	Den Oever	spui binnenkant; zand met slib	132649	548372	3
3a	Den Oever	sluis binnenkant; zand met schelpresten en slib	132300	549535	3
5	Kornwerderzand	spui binnenkant; zand met weinig slib	151852	564131	4
6	Kornwerderzand	spui buitenkant; slib	151363	565817	3
6a	Waddenzee	ten N. van Kornwerderzand; zand met slib	151493	566492	4

RDM = Rijksdriehoeksmeting

2.2 Visbemonstering en overige monsternames

Visbemonsteringen zijn uitgevoerd in mei/juni (voorjaar) en in september/oktober (najaar). Alle vismonsters waren afkomstig uit fuiken van beroepsvissers. De fuiken werden enkele keren per week geleege.

Het onderzoek heeft zich geconcentreerd op bot met een lengte van 15 cm en groter. Er is naar gestreefd om op elke locatie en tijdstip minstens 250 botten te vangen. Alle vissen zijn onderzocht op met het blote oog zichtbare ziekten en/of afwijkingen. Dit gebeurde direct na de vangst of later in het laboratorium waarbij de vismonsters in een zo vers mogelijke toestand (op scherfjes) werden vervoerd en binnen 24 uur werden onderzocht. Van alle vissen is verder de lengte (op 0.1 cm nauwkeurig) en het geslacht geregistreerd. Ten behoeve van de bepaling van de conditiefactor zijn van 15 vrouwelijke en 15 mannelijke botten (van de lengteklasse 20-29 cm) de somatische gewichten bepaald. Met materiaal van dezelfde vissen of aanvullende monsters van eenzelfde lengteklasse zijn additionele histopathologische, bacteriologische en chemische analyses uitgevoerd. Tabel 4 geeft een overzicht van de uitgevoerde onderzoeken.

In 1996 zijn van de spuilocaties Den Oever binnen en buiten, Kornwerderzand binnen en buiten en van zes andere locaties in de Waddenzee in zowel het voorjaar als het najaar botmannetjes en -vrouwtjes verzameld ten behoeve van chemische analyses. In het najaar van 2000 zijn op de spuilocatie Den Oever nog eens mannetjesbotten verzameld voor de chemische analyses. De monsters zijn door RIKZ (ITLH) geanalyseerd op de aanwezigheid van PCB's, zware metalen en enige andere microverontreinigingen. In 2001 zijn op twaalf locaties sedimenten bemonsterd met het doel een beter inzicht te krijgen in de aanwezigheid van kritische microverontreinigingen in de directe omgeving van de spuisluizen van Den Oever en Kornwerderzand (Figuur 1 en Tabel 3). Een dergelijk, op de spuisluisactiviteiten gericht, chemisch onderzoek was niet eerder uitgevoerd. De sedimenten zijn met een van Veen happer volgens standaard protocol van het RIKZ verzameld (RIKZ, 2002). Ook deze monsters zijn door RIKZ geanalyseerd op microverontreinigingen.

Tabel 4

Overzicht van de verschillende typen onderzoeken naar ziekten bij bot, uitgevoerd in verschillende onderzoeksjaren.

type onderzoek		1988	1994	1996	1999	2000	2001
		vj	nj	vj	nj	vj	nj
pathologisch onderzoek	hele uitwendige vis	X	X	X	X	X	X
(macroscopisch)							
pathologisch onderzoek	vislever en -milt			X	X		
(microscopisch)							
conditiefactor	vis	X	X	X	X	X	X
bacteriologisch onderz.	vissenbloed, water en sediment	X					
chemisch onderzoek	vislever			X	X	X	X
chemisch onderzoek	visgal			X	X	X	
chemisch onderzoek	sediment					X	X

vj = voorjaar; nj = najaar

2.3 Bepaling van de visconditiefactor

De conditiefactor is gebruikt als indicator voor de voedingsgesteldheid en energievoorraad van de vis (in feite is het een maat voor het visvolume per lengte-eenheid). Net als bij de meeste ziektes kan ook de conditiefactor afhankelijk zijn van de leeftijd en het geslacht van de vis. Bij de vergelijking van conditiefactoren tussen locaties is echter niet voor de invloed van deze variabelen gecorrigeerd, maar is op elke onderzoekslocatie/-tijdstip de conditiefactor van een representatieve subgroep vis (gezonder geachte vrouwelijke botten met een lengte van 20-24 cm) bepaald. De conditiefactor (CF) wordt berekend volgens: $CF = 100 \times \text{somatisch gewicht (gram)} / \text{lengte}^3 \text{ (cm)}$

waarbij het somatisch gewicht gelijk is aan het visgewicht minus ingewanden en geslachtsorganen (gonaden).

2.4 Diagnosticeren van visziekten

De onderzochte huidaandoeningen zijn hieronder beschreven.

Zweren

Dit zijn open wonden met een diameter van minimaal 2 mm. Verwarring kan ontstaan met mechanische (door de visserij geïnduceerde) wonden. Zweren bezitten echter vaak een ronde vorm met een witte rand van bloedarm weefsel. Mechanisch geïnduceerde wonden onderscheiden zich door de aanwezigheid van gescheurd en bloedend weefsel en schaaf- en insnoerwonden.

Vinrot

Vinrot is niet altijd met zekerheid vast te stellen en kan gemakkelijk worden verward met mechanische beschadigingen door visnetten of bijtwonden van parasieten of krabben (pseudo-vinrot), die daarna (secundair) bacterieel geïnfecteerd zijn geraakt. Pseudo-vinrot is in principe herkenbaar aan gescheurd vinweefsel en acute bloedingen. Desondanks levert de diagnosestelling van echte vinrot vaak problemen op.

Wratziekte

De ziekte wordt veroorzaakt door het lymphocystis-virus, dat de bindweefselcellen tot reuzengroei (hypertrofie) aanzet (Bucke *et al.*, 1996). Er ontstaan dan karakteristieke vuilwitte, parelachtige knobbeltjes of wratten op de huid of de vinnen. Vaak worden clusters van deze knobbeltjes gevormd, die een gezwel-achtig uiterlijk kunnen aannemen (pseudo-tumoren).

Littekenwonden

Littekenwonden bestaan uit geheelde zweren, geheelde vinrot of geheelde vangwonden. Na heling van zweren blijft op de huid vaak een duidelijk litteken zichtbaar. Op de onderzijde is de nieuw gevormde huid vaak gepigmenteerd. Deze kleuring wordt veroorzaakt doordat de uit de zweer verwijderde afvalstoffen zijn opgeslagen in de huidcellen. Ook trekt het nieuwe huidweefsel enigszins samen. Waar vinrot geheeld is, ontbreekt een deel van de vin en zijn geen open wonden meer zichtbaar. De vinstralen die bij heling weer voor een deel zijn aangegroeid vertonen een kronkelig uiterlijk. Vissen die in de mazen van een net hebben vastgezeten en er daarna weer zijn uitgekomen, kunnen vaak beschadigde vinnen en spierweefsel vertonen. Na genezing is dan dikwijls een V-vormige insnijding zichtbaar. Niet zelden, als de beschadiging is gaan ontsteken, wordt op de ongepigmenteerde onderzijde nieuwe huid met pigment gevormd (net als bij een geheelde zweer).

2.5 Histopathologisch onderzoek van de lever en milt

Weefselmonsters van lever en milt van botten zijn microscopisch op aandoeningen onderzocht in voorjaar en najaar 1996. De methoden gebruikt voor het histopathologisch onderzoek zijn uitvoerig beschreven door Vethaak *et al.* (2000).

2.6 Bacteriologisch onderzoek

Bacteriologisch onderzoek is uitgevoerd in vissen (bloed), water en sedimenten afkomstig van de spuikom van den Oever (loc 2) en een referentielocatie (loc. 18) in september 1988. De gehanteerde methode is beschreven in Vethaak 1992.

2.7 Chemisch onderzoek

Chemische analyses zijn uitgevoerd in vissen en een aantal sedimenten. De gehanteerde methode voor chemische analyse is uitvoerig beschreven in Van der Zande (2001). Enkele essentiële zaken zijn ook hieronder vermeld.

2.7.1 Analyse van microverontreinigingen in sediment

Voorafgaand aan de analyses zijn de sedimentmonsters gezeefd ter isolatie van de fractie < 63 µm. Deze fractie is vervolgens gevriesdroogd, gehomogeniseerd en verzonden naar verschillende laboratoria ter bepaling van de gehalten microverontreinigingen. Analyses van PCB's, PAK's, metalen (Cd, Cu, Hg, Zn, Cr, Ni, Pb en As) en organotinverbindingen zijn uitgevoerd door RIKZ-ITL Haren. De analytische meetfout is 15% bij de zware metalen, 15% en maximaal 25% bij de PCB's, de PAK's en de organotinverbindingen. De bepaling van organisch koolstof is uitgevoerd door RIKZ-ITL Middelburg. Voor de gehanteerde analyse methoden en kwaliteitsborging wordt verwezen naar Smedes (1999). De analyse van gebromeerde vlamvertragers en minerale olie is respectievelijk uitgevoerd door RIVO en Alcontrol. Voor de gehanteerde analysemethoden en kwaliteitsborging wordt verwezen naar de Boer and Cofino (2002). De analytische meetfout is 20% bij de PBDE's en 20-30% bij HBCD. Om de gehalten in de sedimenten te kunnen vergelijken is er een normalisatie uitgevoerd naar een standaard sedimentsamenstelling van 10% organische stof en 25% lutum, waarbij het lutumgehalte is geschat a.d.h.v. de gehalten aan aluminium (Al) en Lithium (Li) zoals omschreven door Smedes (1997, 1998, 1999).

2.7.2 Analyse van microverontreinigingen in vis

Analyse van microverontreinigingen in lever
De biotamonsters (gepoolde levermonsters van steeds 15 vissen van het zelfde geslacht, mannetjes of vrouwtjes) zijn nat gehomogeniseerd en vervolgens gevriesdroogd. In deze monsters zijn de gehalten van PCB's, HCB, metalen (Cd, Cu, Hg, Zn, Cr, Ni, Pb en in 2000 ook As) en organotinverbindingen (alleen in 2000 serie) bepaald. Daarnaast is het droge stof gehalte en de hoeveelheid extraheerbaar vet bepaald. De analytische meetfout is 15% bij de zware metalen en maximaal 25% bij de PCB's en de organotinverbindingen. Alle resultaten zijn steeds uitgedrukt op basis van droge stof gehalte en waar aangegeven ook op basis van vetgehalte.

Analyse van PAK-metaboliëten in gal

De mate van blootstelling aan PAK's kan bij vissen onderzocht worden aan de hand van PAK-metaboliëten-concentraties in de gal. Daartoe wordt 1-hydroxypyreen (1-OH pyreen) als markermetaboliëten beschouwd en geanalyseerd met behulp van een HPLC met

fluorescentie-detectie. Direct na de vangst van de botten is gal (indien mogelijk) met een injectienaald gemonsterd en opgeslagen in eppendorf-cupjes bij -20 °C. De gehalten 1-OH pyreen zijn aangepast voor de invloed van de voedingstoestand van de vis door als normalisatieparameter gal-aborptie bij 380 nm te nemen. Voor het meetprotocol wordt verwezen naar Ariese et al. (1997a,b).

2.8 Verklaring van enkele in de tekst gebruikte termen

De *bruto-prevalentie* is gedefinieerd als het percentage vissen in de steekproef dat geïnfecteerd of aangetast is. Deze bruto-prevalentiecijfers kunnen niet gebruikt worden voor het vergelijken van populaties met een verschillende structuur. Hiervoor wordt de geschatte prevalentie gebruikt. De geschatte prevalentie wordt berekend op basis van een multiple-logistisch regressie model en weergegeven voor een specifieke groep van botten (vrouwtjes 20-24 cm in lengte).

Met het begrip *odds* wordt de geschatte prevalentie bedoeld en *locatie-odds* staat voor de relatieve kans op huidzweren op een bepaalde locatie. In epidemiologisch onderzoek worden deze begrippen gebruikt als benadering van de kans en de relatieve kans op ziekte. Men kan dus de kans op ziekte per groep of de relatieve kans op ziekte per groep ten opzichte van een referentiegroep berekenen.

2.9 Dataverwerking

Logistische regressie-analyse van de visziektengegevens
Bruto-ziekteprevalentiecijfers zijn bepaald op basis van de samengestelde dataset van 1988, 1994, 1996, 1999 en 2000 van Den Oever en Kornwerderzand. De geschatte prevalenties zijn berekend op basis van een multiple-logistisch regressie model. De toegepaste methodiek is eerder uitvoerig beschreven (Vethaak *et al.*, 2000). Aangezien de aanwezigheid van een bepaalde visziekte sterk afhankelijk kan zijn van tijd, locatie, geslacht en lengte (leeftijd) is een multiple-logistisch regressie model met deze 4 variabelen toegepast. In dit rapport is de ziekteprevalentie weergegeven als de geschatte prevalentie voor een specifieke groep van botten (vrouwtjes 20-24 cm in lengte). Dit is gedaan om een vergelijking mogelijk te maken met de resultaten van het onderzoek uit de verschillende onderzoeksjaren (Vethaak, 1990, 1996, 2000). Daarnaast zijn de 95%-betrouwbaarheidsintervallen van deze geschatte prevalenties berekend.

Pearson correlatiematrix

Bij de dataverwerking is tevens gekeken naar eventuele onderlinge relaties tussen de diverse gemeten en berekende parameters. Voor deze berekeningen is gebruik gemaakt van het statistische analysepakket "SYSTAT voor Windows, Version 5". De correlatie tussen deze parameters is onderzocht m.b.v. Pearson matrices. Er is een Pearson correlatiematrix opgesteld met als variabelen de geschatte en bruto prevalenties voor zweren van vissen in lengteklasse 2, de visconditiefactor van lengteklasse 2 (20-24 cm) vissen en de in het sediment en vis aangetroffen microverontreinigingen in deze zelfde lengteklasse. Verder is een Pearson correlatiematrix opgesteld met als variabelen de berekende locatie-odds voor huidzweren en het spuidebiet in de verschillende seizoenen en onderzoeksjaren. Tenslotte is een ANOVA berekening op de gemiddelde conditiefactoren van de vissen toegepast om eventuele verschillen tussen locaties te toetsen.

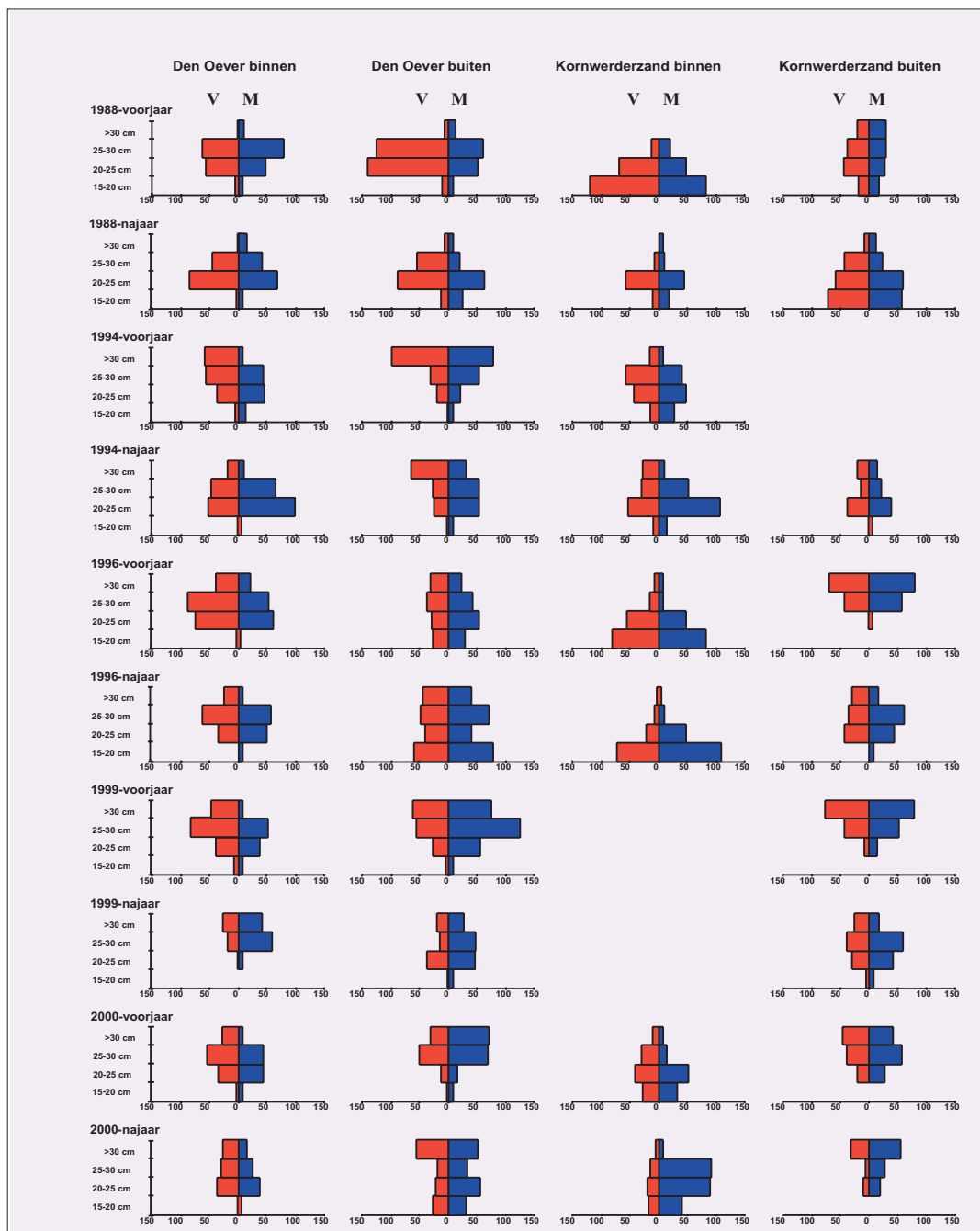
3 Resultaten

3.1 Grootte en samenstelling van de vismonsters bij de spuisluizen

Figuur 2 geeft de frequentieverdeling weer van de lengtesamenstelling van de mannetjes- en vrouwtjesbotten van de vismonsters bij de spuisluizen van Kornwerderzand en Den Oever in voor- en najaar van 1988, 1994, 1996, 1999 en 2000. Door omstandigheden is in bepaalde jaren op twee locaties niet bemonsterd.

Figuur 2

Lengte- en geslachtsamenstelling van botmonsters bij Den Oever en Kornwerderzand (x-as is aantal vissen; y-as is de lengteklasse in cm; v=vrouwtjes; m= mannetjes).



Zoals uit de figuur blijkt kan de lengtesamenstelling per locatie en in de tijd aanzienlijk verschillen. Opvallend is bijvoorbeeld dat na 1988 weinig of geen kleine bot is gevangen bij Kornwerderzand-buiten. Door het gebruik van fuiken zijn de vangsten echter niet geheel representatief voor de werkelijke samenstelling van de botpopulaties; in de vismonsters zullen hierdoor met name jonge vissen ondervertegenwoordigd zijn.

De lengteverdeling voor alle vismonsters bij de vier spui bemonsteringsplaatsen tezamen is 14% lengteklasse 1 (15-19 cm), 33% lengteklasse 2 (20-24 cm) en 3 (25-29 cm) en 20% lengteklasse 4 (>29 cm). De frequentieverdelingen van de overige bemonsteringsplaatsen zijn reeds elders gerapporteerd (Vethaak 1990; Vethaak *et al.*, 1996, 2000).

3.2 Aanwezigheid van ziekten bij bot in de gehele Waddenzee in de periode 1988-1996

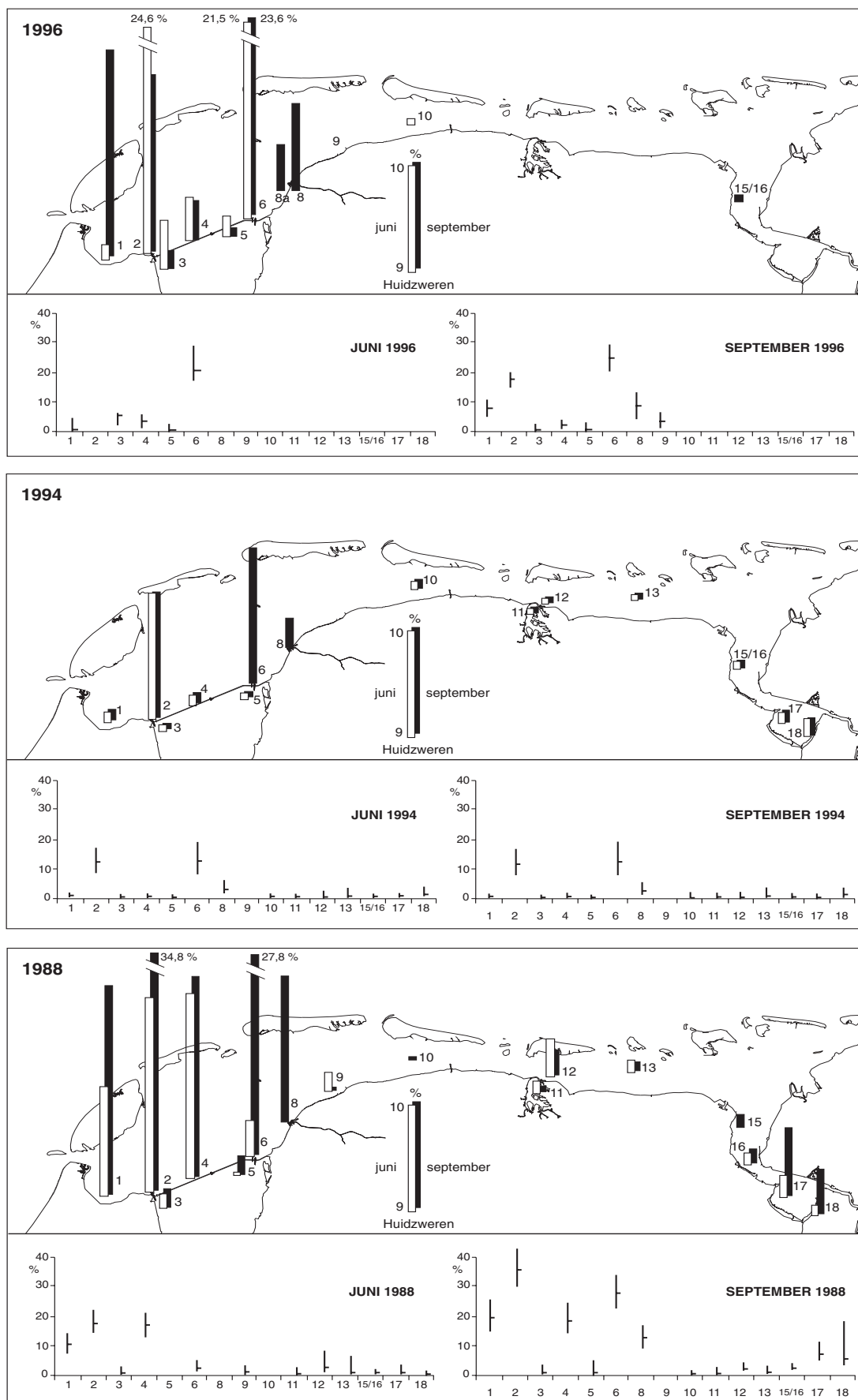
In Tabel 5 zijn de gemiddelde bruto-prevalenties van de belangrijkste aandoeningen bij bot rond de spuisluizen en in de Waddenzee weergegeven. De ziektecijfers tonen aan dat de botpopulatie in de Waddenzee aangetast is met diverse huidaandoeningen. Andere vissoorten in dit gebied zijn dat niet of in veel mindere mate (Vethaak, 1990). Van de onderzochte ziekten traden huidzweren met 6,6% het meest op. Vinrot en wratziekte kwamen elk met respectievelijk 2,0% voor.

Tabel 5

Het totaal aantal onderzochte en aangetaste botten uitgesplitst voor de verschillende aandoeningen in verschillende onderzoeksgebieden en perioden. De gemiddelde bruto-prevalenties zijn tussen haakjes gegeven.

	Rond spuisluizen Afsluitdijk (1988-2000)	Waddenzeegebied elders (1988-1996)	Waddenzeegebied inclusief spuisluizen (1988-2000)
aantal onderzochte vissen	9711	14981	24692
huidzweren	1038 (10,7%)	586 (3,9%)	1624 (6,6%)
wratziekte	130 (1,3%)	370 (2,5%)	500 (2,0%)
vinrot	388 (4,0%)	26 (0,4%)	484 (2,0%)
littekens van zweren	87 (0,9%)	38 (0,3%)	125 (0,5%)

Figuur 3 geeft de aanwezigheid van huidzweren op zestien locaties in de gehele Waddenzee in juni en september over de periode 1988-1996 (Vethaak *et al.*, 2000). Hieruit blijkt dat huidzweren in 1988 het meest frequent (tot max. 34,8%) in de buurt van spuisluizen bij het IJsselmeer werden aangetroffen. Echter, ook bij andere uitwateringssluizen in de Waddenzee, zoals het Lauwersmeer, Harlingen en Nieuw Statenzijl, was in 1988 sprake van een duidelijk verhoogd voorkomen van zweren. Bot elders in de Waddenzee en uit het zoete water vertoonde een veel lagere prevalentie huidzweren (<2%). Voor het gehele onderzoeksgebied vertoont huidzweerprevalentie een afnemende trend over deze periode. Ten opzichte van 1988 is de geschatte prevalentie van huidzweren in 1994 flink gedaald. Vooral op de westelijke Waddenzee-locaties inclusief de spuisluizen van het IJsselmeer is een grote afname te zien; op sommige locaties blijken de prevalenties zelfs beneden de 1% te zijn gedaald. Vergeleken met 1988 wijken nog slechts de buitenzijden van de spuilocaties bij Den Oever en Kornwerderzand sterk significant af van de overige locaties. Ondanks de afname in 1994 t.o.v. 1988 blijkt dat het voorkomen van huidzweren in 1996 weer is toegenomen. Op diverse locaties, vooral in het westelijk deel, waar in 1994 de prevalenties zo sterk gedaald waren, worden weer hogere prevalenties gesignaleerd.



Figuur 3

Verspreiding en aanwezigheid van huidzweren bij bot (vrouwjes met een lengte van 20-24 cm) in het onderzoeksgebied voor verschillende seizoenen in 1988, 1994 en 1996. Staafdiagrammen: geschatte prevalenties. Lijnplots: geschatte prevalenties met 95% betrouwbaarheidsintervallen. Prevalenties met niet overlappende intervallen zijn paarsgewijs significant verschillend op het 95% niveau.

Vooraf op de locaties aan de buitenkant bij de spuissluizen blijven de prevalenties hoog t.o.v. de overige locaties. Het onderzoek is op deze locaties na 1996 nog verder voortgezet (zie 3.3).

Ook vinrot en wratziekte zijn na 1988 in de gehele Waddenzee sterk afgenomen (Vethaak et al., 2000). In 1996 kwam wratziekte aan de buitenzijde van de spuissluizen nog met enkele procenten voor en in de rest van het Waddengebied ging het om tienden van procenten. Wat betreft de spuissluizen is aan de binnenzijde van de spuissluizen na 1996 geen wratziekte meer geconstateerd en ook aan de buitenkant is het in 2000 minder dan 1%.

Tabel 6a

Het aantal onderzochte en aangetaste botten (> 15 cm) bij Den Oever uitgesplitst naar seizoen en type aandoening. Tevens wordt de bruto-prevalentie in % weergegeven. (n. o. is niet onderzocht)

Jaar seizoen	aan- tal	huid- zweer	%	wrat- ziekte	%	vin- rot	%	litteken huid- zweer	%	litteken vin-rot	%	litteken vang- wond	%	litteken schaaf- wond	%
Den Oever binnen															
1988vj	207	5	2,4	2	1,0	25	12,1	n.o.		n.o.		n.o.		n.o.	
1988nj	261	6	2,3	4	1,5	2	0,8	n.o.		n.o.		n.o.		n.o.	
1988	468	11	2,4	6	1,3	27	5,8								
1994vj	265	2	0,8	0	0,0	0	0,0	3	1,1	4	1,5	0	0,0	n.o.	
1994nj	293	1	0,3	1	0,3	0	0,0	2	0,7	1	0,3	1	0,3	n.o.	
1994	558	3	0,5	1	0,2	0	0,0	5	0,9	5	0,9	1	0,2		0,0
1996vj	338	16	4,7	2	0,6	0	0,0	6	1,8	2	0,6	1	0,3	0	0,0
1996nj	242	2	0,8	0	0,0	0	0,0	0	0,0	2	0,8	0	0,0	0	0,0
1996	580	18	3,1	2	0,3	0	0,0	6	1,0	4	0,7	1	0,2	0	0,0
1999vj	275	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
1999nj	151	1	0,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
1999	426	1	0,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2000vj	214	1	0,5	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2000nj	172	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2000	386	1	0,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Den Oever buiten															
1988vj	414	92	22,2	22	5,3	44	10,6	n.o.		n.o.		n.o.		n.o.	
1988nj	275	107	38,9	15	5,5	8	2,9	n.o.		n.o.		n.o.		n.o.	
1988	689	199	28,9	37	5,4	52	7,5								
1994vj	306	60	19,6	27	8,8	8	2,6	6	2,0	4	1,3	2	0,7	n.o.	
1994nj	259	49	18,9	7	2,7	8	3,1	10	3,9	10	3,9	0	0,0	n.o.	
1994	565	109	19,3	34	6,0	16	2,8	16	2,8	14	2,5	2	0,4		
1996vj	275	76	27,6	3	1,1	6	2,2	4	1,5	2	0,7	2	0,7	18	6,5
1996nj	423	76	18,0	3	0,7	9	2,1	6	1,4	4	0,9	1	0,2	4	0,9
1996	698	152	21,8	6	0,9	15	2,1	10	1,4	6	0,9	3	0,4	22	3,2
1999vj	414	31	7,5	2	0,5	6	1,4	3	0,7	1	0,2	0	0,0	0	0,0
1999nj	198	29	14,6	0	0,0	2	1,0	2	1,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
1999	612	60	9,8	2	0,3	8	1,3	5	0,8	1	0,2	0	0,0	0	0,0
2000vj	255	14	5,5	2	0,8	2	0,8	5	2,0	0	0,0	1	0,4	0	0,0
2000nj	294	80	27,2	3	1,0	11	3,7	3	1,0	7	2,4	0	0,0	0	0,0
2000	549	94	17,1	5	0,9	13	2,4	8	1,5	7	1,3	1	0,2	0	0,0

3.3 Aanwezigheid van ziekten bij bot op de spuilocaties bij de Afsluitdijk in de periode 1988-2000

In Tabel 6a en 6b zijn de aantallen onderzochte en aangetaste botten bij de spuisluizen van respectievelijk Den Oever en Kornwerderzand voor 1988, 1994, 1996, 1999 en 2000 per seizoen en per jaar weergegeven. Tevens zijn de bruto-prevalenties van de onderzochte huidziekten en littekenwonden vermeld. Een uitvoerige beschrijving van de verschillende aandoeningen en gezondheidsparameters van bot rond de spuisluizen in de Afsluitdijk volgt hieronder.

Tabel 6b

Het aantal onderzochte en aangetaste botten (> 15 cm) bij Kornwerderzand uitgesplitst naar seizoen en type aandoening. Tevens wordt de bruto-prevalentie in % weergegeven. (n. o. is niet onderzocht)

Jaar seizoen	aantal	huid- zweer	%	wrat- ziekte	%	vin- rot	%	litteken huid- zweer	%	litteken vin-rot	%	litteken vang- wond	%	litteken schaaf- wond	%
Kornwerderzand binnen															
1988vj	352	0	0,0	0	0,0	18	5,1	n.o.		n.o.		n.o.		n.o.	
1988nj	150	3	2,0	0	0,0	3	2,0	n.o.		n.o.		n.o.		n.o.	
1988	502	3	0,6	0	0,0	21	4,2								
1994vj	254	1	0,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,4	1	0,4	n.o.	
1994nj	301	2	0,7	0	0,0	0	0,0	2	0,7	0	0,0	0	0,0	n.o.	
1994	555	3	0,5	0	0,0	0	0,0	2	0,4	1	0,2	1	0,2		0,0
1996vj	298	3	1,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
1996nj	271	1	0,4	0	0,0	0	0,0	1	0,4	0	0,0	1	0,4	0	0,0
1996	569	4	0,7	0	0,0	0	0,0	1	0,2	0	0,0	1	0,2	0	0,0
1999vj		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.	
1999nj		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.	
1999															
2000vj	216	5	2,3	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,5	2	0,9	0	0,0
2000nj	282	1	0,4	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2000	498	6	1,2	0	0,0	0	0,0	0	0,0	1	0,2	2	0,4	0	0,0
Kornwerderzand buiten															
1988vj	222	9	4,1	4	1,8	79	35,6	n.o.		n.o.		n.o.		n.o.	
1988nj	332	103	31,0	20	6,0	8	2,4	n.o.		n.o.		n.o.		n.o.	
1988	554	112	20,2	24	4,3	87	15,7								
1994vj		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.		n.o.	
1994nj	144	25	17,4	1	0,7	3	2,1	9	6,3	2	1,4	0	0,0	n.o.	
1994	144	25	17,4	1	0,7	3	2,1	9	6,3	2	1,4	0	0,0		0,0
1996vj	250	81	32,4	6	2,4	3	1,2	3	1,2	3	1,2	0	0,0	3	1,2
1996nj	230	67	29,1	4	1,7	8	3,5	16	7,0	0	0,0	0	0,0	2	0,9
1996	480	148	30,8	10	2,1	11	2,3	19	4,0	3	0,6	0	0,0	5	1,0
1999vj	273	26	9,5	0	0,0	8	2,9	1	0,4	1	0,4	0	0,0	0	0,0
1999nj	221	21	9,5	0	0,0	3	1,4	2	0,9	1	0,5	4	1,8	0	0,0
1999	494	47	9,5	0	0,0	11	2,2	3	0,6	2	0,4	4	0,8	0	0,0
2000vj	234	34	14,5	1	0,4	2	0,9	3	1,3	1	0,4	0	0,0	0	0,0
2000nj	150	8	5,3	1	0,7	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
2000	384	42	10,9	2	0,5	2	0,5	3	0,8	1	0,3	0	0,0	0	0,0

3.3.1 Huidaandoeningen

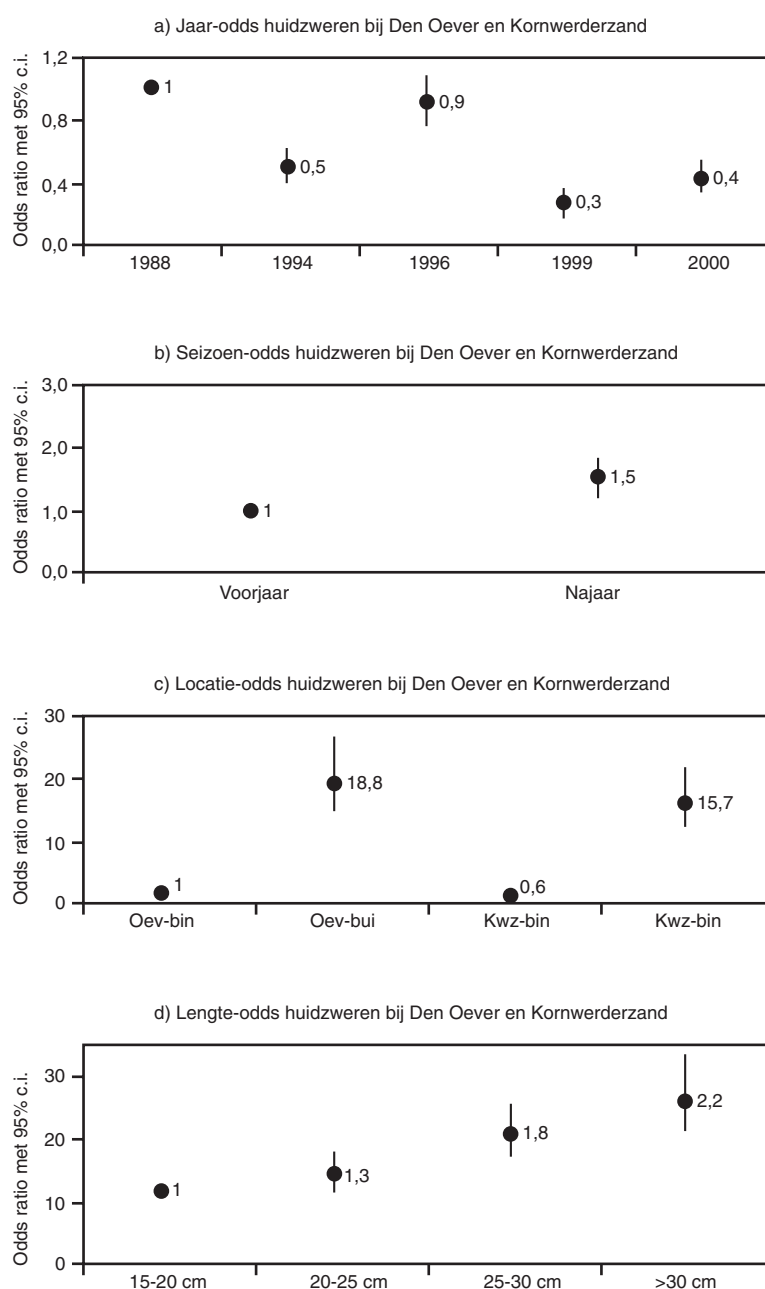
Huidzweren

Figuur 4 geeft de met multiple-logistische regressie berekende jaar-, seizoen-, locatie- en lengte-effecten weer van de relatieve kans op de aanwezigheid van huidzweren bij bot rond de spuisluizen. Figuur 4a geeft de relatieve kans op huidzweren bij bot in de tijd weer ten opzichte van 1988, waarbij in figuur 4b duidelijk te zien is dat de kans in het najaar groter is dan in het voorjaar. Over de totale periode is de kans t.o.v. 1988 gedaald met 60%.

Figuur 4c toont de vergelijking van de relatieve kans op huidzweren op de spuilocaties t.o.v. Den Oever-binnen. Deze kans is bij Kornwerderzand-binnen iets kleiner, maar niet significant verschillend van die bij Den Oever-binnen. De kans op botten met zweren is op beide buitenlocaties significant groter dan die op beide binnenlocaties, namelijk ca. 19 en 16 keer voor respectievelijk Den Oever en Kornwerderzand.

Figuur 4

De relatieve kans (odds ratio) op huidzweren bij bot buiten de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand versus
(a) jaar (t.o.v. 1988);
(b) seizoen (t.o.v. voorjaar);
(c) locatie (t.o.v. Den Oever spuisluis binnen);
(d) vislengte (t.o.v. lengteklasse 15-19 cm).



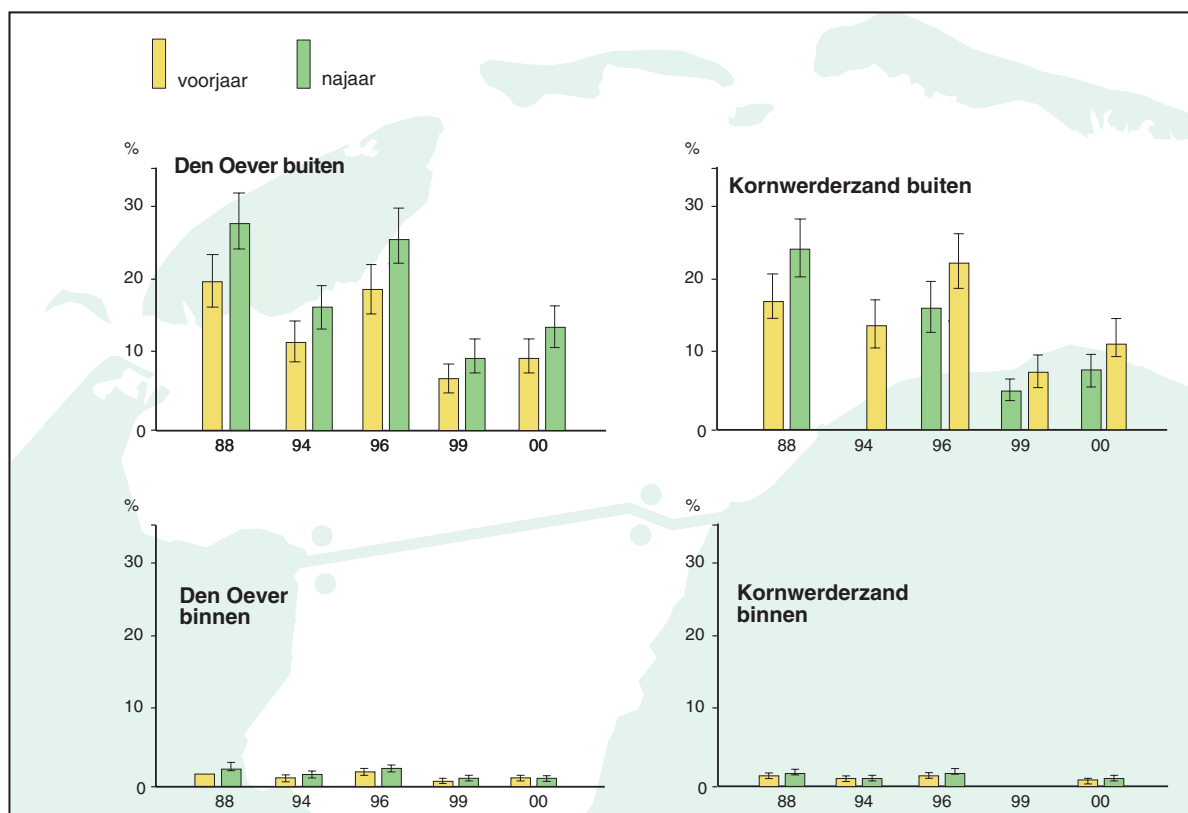
Verder neemt de kans op botten met huidzweren bij de spuisluizen toe bij grotere c.q. oudere botten (Figuur 4d). Bij 60% van de vissen bevonden de huidzweren zich alleen aan de onderkant van de vis. Dit is met name het geval bij de locaties aan de buitenkant van de spuisluizen.

Figuur 5, waarin de geschatte prevalenties voor bot in de lengteklasse van 20 tot 25 cm worden gepresenteerd, vertoont een afname van huidzweren van 30% naar 10% in de periode 1988- 2000. Wel werd in 1996 een verhoging t.o.v. 1994 waargenomen. Aan de binnenkant bij de spuisluizen zijn de prevalenties zeer laag (minder dan 1%).

De mate van ernst van huidzweervorming bij bot is uitgedrukt in het aantal open wonden per aangetaste vis. Het blijkt dat van alle aangetaste botten over de monsterperiode van 1988 tot 2000 14% één zweer, 71% twee of drie zweren en 15% meer dan drie zweren had (gegevens niet getoond). Vissen met ernstige aandoeningen (> 3 zweren) zijn vooral aangetroffen aan de buitenkant van de spuisluizen. Opvallend hierbij is dat in het voorjaar van 1996 op de locatie Den Oever-binnen relatief veel botten met meer dan drie zweren zijn waargenomen, terwijl in andere jaren op de binnenlocaties geen botten voorkomen met meer dan drie huidzweren.

Figuur 5

De geschatte prevalentie ($\pm 95\%$ betrouwbaarheidsinterval) van huidzweren bij bot (vrouwjes met een lengte van 20-24 cm) op de buiten- en binnenlocaties van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand voor verschillende jaren en twee seizoenen.



Vinrot

Uit Tabel 6a en 6b volgt dat aan de binnenzijde van de spuiplaatsen na 1988 geen vinrot meer is geconstateerd en aan de buitenzijde nog slechts in geringe mate. Hierbij gaat het slechts om enkele procenten, waarbij ook nog rekening moet worden gehouden met pseudo-vinrot wat de betrouwbaarheid van deze cijfers enigszins discutabel maakt.

Wratziekte

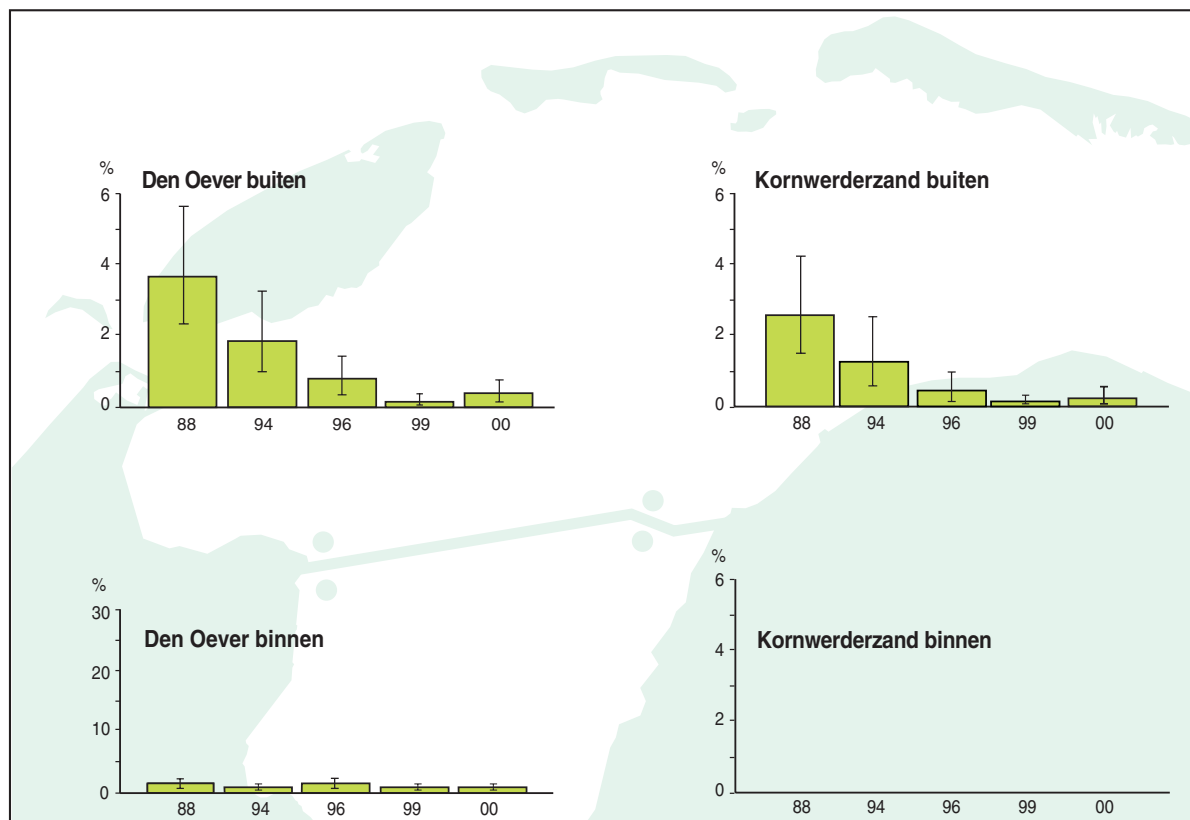
Uit de resultaten van de data-analyse van de spuisluizen blijkt dat er wat betreft wratziekte geen seizoenseffecten zijn. Er is wel onderscheid tussen locaties, vangstjaren en lengteklassen.

De kans op wratziekte aan de buitenkant van de spuisluizen is over alle monsterjaren resp. 7,5 en 5,3 keer groter voor Den Oever en Kornwerderzand-buiten ten opzichte van Den Oever-binnen en Kornwerderzand-binnen. De kansen op beide locaties verschillen overigens niet significant van elkaar. Er is een positieve correlatie tussen de wratziektekans en de lengte van de vis. Bot met een lengte van >30 cm heeft een 6 keer grotere kans op wratziekte dan die met een lengte van 15-20 cm.

Figuur 6, waarin de geschatte wratprevalenties voor bot in de lengteklasse 20 tot 25 cm worden gepresenteerd, laat een dalende trend over de periode 1988-2000 zien waaruit blijkt dat wratziekte thans niet noemenswaardig meer voorkomt bij de spuisluizen.

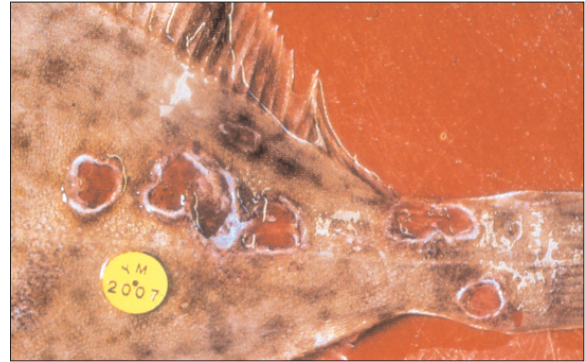
Figuur 6

De geschatte prevalentie ($\pm 95\%$ betrouwbaarheidsinterval) van wratziekte bij bot (vrouwtjes met een lengte van 20-24 cm) op de buiten- en binnenlocaties van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand voor verschillende jaren en twee seizoenen. Er werden geen seizoenseffecten gevonden.

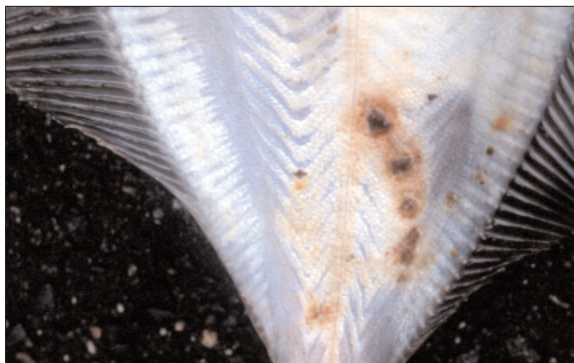




Huidinfectie met zweervorming



Huidzweren



Huidzweren



Geheelde vangwond



Wratziekte



Wratziekte



Vinrot



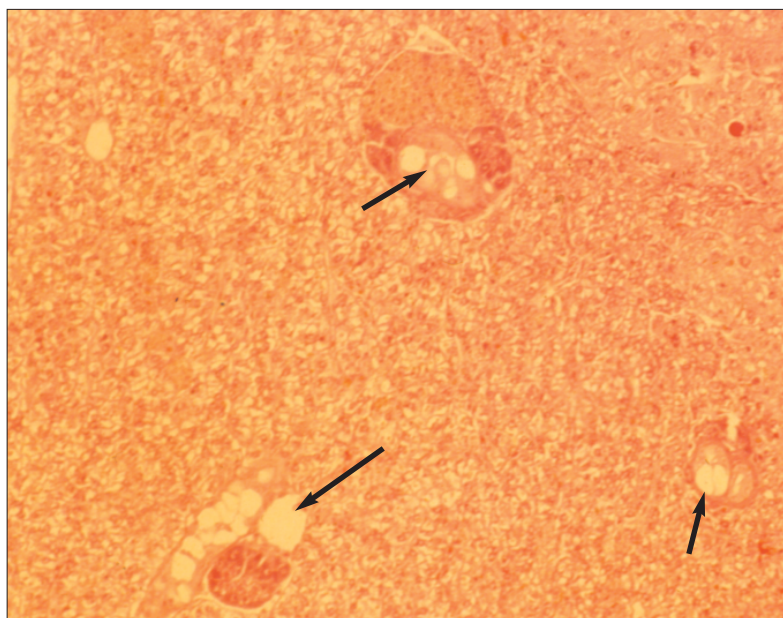
Geheelde vinrot

Littekenwonden

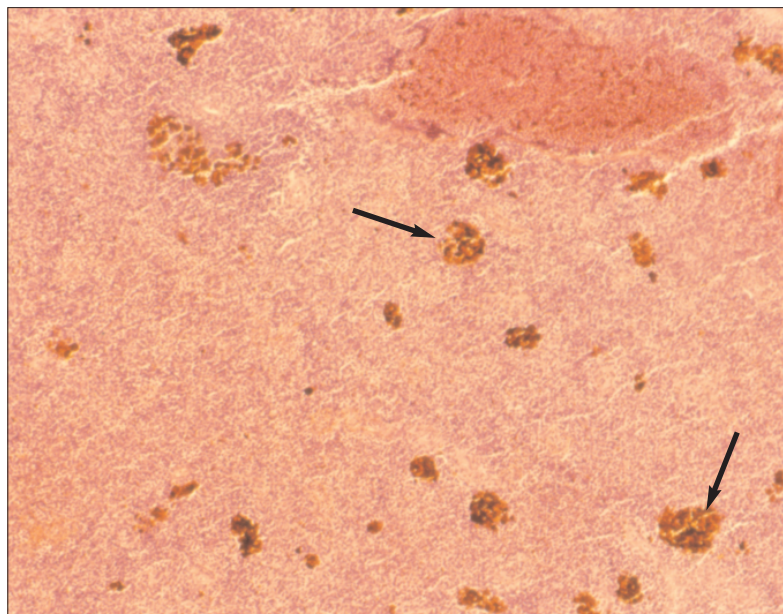
Uit Tabel 6a en 6b blijkt duidelijk dat de prevalenties van littekenwonden (geheelde zweren en geheelde vinrot) op beide spuilocaties aan de buitenzijde hoger zijn dan die aan de binnenzijde. In 1988 is de vis niet op littekenwonden onderzocht, maar er is een duidelijke afname na 1994. Op de binnenlocaties zijn de percentages naar nul gedaald. Ook op de buitenlocaties zijn de bruto-prevalenties laag waarbij in Den Oever in 2000 het percentage littekenwonden 3,0% en bij Kornwerderzand 1,1% bedraagt (Tabel 6). Uit Tabel 6 volgt verder dat er weinig bot wordt gevangen met littekens van vang- en schaafwonden. Het gemiddelde percentage ligt op alle vier locaties onder de 1% (zie ook Tabel 5). Opvallend hoog is echter het percentage van 6,5% aan litteken schaafwonden in het voorjaar van 1996 bij Den Oever buiten.

3.3.2 Inwendige aandoeningen

Degeneratieve leverafwijkingen bij bot (alleen onderzocht in 1996) zijn op alle locaties gevonden en met name in het voorjaar. De meeste leverafwijkingen werden gevonden in de levers aan de buitenzijde van Den Oever. Dit betreft vooral hydropische degeneratie van het galgangepitheel. Dezelfde levers vertoonden ook de hoogste dichtheid van melanomacrophage centra (MMC's) in de milt. Ook werden in het najaar enigszins verhoogde waarden aan MMC's aan de binnenzijde van beide spuisluizen aangetroffen (locatie 3 en 5, zie Vethaak *et al.* 2000). Verder is er bij de botten van deze locaties in het voorjaar sprake van een verminderde opslag van reservematerialen in de lever (cytoplasmatische vacuolisatie) en vertoonden veel botten in het najaar tekenen van verkleining en verschrompeling van levercellen (leveratrofie).



Hydropische degeneratie van het galgangepitheel



Melanomacrofaag centra (MMC) in de milt

3.3.3 Visconditiefactor

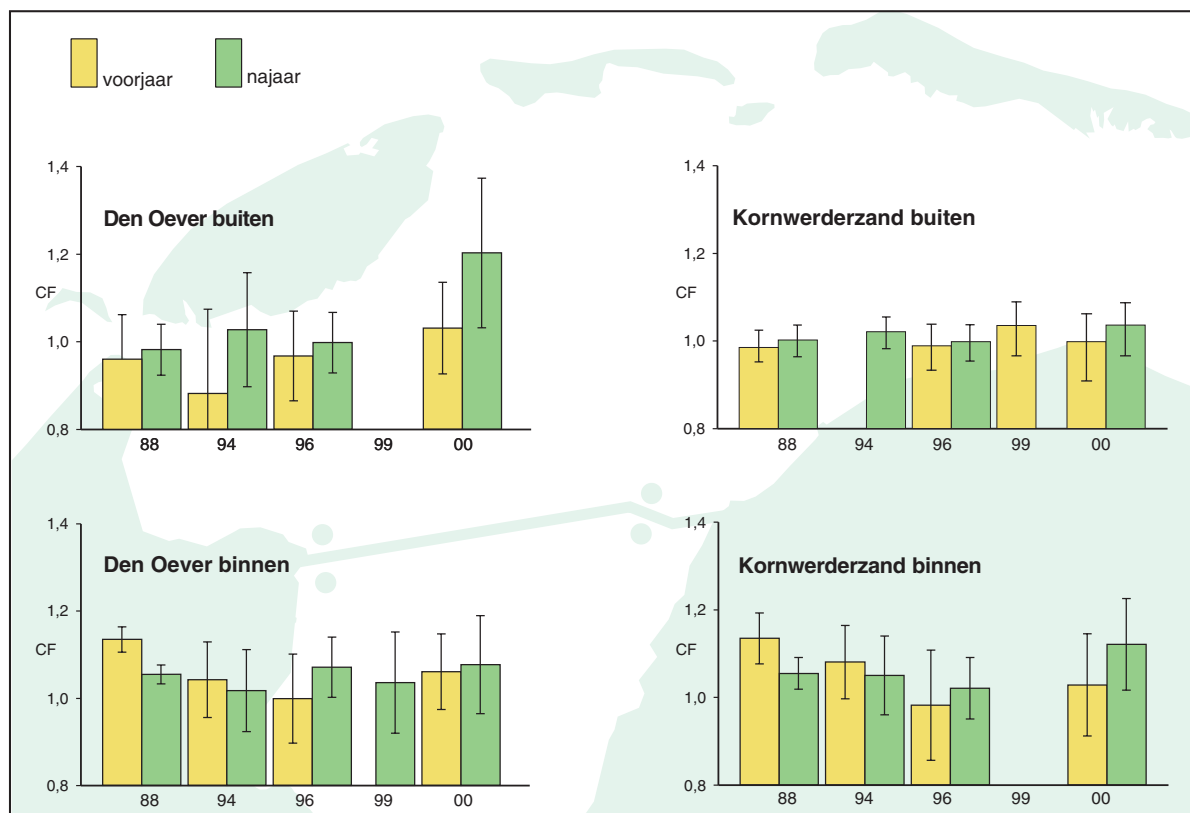
In figuur 7 wordt de visconditiefactor per seizoen weergegeven van 1988 tot en met 2000 op de binnen- en buitenlocaties bij Den Oever en Kornwerderzand. Per locatie kan niet gesproken worden van verschil tussen de conditiefactoren in voor- en najaar. In enkele gevallen wordt een niet structureel significant verschil ($p < 0,05$) tussen voor- en najaar gevonden. Verder blijkt dat er in enkele jaren slechts een significant verschil bestaat tussen de binnen- en buitenlocatie. Op de buitenlocaties ligt de conditiefactor in het najaar wel consistent hoger dan in het voorjaar, maar de verschillen zijn niet significant. Er zijn verder geen significante verschillen tussen onderzoeksjaren geconstateerd.

3.3.4 Aanwezigheid van bacteriën

Er blijkt sprake van een meer dominante ontwikkeling van verschillende soorten bacteriën (*Vibrio*-, *Aeromonas*- of *Pseudomonas*-soorten) in het water en sediment in de spuikom van Den Oever t.o.v. een referentiesituatie in de Eems-Dollard (Tabel 7). Deze soorten bacteriën komen normaal in relatief lage concentraties in water en sediment voor. De gemeten concentraties bacteriën in de spuikom van Den Oever zijn echter sterk verhoogd. Ook werden dezelfde soorten bacteriën uit zweerwonden en bloed van bot uit de spuikom geïsoleerd. De resultaten wijzen op een verhoogde bacteriële druk in de spuikom en op een relatie met obligate bacteriën en dus op secundaire infecties.

Figuur 7

De gemiddelde conditiefactor (+standaarddeviatie) bij bot (vrouwjes met een lengte van 20-24 cm) op de buiten- en binnenlocaties van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand voor verschillende jaren en twee seizoenen.


Tabel 7

De aanwezigheid van bacteriën (bevestigde aantallen) in water ($\text{cfu} \cdot \text{cm}^{-3}$) en sediment ($\text{cfu} \cdot (\text{g drooggewicht})^{-1}$) bij Den Oever buiten (loc. 2) en Nieuw Statenzijl (loc. 16) in september 1988 (cfu = colony forming units) (uit: Vethaak, 1992).

Locatie (nr)	Aantal bacteriën		
	<i>Vibrio</i>	<i>Aeromonas</i>	<i>Pseudomonas</i>
WATER (gepoolde monsters)			
Den Oever buiten (2)	> 900	140	650
Nieuwe Statenzijl (18)	19	17	>30
SEDIMENT (replica monsters)			
Den Oever buiten (2)	$2,4 \times 10^4$	$1,2 \times 10^3$	$1,8 \times 10^4$
	$2,4 \times 10^4$	$1,4 \times 10^3$	$7,0 \times 10^2$
Nieuwe Statenzijl (18)	$9,0 \times 10^2$	$4,0 \times 10^2$	$2,1 \times 10^2$
	$1,5 \times 10^4$	$9,0 \times 10^1$	$3,5 \times 10^2$
	$1,8 \times 10^4$	$6,0 \times 10^3$	$3,0 \times 10^3$
	$2,0 \times 10^4$	$5,6 \times 10^2$	$2,0 \times 10^3$

3.3.5 Totaalbeeld

In Tabel 8 is aangegeven of de betreffende gezondheidsparameter aan de buitenzijde (Waddenzee) van de spui significant verhoogd of verlaagd werd aangetroffen ten opzichte van de binnenzijde (IJsselmeer). De resultaten van het histologisch onderzoek laten zien dat de levers van de botten aan de buitenzijde van beide spuisluizen, maar met name bij Den Oever in het najaar, de meeste aandoeningen hebben. In dezelfde vissen worden ook de meeste miltafwijkingen gevonden.

Samengevat kan worden gesteld dat de conditiefactor van botten aan de buitenzijde van het spui lager was dan die aan de binnenzijde en dat de vissen aan de buitenkant tevens de meeste huidzweren en andere aandoeningen vertoonden.

Tabel 8

Verschillen tussen gezondheidsparameters van bot aan de buitenzijde (Waddenzee) van de spuisluizen ten opzichte van de binnenzijde (IJsselmeer) in de periode 1988-2000.

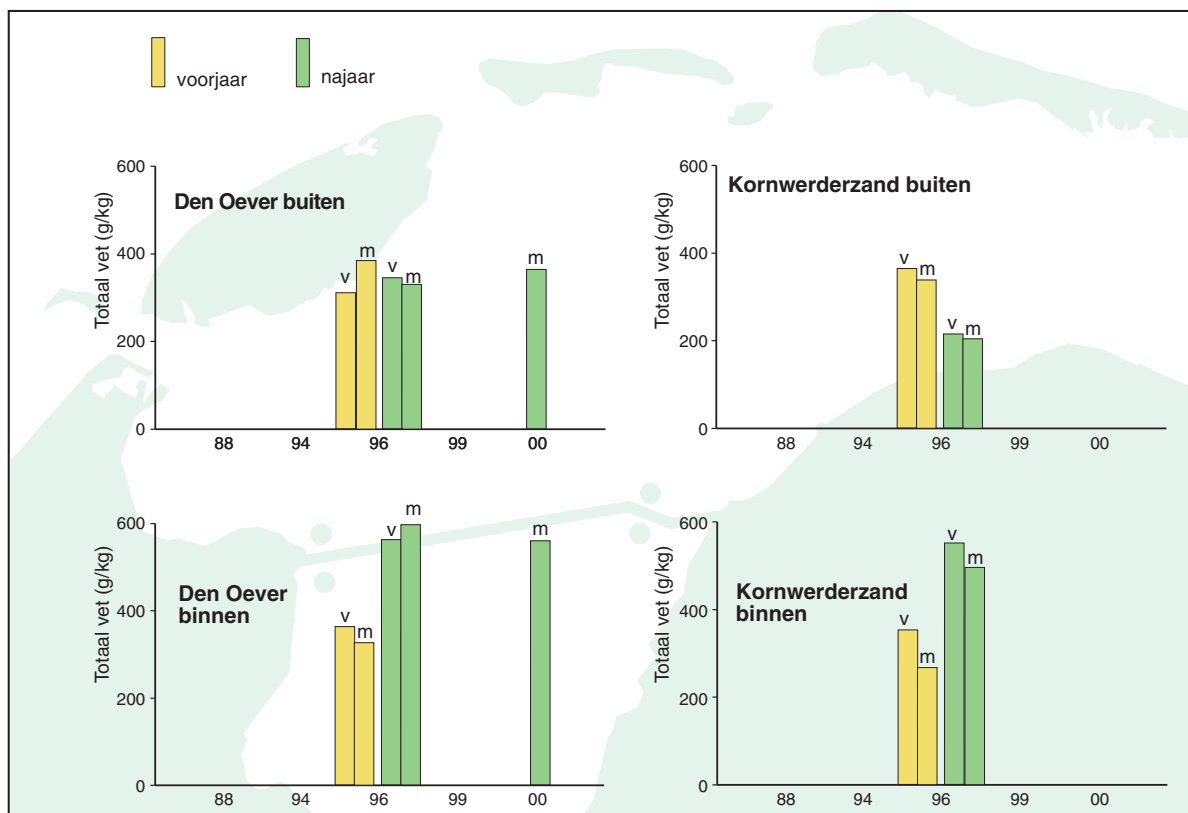
* = alleen in 1996 onderzocht.

	Den Oever voorjaar	Kornwerderzand voorjaar	Den Oever najaar	Kornwerderzand najaar
Visconditiefactor	-	-	-	-
Huidaandoeningen				
- huidzweren	++	++	++	++
- littekens	+	+	+	+
- vinrot	+	+	+	+
- wratziekte	+	+	+	+
Leveraandoeningen*				
- degeneratie levercel	gelijk	+	+	-
- degeneratie galgangepitheel	+	gelijk	++	+
- ontstekingen	gelijk	gelijk	gelijk	gelijk
Miltaandoeningen*				
- dichtheid MMC's	n.o.	n.o.	+	+

- parameter overwegend significant lager buiten dan binnen de spuisluizen
- + parameter overwegend significant hoger buiten dan binnen de spuisluizen
- ++ parameter veel hoger buiten dan binnen de spuisluizen
- n.o. = niet onderzocht

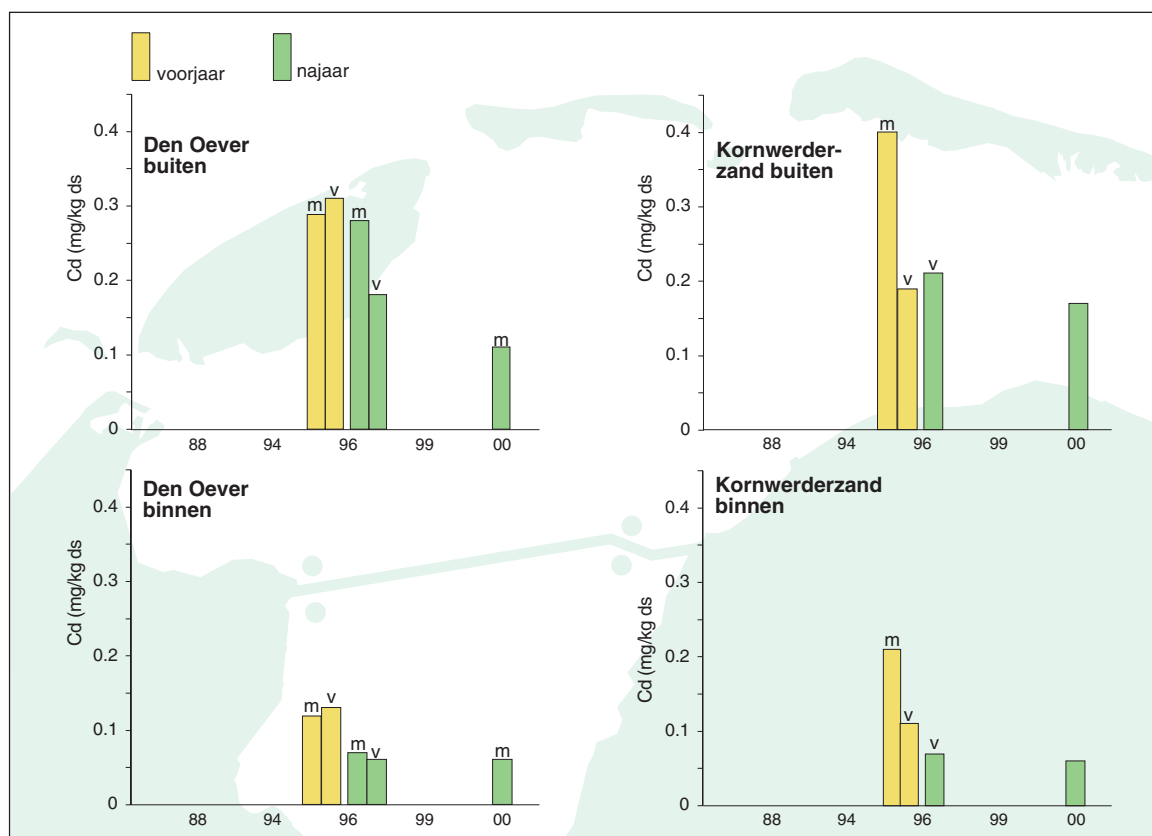
3.4 Resultaten chemische analyses

Omdat nog niet eerder chemisch onderzoek bij de spuisluizen is verricht en gerapporteerd, wordt hieronder uitvoerig verslag gedaan van de analyseresultaten. Analyseresultaten van botlevers en sedimenten staan vermeld in bijlagen 1 tot en met 8. Figuren 9 tot en met 10 tonen de resultaten voor respectievelijk Cd, PCB153 en HCB in botlever. Hoewel er voor een aantal stoffen verschillende gehalten in mannetjes en vrouwtjes werden aangetroffen, was het beeld niet consistent. Daarom zijn in 2000 alleen mannetjes geanalyseerd. De bespreking van de resultaten van de chemische analyses is vooral gericht op de verschillen tussen de binnen- en buitenzijde van de sluizen en spuien bij Den Oever en Kornwerderzand. In Tabel 9 wordt aangegeven of de betreffende parameter aan de buitenzijde (Waddenzee) van de spui en sluizen verhoogd of verlaagd werd aangetroffen ten opzichte van de binnenzijde (IJsselmeer). Een gedetailleerde beschrijving volgt hieronder.



Figuur 8

Totaal vetgehalte (g/kg natgewicht) in botlever op de buiten- en binnenlocaties van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand in 1996 en 2000 en twee seizoenen. De gepresenteerde cijfers verwijzen naar bot met een lengte van 20-24 cm. v = vrouwtjesbot en m = mannetjesbot.



Figuur 9

Gehalten van Cd (mg/kg droge stof) in botlever (met een lengte van 20-24 cm) op de buiten- en binnenlocaties van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand in 1996 en 2000 en twee seizoenen. v = vrouwtjesbot en m = mannetjesbot.

Tabel 9

Verschillen in chemische parameters aan de buitenzijde (Waddenzee) van de spui en sluizen ten opzichte van de binnenzijde (IJsselmeer).

	Den Oever voorjaar 1996	Kornwerderzand voorjaar 1996	Den Oever najaar 1996 en 2000	Kornwerderzand najaar 1996
Lever			96/00	
Vetgehalte*	gelijk	gelijk	-	-
Cd	+	+	+/+	+
Hg	+	+	+/+	+
Cu	+	+	+/+	+
Zn	gelijk	gelijk	+/gelijk	+
As	n.o.	n.o.	++	n.o.
HCB	-	gelijk	gelijk	gelijk
PCB153 en meeste andere PCB's	+	+	+	+
TBT, TPT en andere organotinverbindingen	n.o.	n.o.	+	n.o.
hydroxypyreen in gal*	+	++	+	++
Sediment			voorjaar 2001	voorjaar 2001
Cd, Hg	n.o.	n.o.	gelijk	gelijk
Cu	n.o.	n.o.	gelijk	gelijk
Zn	n.o.	n.o.	gelijk	gelijk
As	n.o.	n.o.	+	+
HCB	n.o.	n.o.	+	+
PCB153	n.o.	n.o.	+	+
TBT	n.o.	n.o.	--	-
TPT	n.o.	n.o.	-	gelijk
Σ 6 PAK's van Borneff	n.o.	n.o.	gelijk	+
minerale olie	n.o.	n.o.	gelijk	gelijk
ΣBDE 47 + BDE99	n.o.	n.o.	+	+
BDE209	n.o.	n.o.	gelijk	+
HBCD	n.o.	n.o.	gelijk	gelijk

- parameter lager buiten dan binnen de spuisluizen (2 x de analysefout)

+ parameter hoger buiten dan binnen de spuisluizen (2 x de analysefout)

++ parameter veel hoger buiten dan binnen de spuisluizen (factor 10)

-- parameter veel lager buiten dan binnen de spuisluizen (factor 10)

n.o. = niet onderzocht

* een fout van 25% is gehanteerd

3.4.1 Gehalten in lever of gal

Vetgehalte lever

Het vetgehalte van de lever ligt in alle gevallen tussen de 300 en 400 g/kg nat lichaamsgewicht, zowel in voor- als in najaar. Alleen botten die zich in het najaar aan de binnenzijde van de sluizen bevinden hebben een 1,5 tot 2,5 keer zo hoog vetgehalte (zie Figuur 8). Er zijn verder geen verschillen tussen mannetjes en vrouwtjes of tussen 1996 en 2000 geconstateerd. Uit de figuur kan worden afgeleid dat bot aan de buitenzijde van de spuisluizen in de zomer minder gunstige foerageermogelijkheden heeft gehad dan bot aan de binnenzijde, waardoor het vetgehalte lager is gebleven. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de botten aan de buitenkant langere tijd op de locaties voor de spuisluizen verbleven.

Metalen in lever

Op beide spuilocaties en zowel in 1996 als in 2000 waren de cadmium (Cd)- (Figuur 9) en kwik(Hg)-gehalten (niet getoond) in botlever (uitgedrukt op droge stof basis) buiten de spuisluizen een factor 2 tot 3 hoger dan die bij bot aan de binnenzijde.

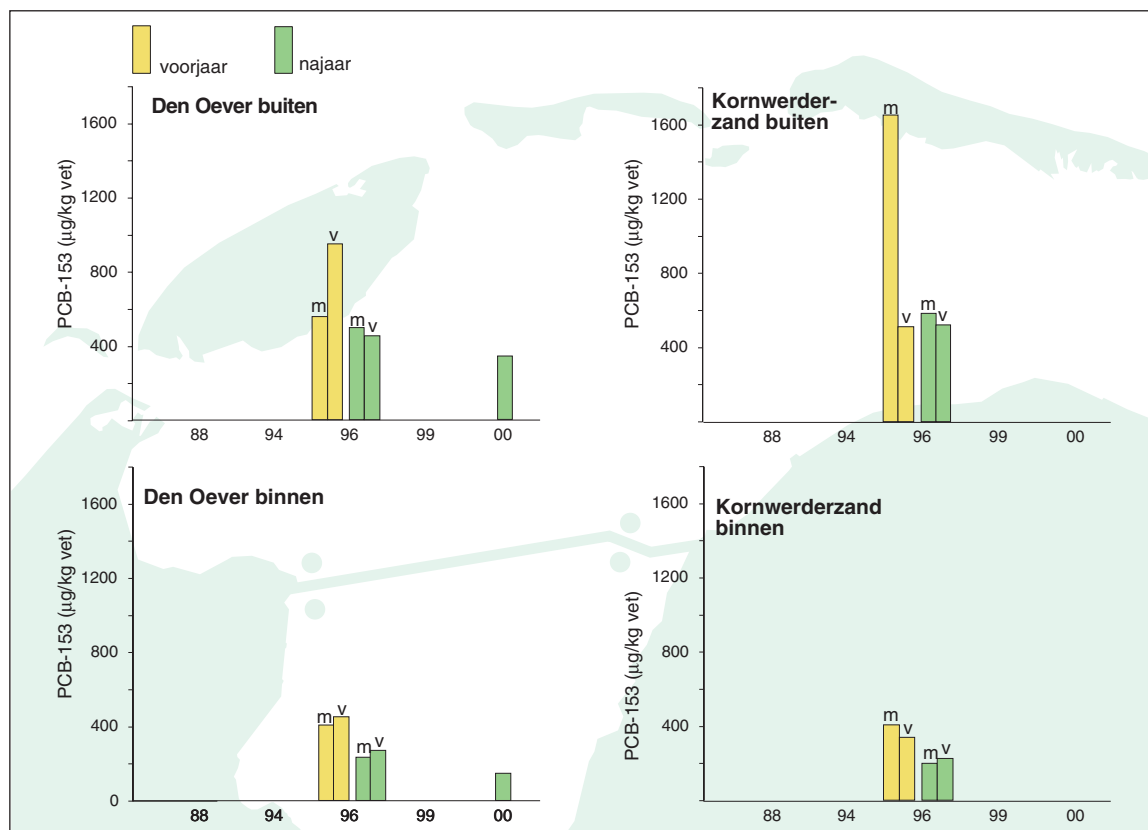
Bij Cd lijken de gehalten in het voorjaar van 1996 soms bovendien een factor 2 hoger dan in het najaar.

Verder is opvallend dat de gemeten Cd-gehalten in mannetjes in 2000 bij Den Oever-buiten lager zijn dan in 1996. Kwikgehalten zijn in 2000 alleen gedaald aan de binnenzijde van de sluizen.

De kopergehalten in botlever vertonen dezelfde trends als die van cadmium en kwik, dus buiten de sluizen hogere gehalten dan binnen. Zinkgehalten verschillen enigszins in 1996, maar in 2000 werd geen verschil opgemerkt. Echter, zowel koper als zink zijn essentiële metalen waarvan het gehalte tot op zekere hoogte door de vis gereguleerd wordt. Het is daarom niet verbazingwekkend dat de gehalten een geringere variatie over de locaties vertonen.

De gehalten aan chroom (Cr), nikkel (Ni) en lood (Pb) in botlever bleven in 1996 beneden de detectielimiet (Pb en Ni < 3,0 mg/kg droge stof en Cr < 1,0 mg/kg droge stof). In 2000 is voor Ni en Pb met een verlaagde detectielimiet gewerkt en werden deze metalen wel aangetroffen, echter in zeer lage gehalten, rond 0,1 mg/kg droge stof. De gehalten binnen en buiten de spuisluizen van Den Oever weken niet noemenswaardig van elkaar af.

Het arseengehalte (As) in 2000, tenslotte, bleek in botlever bij Den Oever-buiten met 13,8 mg/kg droge stof aanzienlijk hoger dan aan de binnenzijde waar slechts 0,25 mg/kg droge stof werd gemeten. As is alleen in 2000 gemeten, zodat geen data ter vergelijking beschikbaar zijn. Overigens is vaker geconstateerd dat As-gehalten aanzienlijk kunnen variëren. In een rapport van VROM (1989) wordt vermeld dat bij gelijke arseengehalten in zoete en zoute waterbodems de gehalten



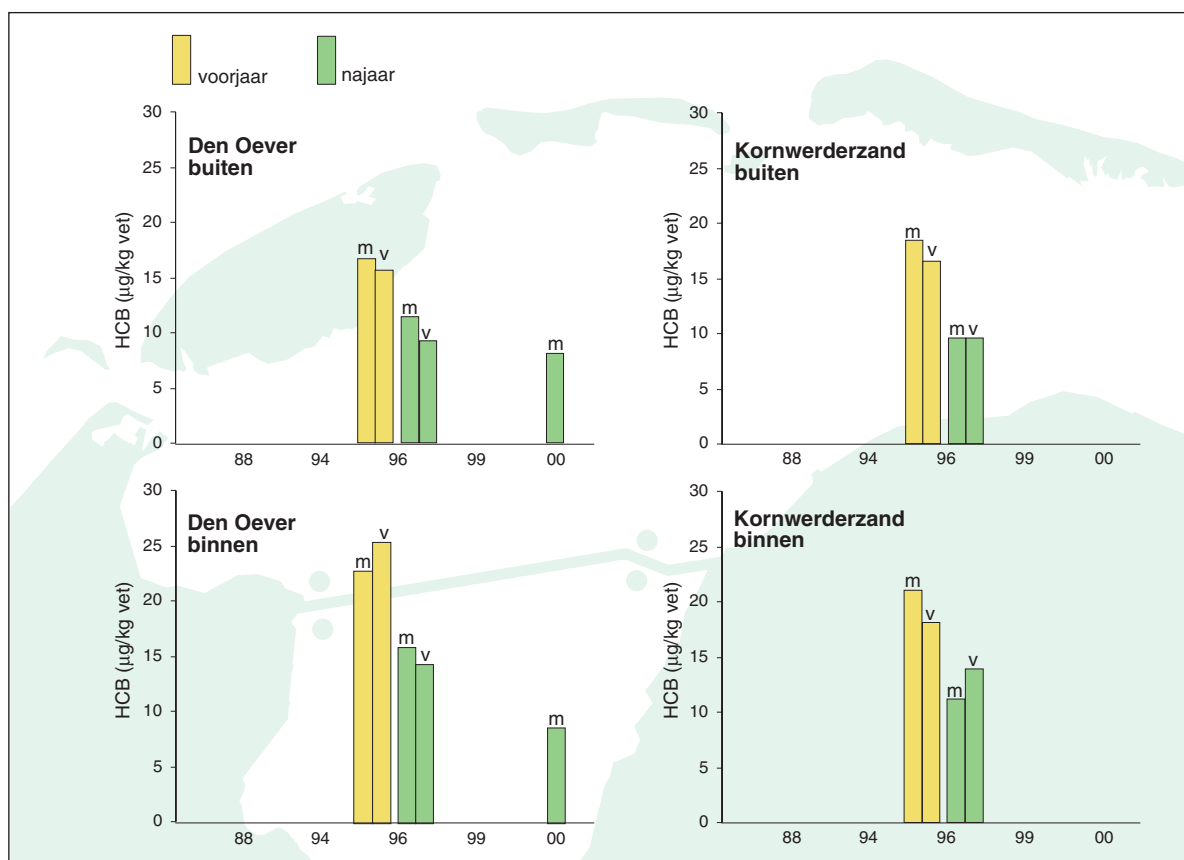
Figuur 10

Gehalten van PCB153 (µg/kg vet) in botlever (met een lengte van 20-24 cm) op de buiten- en binnenlocaties van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand in 1996 en 2000 en twee seizoenen. v = vrouwtjesbot en m = mannetjesbot.

in zoutwaterorganismen veel hoger zijn dan die in zoetwaterorganismen. De oorzaak voor dit fenomeen is onbekend.

PCB's en HCB in lever

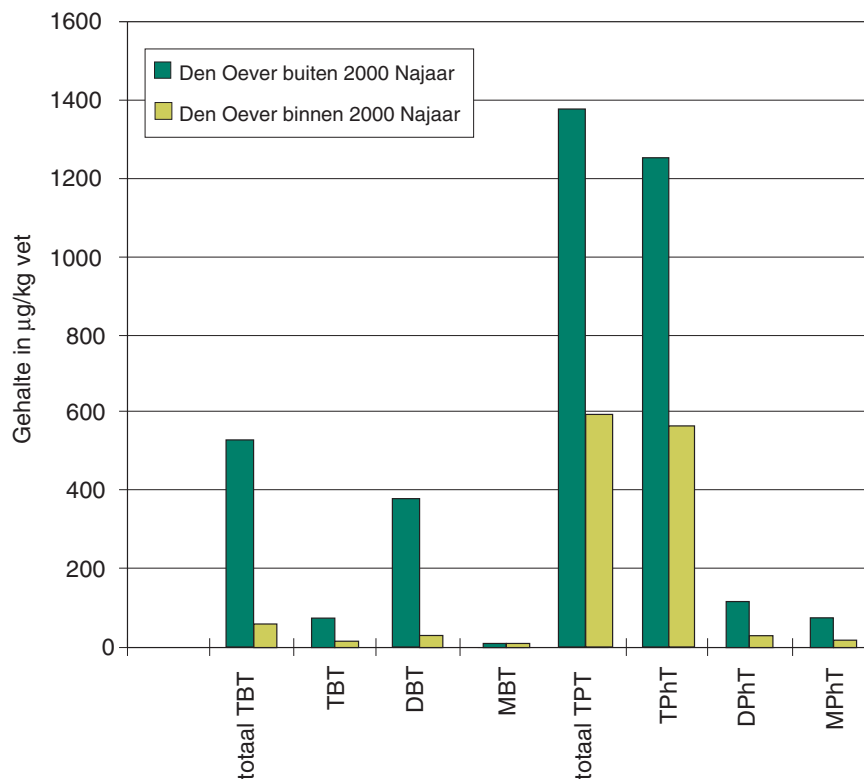
Zowel in het voorjaar als in het najaar zijn de gehalten van de meeste PCB's hoger in bot aan de buitenzijde dan die aan de binnenzijde van de spui bij Den Oever en Kornwerderzand. Figuur 10 toont dit verschil voor PCB153. Het verschil bedraagt soms ruim een factor twee, zoals het piekgetal bij Kornwerderzand voor mannetjes in het voorjaar van 1996. Verder zijn de PCB gehalten in botlever net als de metalen in het voorjaar (PCB153: 0,43-1,41 mg/kg vet) ongeveer een factor 2 hoger dan in het najaar (PCB153: 0,23-0,61 mg/kg vet). Voor de hogere congenen gelden vergelijkbare patronen. Voor een aantal lagere PCB's (PCB28 en PCB31) lijkt juist het omgekeerde te gelden, deze bereiken vaak hogere gehalten in botlever aan de binnenzijde van de sluizen dan aan de buitenzijde. De verschillen liggen echter binnen de analysefout van deze PCB's, zodat ze niet perse relevant hoeven te zijn.



Figuur 11

Gehalten van HCB ($\mu\text{g/kg}$ vet) in botlever (met een lengte van 20-24 cm) op de buiten- en binnenlocaties van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand en twee seizoenen. v = vrouwtjesbot en m = mannetjesbot.

Uit Figuur 11 blijkt dat de gehalten aan HCB in botlever tussen de locaties nauwelijks verschillen, met uitzondering voor Den Oever waar aan de IJsselmeerkant de HCB gehalten hoger zijn dan die aan de Waddenzeekant. Najaar 1996 en in 2000 was dit verschil echter verdwenen.

**Figuur 12**

Gehalten van organotinverbindingen (µg/kg vet) in botlever (vrouwtjes met een lengte van 20-24 cm) op de buiten- en binnenlocaties van de spuisluizen bij Den Oever in het najaar 2000.

Organotin in lever

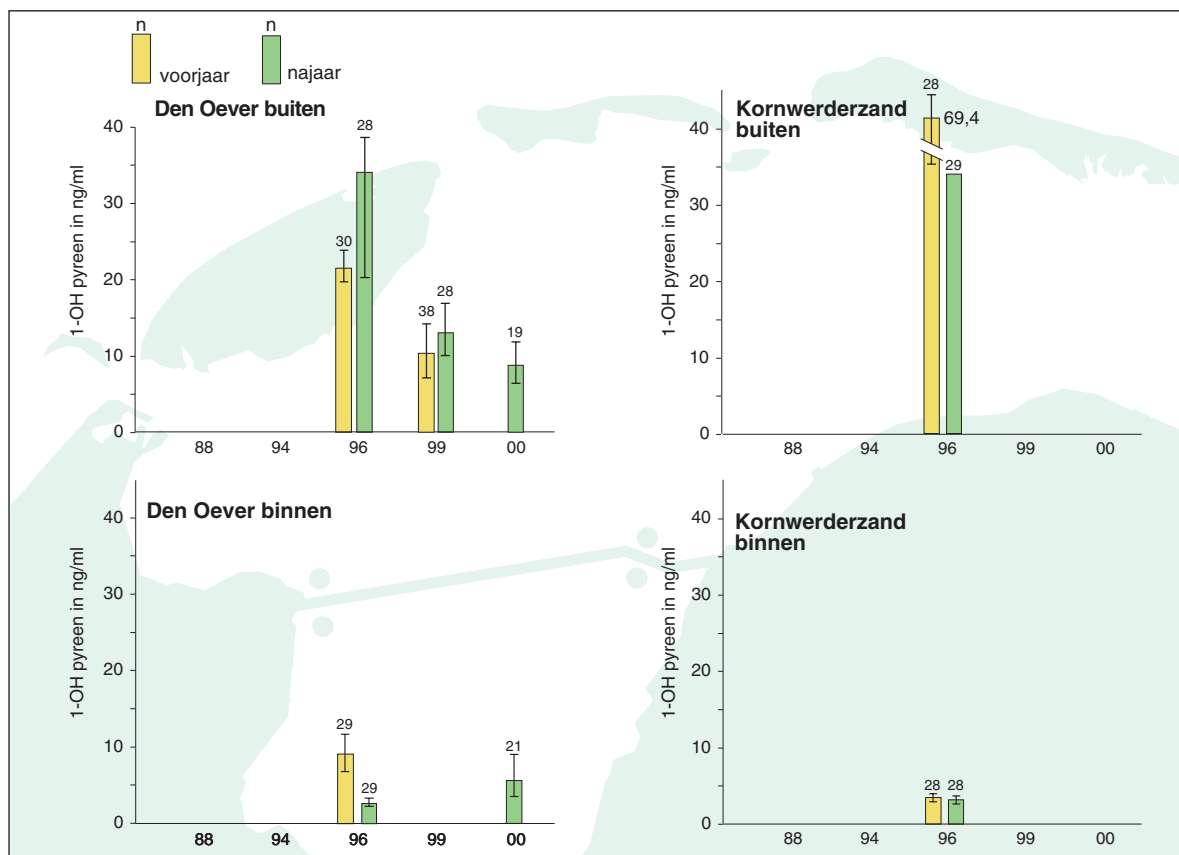
Organotiningehalten zijn in botlever buiten de sluisen veel hoger dan er binnen (uitgedrukt op droge stof basis én op vetbasis, zie respectievelijk Bijlage 1 en Figuur 12). Dit geldt zowel voor de som van de organotiningehalten als voor de verschillende verbindingen afzonderlijk (Figuur 12). Uit de figuur kan worden afgeleid dat de antifoulingstof tributyltin (TBT) kennelijk snel in de botlever wordt afgebroken tot de metabolieten DBT en MBT, want vooral deze verbindingen zijn aangetroffen in de vislever. Het landbouwbestrijdingsmiddel trifenyltin (TPT) daarentegen is voornamelijk in zijn oorspronkelijke vorm aanwezig en lijkt dus veel minder te worden afgebroken.

1-OH pyreen in gal

Figuur 13 laat de gehalten van 1-OH pyreen in visgal gemeten in 1996 en 2000 zien. Deze marker geeft een goede indicatie van de blootstelling aan PAK's bij de vis. PAK metabolieten werden op alle onderzochte locaties in voorjaar en najaar aangetroffen. Tussen beide seizoenen zijn op de verschillende locaties geen consistente verschillen gevonden. Gehalten op spuilocaties aan de Waddenzeekant zijn echter veel hoger (in 1996 een factor 2 tot 20) dan die aan de IJsselmeerkant. Voor Den Oever kan een vergelijking tussen de jaren worden gemaakt: de gehalten in 2000 zijn lager dan die in 1996, zowel buiten als binnen de sluisen.

3.4.2 Gehalten in sedimenten

In Bijlage 2 tot en met 8 zijn de gehalten van de verontreinigingen weergegeven. Alle resultaten zijn uitgedrukt op basis van droge stof gehalte en genormaliseerd voor standaardbodem.



Figuur 13

De concentraties van 1-OH pyreen (ng/ml; Abs 380-genormaliseerd) in gal van bot (met een lengte van 20-24 cm) op de buiten- en binnenlocaties van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand in 1996 en 2000 en twee seizoenen. n=aantal onderzochte vissen.

Metalen

De meeste metaalgehalten in sediment (Cd, Hg, Cu en Zn) zijn aan weerszijden van de sluizen en spui van Den Oever en Kornwerderzand gelijk. Ten opzichte van andere sedimenten in de Waddenzee verder weg van de sluizen en spui liggen de gehalten enigszins verhoogd, met uitzondering van Cu en Zn. Verder zijn de sedimentgehalten van de metalen Cu, Hg, Zn en Pb in de visserijhaven van Den Oever (loc. 2b) flink hoger dan nabij de spui en sluizen van Den Oever en Kornwerderzand.

De gehalten van de metalen chroom (Cr), arseen (As) en nikkel (Ni) zijn over alle locaties globaal gelijk en vertonen geen consistent patroon. Wel vertoont As bij de spui van zowel Den Oever (maar niet de sluis) als Kornwerderzand aan de binnenkant verlaagde gehalten in het sediment.

PAK's, PCB's, HCB

Wat betreft de beide spuien van Den Oever en Kornwerderzand zijn de gehalten van PAK's, PCB's, HCB aan de buitenkant veelal hoger dan aan de binnenkant. De enige uitzondering vormen PAK-gehalten in de sedimenten bij aan weerszijden van de spui van Den Oever die niet van elkaar verschillen. Nabij deze locatie, direct buiten de sluis van Den Oever (loc. 3a), werden overigens juist lagere gehalten aan PAK's aangetroffen dan aan de binnenzijde.

Het meest opvallende is echter dat ook PAK's, PCB's en HCB in de visserijhaven van Den Oever (loc. 2b) veel hoger zijn dan op de meeste overige bemonsterde locaties en zelfs hoger dan in de havens van Rotterdam en Amsterdam (de Boer *et al.*, 2001).

Broomhoudende vlamvertragers

Het analysepakket van de broomhoudende vlamvertragers betrof 23 congenere, waarvan er uiteindelijk slechts 6 in de sedimenten zijn aangetroffen. Dit zijn de verbindingen BDE47, BDE99, BDE153, HBCD, TBBP-A en BDE 209. De BDE's en TBBP-A komen aan de buitenzijde van de spui bij Den Oever en Kornwerderzand in hogere gehalten voor dan aan de binnenzijde. Verder is opmerkelijk dat de BDE's vooral op locaties verder in de Waddenzee voorkomt (loc. 2c, 2d, 2e, 2f). Daarmee lijkt de verspreiding van de broomhoudende vlamvertragers volledig onafhankelijk te zijn van de andere verontreinigingen.

Organotinverbindingen

Het gehalte aan TBT is in de visserijhaven van Den Oever (loc 2b) veel hoger (ca. factor 50) dan op de overige bemonsterde locaties, en ook hoger dan in de havengebieden van Amsterdam en Rotterdam. Verder zijn de gehalten juist aan de binnenzijde van de sluis en de spui van Den Oever en Kornwerderzand hoger dan aan de Waddenzeekant. Ook het landbouwbestrijdingsmiddel TPT vertoonde verhoogde gehalten (ca. factor 3) in de visserijhaven van Den Oever ten opzichte van de andere bemonsterde locaties. Dit gehalte is echter wel vergelijkbaar met die aan de binnenkant van de spui van Den Oever. Ook is deze verhoging met een factor 3 niet zo groot als werd geconstateerd voor TBT. Gehalten van de afbraakproducten van TBT en TPT in het sediment zijn aanmerkelijk lager dan van de oorspronkelijke verbindingen en vertonen geen eenduidig patroon m.b.t. hun voorkomen.

Minerale olie

De gehalten aan minerale olie laten voor Den Oever een beeld van deze verontreiniging zien dat overeenkomsten vertoont met de PAK-gehalten, oftewel: verhoogde gehalten in de visserijhaven van Den Oever, gelijke gehalten aan weerszijden van de spui en lagere gehalten aan de buitenzijde van de sluizen van Den Oever. Bij Kornwerderzand werden de verhoogde gehalten aan PAK's aan de buitenzijde van de spui niet bevestigd door de minerale olie gehalten die aan weerszijden van de spui vergelijkbaar was.

3.4.3 Integratie van gehalten in bot en sediment

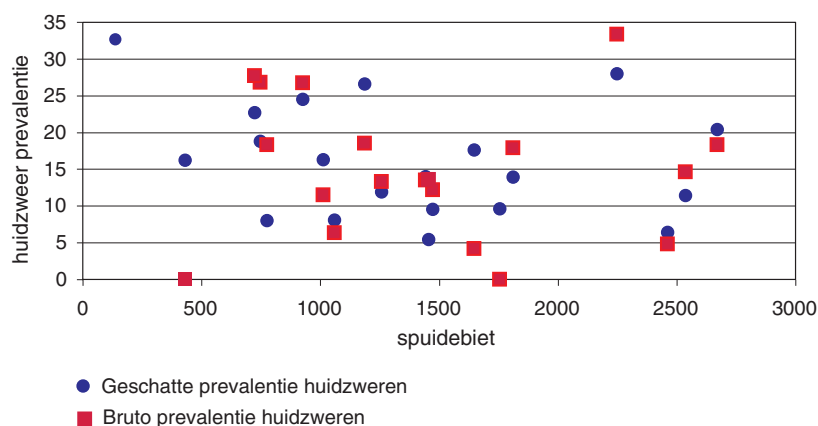
De uitgevoerde analyses geven een relatief consistent beeld van de aanwezigheid van microverontreinigingen in vis en sediment aan weerszijden van de sluizen. Zo bevatten botten aan de buitenzijde van de sluizen, de Waddenzeekant, over het algemeen hogere gehalten milieucontaminanten (meeste metalen, PCB's, organotinverbindingen, PAK-marker) dan hun soortgenoten aan de binnenzijde. Dit is opmerkelijk omdat de gehalten van de meeste van deze microverontreinigingen in de sedimenten aan de buitenzijde over het algemeen gelijk of zelfs lager zijn dan aan de binnenzijde (metalen, organotinverbindingen, PAK's). Ondanks deze lagere blootstelling nemen botten aan de buitenzijde van de spui blijkbaar toch meer microverontreinigingen op of scheiden ze slechter uit. Bovenstaande geldt overigens niet voor HCB en de PCB's, waarvoor gehalten aan de buitenzijde zowel in bot als in sediment verhoogd lagen.

3.5 Correlaties van ziekte-optreden met spuidebiet, microverontreinigingen en conditiefactor

Met de gegevens van zweren en spuidebieten is voor de buitenlocaties van de spuisluizen bij Den Oever en Kornwerderzand een statistische analyse uitgevoerd. Uit de analyse bleek geen eenduidige relatie tussen het voorkomen van zweren bij bot en het gemiddelde spuidebiet (kwartaalgemiddelde voor afgaand aan het visziekteonderzoek) (Figuur 14).

Figuur 14

Relatie tussen de aanwezigheid van huidzweren en spuidebiet in 1988-2000 (er werd geen significante correlatie gevonden).



Zoals te verwachten, bleek er wel een significante relatie tussen de geschatte prevalentie en de bruto prevalentie van huidzweren te zijn (Tabel 10). Er zijn daarnaast een aantal significante correlaties tussen de zweerprevalentie en bepaalde microverontreinigingen in sediment en botlever gevonden (Tabel 10). Zo is er een significant positief verband tussen het voorkomen van zweren en de gehalten aan en PCB153 in de lever (uitgedrukt op vetbasis), metalen (zoals Cd) in de lever en 1-OH pyreen in de gal. Daarentegen bestaat er een significant negatief verband tussen de zweerprevalentie en het gehalte minerale olie in sediment. Verder zijn de gehalten van een aantal verontreinigingen allen significant met elkaar gecorreleerd (PCB153 in de lever, Cd in de lever, 1-OH pyreen in gal en TBT in sediment). Wel dient opgemerkt te worden dat deze correlaties, hoewel significant, slechts gebaseerd zijn op enkele waarnemingen en dat soms één enkele waarneming in hoge mate de correlatiecoëfficiënt in positieve of negatieve zin kan beïnvloeden. Er zijn verder correlaties gevonden, hoewel niet statistisch significant, tussen het voorkomen van lever- en miltafwijkingen en de gemeten microverontreinigingen. Er is geen significant verband tussen de kans op zweren en de visconditiefactor. Wanneer de sedimentgehalten aan de binnenzijde (loc. 3) en buitenzijde (loc. 2) van de spuisluis van Den Oever worden gemiddeld met de gehalten gemeten op de overige locaties nabij de sluisen (respectievelijk loc. 3a en loc. 2a, 2c), verandert dit patroon niet. Wel zijn er meer onderlinge correlaties tussen de verschillende verontreinigingen in het sediment.

Tenslotte wordt opgemerkt dat er sprake is van het gelijktijdig optreden van verhoogde zweerprevalenties en verhoogde gehalten aan TBT (en afbraakproduct DBT), TPT en As in botlever bij de buitenzijde van de spuisluis van Den Oever in 2000, hoewel dit door de beperkte hoeveelheid gegevens statistisch niet onderbouwd kan worden.

Tabel 10

Correlatiematrix van
huidzweerprevalenties en
concentraties van geselecteerde
microverontreinigingen in vislever
en sediment (alleen de significante
relaties worden getoond; $p < 0,05$).

- 1 huidzweren (geschatte prevalentie)
- 2 huidzweren (waargenomen prevalentie)
- 3 PAK metaboliet in gal (ng/ml/Abs 380)
- 4 Cd in lever (mg/kg d.s.)
- 5 PCB153 in lever (microgram/kg vet)
- 6 TBT sediment (microgram/kg d.s. < 63 μm)
- 7 TPHT sediment (microgram/kg d.s. < 63 μm)
- 8 olie sediment (mg/kg d.s. < 63 μm)

Pearson correlaties (r²)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1								
2	0.9367							
3	0.9997							
4	0.9822	0.8624	0.9971					
5	0.9691		0.9756	0.9640				
6								
7						0.9900		
8	-0.9689							

P-waarden

1								
2	0.0006							
3	0.0003							
4	0.0005	0.0271	0.0029					
5			0.0244	0.0019				
6								
7						0.0100		
8	0.0311							

Aantal waarnemingen

1								
2	8							
3	4							
4	4	6	4					
5			4	6				
6								
7						4		
8	4							

4 Discussie

4.1 Temporele en ruimtelijke trends in de aanwezigheid van visziekten

De aanwezigheid van huidzweren bij bot aan de Waddenzee-kant van de spuisluizen in de Afsluitdijk vertoont over de hele periode 1988-2000 een neerwaartse trend, met uitzondering van een tijdelijke verhoging in 1996. De zweerprevalenties zijn in deze periode afgenomen van ca. 30 naar 10%. Aan de buitenzijden zijn de prevalenties echter nog hoog ten opzichte van de binnenzijde aan de IJsselmeerkant, waar de prevalenties zijn gedaald tot minder dan 1%. Een gelijktijdige dalende trend naar een niveau van <2% is voor littekenwonden (geheelde zweren) waargenomen, zowel buiten als binnen de sluisen. De andere onderzochte huidziekten (wratziekte, vinrot) laten eveneens in de afgelopen jaren een dalende trend op de twee spuilocaties zien, de prevalenties zijn sterk gedaald tot waarden beneden de 1%.

De drastische vermindering in huidzweren en andere huidziekten bij bot in de periode 1988-1996 geldt, voor zover bekend, ook voor andere locaties in het Nederlandse Waddenzeegebied en de Hollandse kustwateren (Vethaak *et al.*, 2000).

Het onderzoek laat duidelijk zien dat de gezondheid van bot op de spuilocaties voor de Afsluitdijk nog steeds is aangetast. De vissoort hier vertoont ook na 1996 een sterk verhoogde prevalentie van huidzweren. Histologisch onderzoek in 1996 toont dat de vissoort hier ook relatief veel afwijkingen aan de lever en milt vertoont die waarschijnlijk het gevolg zijn van blootstelling aan toxische stoffen. Bij riviermondingen met open verbindingen naar zee worden deze ziekteverschijnselen niet of in beperkte mate waargenomen. Dit beeld wordt nog eens bevestigd in andere veldstudies. Bij de monding van het Haringvliet bleek in september 1988 23% (Vethaak en Everts, 1993), en in juni en oktober 2002 respectievelijk 19% en 30% van de botten met huidzweren aangetast te zijn (RIKZ, ongepubliceerde gegevens). Ook bij bot van het Noordzeekanaal rondom de spuisluizen van IJmuiden (Pieters *et al.*, 2001), de uitlaat bij Bath in de Westerschelde (Vethaak en Everts, 1993) en in mindere mate bij de spuisluiscomplexen bij het Lauwersmeer en de haven van Harlingen (Vethaak *et al.*, 1996, 2000) is sprake van een verhoogd ziektevoorkomen. Daarentegen laten de monitoringresultaten van visziekten in de monding van de Westerschelde en de Eems sinds 1983 altijd veel lagere ziekteprevalenties voor bot zien (gemiddeld 1 tot 3%) (Vethaak en Jol, 1996; RIKZ, JAMP gegevens).

4.2. Mogelijke oorzaken van het verhoogde ziekteoptreden bij de spuilocaties

4.2.1 Bacteriën

Huidzweren zijn aandoeningen met een zogeheten gemengde aetiologie, d.w.z. dat bij het ontstaan van huidzweren zowel biotische (ziekteverwekkende bacteriën) als abiotische (ziektebevorderende)

factoren betrokken zijn. Veel studies bevestigen de rol die bacteriën en beschadigingen van de huid bij de zweervorming spelen (Sindermann, 1996). Meestal gaat het om zogeheten obligate bacteriënsoorten die normaal in water aanwezig zijn, maar bij een dominante ontwikkeling, bijvoorbeeld als gevolg van veel dood organisch materiaal, gemakkelijk tot secundaire infecties kunnen leiden. De mogelijke betrokkenheid van bepaalde bacteriën bij de zweervorming wordt ook in dit onderzoek bevestigd. De bevindingen uit 1988 wijzen op een verhoogde aanwezigheid van bacteriën in de spuikom, die hier kan resulteren in een vergrote kans op infecties bij bot.

4.2.2 Wisselingen in zoutgehalte

Botten die te maken hebben met wisselende zoutgehalten moeten zich daaraan continu aanpassen. Dit gebeurt via het proces van osmoregulatie. Osmoregulatie is een complex proces waarbij de concentraties van water en zouten worden gereguleerd om het zoutgehalte constant te houden (homeostase). Het is een vitale functie van belang voor visgezondheid en het immuunsysteem. Abrupte en continue wisselingen in zoutgehalten zullen op den duur de water- en ionenhuishouding bij de vis ontregelen en vormen derhalve een belangrijke risicofactor (Vonck, 1999).

Hoewel huidzweren duidelijk meer voorkomen onder botten bij spuisituaties, ontbreekt een duidelijke samenhang met het spuidebiet. Dit duidt erop dat nog andere factoren bij het ziekte-optreden een rol spelen, zoals bijvoorbeeld de mate van zoutgehaltewisselingen per tij. Deze factor is niet in beeld gebracht tijdens deze studie.

Met het spuiwater wordt ook een grote hoeveelheid voedingsstoffen, plankton en dood organisch materiaal meegevoerd waardoor het water in de Waddenzee en het wadsediment worden verrijkt met organisch materiaal. Dit organisch materiaal heeft een hoge voedingswaarde en vormt lokaal een belangrijke voedingsbron voor organismen op en in het sediment. In recent bodemfaunaonderzoek in de spuikommen van Den Oever en Kornwerderzand werd echter een totaal levenloze bodemlaag aangetroffen (AquaSense, 2001). De waarnemingen zijn bevestigd door eigen onderzoek (Jol, pers. waarneming). De levenloze bodemlaag duidt op zeer slechte leefomstandigheden voor botten die in deze spuikommen leven. Verondersteld kan worden dat de diepte en de vorm van de spuikommen wordt bepaald tijdens situaties met zeer extreme afvoeren. Bij verminderde afvoer ontstaat zoutstratificatie en fungeert de spuikom als invangbekken van slib en organisch materiaal. Deze combinatie veroorzaakt mogelijk zuurstofloosheid met nadelige gevolgen voor de bodemfauna en voor botten. Bij lagere afvoeren fungeert de kom als een bezinkput van slib en organisch materiaal. Door microbiële afbraak van het organisch materiaal in het sediment van de spuikom zullen tijdens de zomer regelmatig zuurstofloze condities kunnen optreden.

De slechte leefomstandigheden in de spuikommen zijn mogelijk een oorzaak van de verslechterde voedingstoestand van de botten en de verhoogde bacteriële druk. De ongunstige condities in combinatie met mogelijke perioden van zuurstofloosheid kunnen het risico op secundaire infecties en daarmee op huidzweren sterk vergroten.

4.2.3 Visconditietoestand

De aanwezigheid en beschikbaarheid van voedsel (energie) zijn belangrijke factoren voor de gezondheid en een goed functionerend

immuunsysteem van de vis. Uit dit onderzoek blijkt geen significante relatie tussen de conditiefactor van bot (zonder huidzweren) op de buitenlocaties en de prevalentie en ernst van huidzweren. In eerder onderzoek (Vethaak, 1992) werd echter wel een sterk negatief verband gevonden tussen de mate van verzwering en de conditiefactor bij individuele vissen. Het was hierbij echter niet duidelijk of de verminderde conditietoestand tot zweervorming had geleid, of vice versa. Wel kan beredeneerd worden dat botten die 's zomers voor de spuisluizen verblijven doorgaans een lagere conditiefactor hebben. De verminderde conditietoestand en lage vetgehalten zoals die zijn geconstateerd in het voorjaar houden verband met het verminderde voedselaanbod in de winter, waardoor de botten op hun vetreserves interen. Normaliter zouden deze vetreserves in de voedselrijke zomer weer worden aangevuld. Dit onderzoek toont aan dat botten aan de binnenzijde van de sluizen, die foerageren in het (voedselrijke) IJsselmeerwater, inderdaad na de zomer hun vetreserves aanzienlijk hebben verhoogd (factor twee). Dit laatste uit zich ook in een doorgaans licht verhoogde conditiefactor. De botten aan de buitenzijde van de sluizen aan de Waddenzeekant daarentegen hebben een wat lagere conditiefactor en geen verhoogde vetreserves in het najaar. Dit kan als volgt worden verklaard: het natuurlijke gedrag van jonge botten is om in het voorjaar naar zoet water te trekken. Daarbij verzamelen de botten van de Waddenzee zich op die plaatsen waar zoet water de zee instroomt, kortom de sluizen en de spui. Deze locaties zijn voedselarm en dragen dus niet bij aan het verhogen van de vetgehalten in de botten op deze locaties. Ook de osmotische stress (zoet-zoutschommelingen) en toxische stress kosten mogelijk veel energie. Dit verklaart waarom botten die het niet lukt het IJsselmeer binnen te trekken, in het najaar een lager vetgehalte hebben dan botten die wel in het IJsselmeer hebben gefoerageerd. In deze studie is de conditiefactor gebruikt als indicator voor de voedingsgesteldheid en energievoorraad van de vis. Door de ontregeling van de homeostase, als gevolg van de voortdurende zoet-zoutschommelingen, kan het vet- en watergehalte van bot op de binnen- en buitenlocaties echter aanzienlijk verschillen. Om meer duidelijkheid hierover te krijgen is gericht onderzoek naar de lichaamssamenstelling van bot nodig.

4.2.4 Milieuverontreinigingen

De chemische data duiden op een verhoogde aanwezigheid van metalen, organotinverbindingen en PAK's in bot aan de buitenzijde van de spuisluizen in tegenstelling tot de binnenzijde (zie 3.4.3). Een mogelijke verklaring hiervoor is een vergrote biologische beschikbaarheid van deze stoffen en/of een veranderde opname of eliminatie van deze stoffen in de vis. De andere mogelijkheid, verhoogde gehalten in het voedsel van de bot, lijkt minder waarschijnlijk door de relatieve voedselschaarste aan de buitenzijde van de sluis (zie 4.2.3). De verhoogde gehalten aan organische contaminanten in botlever aan de buitenzijde van de spuisluizen kan mogelijk ook verklaard worden door redistributie van deze stoffen als gevolg van intering op vetreserves.

Bekend is dat omgevingsfactoren zoals saliniteit, temperatuur en complexvorming de speciatie en dus ook de biobeschikbaarheid van contaminanten voor levende organismen kunnen veranderen. Daarbij beïnvloeden saliniteit en temperatuur ook de fysiologische werking van de organismen wat op zijn beurt veranderingen in de opname en excretie kan veroorzaken met wijzigingen in bioaccumulatie als gevolg. Bovendien kunnen de effecten van saliniteit op de fysiologische

conditie van de blootgestelde organismen ervoor zorgen dat de gevoeligheid voor stoffen wijzigt. Dit kan zich uiten in een wijziging in de lichaams- of weefselconcentraties waarboven negatieve effecten optreden. Vonck (1999) toonde in experimenten aan dat het effect van cadmium op zoutwatervissen wordt versterkt door de vissen bloot te stellen aan een wisselend zoutgehalte. Hij concludeerde dat stoffen zich in zoet water chemisch anders gedragen dan in zeewater en een ander effect hebben op zoetwatervissen dan op zoutwatervissen. De biologische effecten van microverontreinigingen kunnen in abrupte zoet-zout overgangen zoals bij spuisluizen, waar de saliniteit sterk en onregelmatig fluctueert, dus groter zijn dan in natuurlijke estuariene systemen en niet fluctuerende brakke en mariene systemen.

Ongeacht de verklaring voor de waarneming van hoge interne gehalten in bot in de spuikommen betekent dit hoe dan ook een extra risico voor vissen die langdurig in verontreinigde sterk wisselende zoet-zout overgangen verblijven. De consequenties van dit verschijnsel voor risicobeoordeling en normstelling zijn nog grotendeels onbekend en dienen nader onderzocht te worden. In sommige normstelling wordt overigens voor dergelijke, elkaar versterkende effecten een zogenaamde veiligheidsfactor (meestal 100) opgenomen.

In dit onderzoek zijn verscheidene aanwijzingen gevonden die duiden op een schadelijke invloed van chemische verontreinigingen op de gezondheid van botten bij spuisluizen:

(1) Er is een statistische correlatie gevonden tussen zweeroptreden en interne contaminantgehalten. Van tenminste een aantal van de gemeten contaminanten (TBT, PAK's en PCB's) is bekend dat ze het afweerapparaat van vissen kunnen ondermijnen (Vos *et al.*, 1996; Grinwis *et al.*, 1998; 2000; Dunier *et al.*, 1992). Ook bij de epidemie van de "zeehondenziekte" in de Waddenzee wordt een mogelijke rol van contaminanten door een verminderde immuunfunctie tegen infectieziekten gesuggereerd (Jensen *et al.*, 2002). Verder is in recent Engels onderzoek aangetoond dat milieurelevante gehalten aan organotinverbindingen (TBT en TPT) in het sediment de ionregulering van bot kunnen ontregelen (Hartl *et al.*, 2001).

(2) De bij spuilocaties vastgestelde leveraandoeningen (hydropische aandoeningen van levercel en galgangepitheel) bij bot zijn waarschijnlijk het directe gevolg van blootstelling aan bepaalde milieuverontreinigingen. Experimenteel onderzoek heeft namelijk aangetoond dat deze aandoeningen door verscheidene verontreinigingen, zoals PCB's en PAK's, kunnen worden opgewekt (Myers *et al.*, 1998; Vethaak *et al.* 1996).

(3) Tot slot vertoonden de vissen met leveraandoeningen ook een verhoogde dichtheid aan melanomacrophage centra in de milt. Deze resultaten wijzen erop dat het immuunsysteem van de vissen in een verhoogde mate aan milieustress, waaronder milieuverontreinigingen, is blootgesteld geweest (Kranz, 1989; Bucke *et al.*, 1992).

Uit het voorgaande kan worden afgeleid dat milieuverontreinigingen een rol spelen bij het ontstaan van bepaalde leverafwijkingen bij bot en mogelijk ook bij een vermindering van de afweer en daarmee de ontwikkeling van zweren. Om meer duidelijkheid over dit laatste te krijgen is experimenteel onderzoek nodig.

4.2.5 Huidbeschadigingen

Bij het ontstaan van huidzweren spelen beschadigingen van de huid mogelijk ook een rol. Hierdoor wordt de kans op secundaire bacteriële infecties namelijk vergroot. Beschadigingen van de huid zijn regelmatig in het onderzoek waargenomen en hebben een verschillende oorzaak. Zo worden bij de fuikenvisserij niet zelden beschadigde botten (parasietenvraat en discard: het overboord gooien van de bijvangst) weer in het water teruggezet. Ook werden er bij botten schaafwonden aangetroffen die mogelijk verband hielden met uitspoeling van de vis via de spuikokers. Deze kokers zijn voorzien van ruwe wanden waarlangs de vis als het ware wordt geschuurd. De mate waarin huidbeschadigingen bijdragen aan het ontstaan van huidzweren is aan de hand van de waargenomen aantallen vissen met littekens op enkele procenten geschat.

In het onderzoek zijn geen aanwijzingen voor predatie door vogels en parasitisme door rivierprikken gevonden.

Tot slot is er de mogelijkheid dat bepaalde toxische dinoflagellaten of chemische stoffen de beschermende slijm laag van de vis aantasten (Noga, 1996; Sindermann, 1996), waardoor deze gevoelig wordt voor zweervorming. Of deze factoren hebben bijgedragen aan de ontwikkeling van huidzweren bij de spuisluizen is onbekend.

4.2.6 Belemmering visintrek

De grote stroomsnelheden door de spuikokers vormen voor de botten een knelpunt bij het passeren van spuisluizen (zie paragraaf 1.5). De bot wordt langdurig gedwongen in het ongunstige watermilieu voor de sluisen te verblijven, voordat hij kans ziet het IJsselmeer te bereiken. Door het gedwongen verblijf wordt de expositietijd in het ongunstige leefmilieu verlengd met toenemende gezondheidsrisico's als gevolg. Bovendien vindt hierdoor een samenscholing van individuen voor de sluisen plaats. De vergrote populatiedichtheid van de vis bij de spuisluizen kan naast voedselgebrek ook leiden tot een snellere (onderlinge) besmetting dan elders.

4.3 Mogelijke oorzaken van waargenomen temporele ziekte-trends

Bij de spuisluizen is in de periode 1988-2000 een drastische vermindering in de ziekteprevalentie bij bot waargenomen. Dit is waarschijnlijk grotendeels te verklaren door een algehele verbetering van de waterkwaliteit, maar het is ook goed mogelijk dat autonome factoren als natuurlijke variatie in ziektevoorkomen hierbij een rol hebben gespeeld. Bekend is dat de waterkwaliteit in het afgelopen decennium is verbeterd. Een recente RIKZ inventarisatie van probleemstoffen in zwevend stof van de Waddenzee en Eems-Dollard (Frederiks en van de Ven, 2003) toont voor HCB, een aantal PAK's, PCB28 en de metalen zink en kwik een dalende trend over de afgelopen 12 jaar. Voor andere stoffen was geen significante dalende trend zichtbaar. Wel zijn dalende trends aangetoond voor HCB en PCB's in mosselen. Veel van de stoffen in deze studie overschrijden de streefwaarde in zwevend stof, met name de, PAK's en HCB. De toetswaarden voor de organotinverbindingen TBT en TPT liggen zelfs ver boven de MTR.

Bij de spuilocaties spelen waarschijnlijk ook nog andere locatie-specifieke factoren een rol in de prevalentie van huidzweren, zoals het verbeterde spuibehoor en de visintrekbevorderende maatregelen (zie 4.4). De mogelijke bijdragen van deze factoren aan het terugdringen van het huidzweerprobleem zijn eerder in dit hoofdstuk besproken.

Evenals in de huidige studie werd ook in een Noordzeekanaalstudie (Pieters *et al.*, 2001) een drastische vermindering in de prevalentie van ziekten bij bot in 1996 t.o.v. 1990 waargenomen, terwijl de intrek situatie niet was gewijzigd. Opmerkelijk is dat ook in brede zin de ziekteprevalenties van bot in het Hollandse kustwater en ook in de Baltische Zee de afgelopen jaren flink zijn verminderd (Wosniok *et al.*, 1999; Vethaak, 2002). De waarden voor bijvoorbeeld huidzweren bij bot langs de Nederlandse kust zijn gedaald tot achtergrondniveaus van ca. 1% (Vethaak, 1993). De dalende trend geldt ook voor ziekten bij andere vissoorten zoals voor de schor in grote delen van de Noordzee (Wosniok *et al.*, 1999).

4.4 Effect visintrekbevorderende maatregel op visgezondheid

Uit het onderzoek kan worden geconcludeerd dat de visintrekbevorderende maatregel in 1991-1993 met verbeterde condities voor de spuikom en de bevordering van de visintrek aanmerkelijk heeft bijgedragen tot een verbeterde gezondheidstoestand van bot in 1994 (zie 1.5). De verschillen in verspreidingspatronen van de mate van het voorkomen van zweren in de zuidwestelijke Waddenzee in 1994 ten opzichte van 1988 (zie figuur 3) wijzen op een uitstralingseffect dat van het spui-beheer uitgaat. Dat wil zeggen dat een verbeterde doortrek van bot door de spuisluizen naar het IJsselmeer niet alleen heeft geleid tot een lagere zweerprevalentie, maar mogelijk ook een migratie van bot vanuit de zuidwestelijke Waddenzee naar de spuisluizen tot gevolg heeft ("trechtereffect") gehad, waardoor veel botten met zweren nu alleen nog maar direct voor de spuisluizen bijeenkwamen. In de periode voor 1991 werden ook grote aantallen aangetaste bot waargenomen op het Balgzand, halverwege de Afsluitdijk en nabij Harlingen ("uitstralingseffect").

In 1996 is sprake van een toename in zowel de mate van voorkomen als het verspreidingsgebied van zweren, mogelijk als direct gevolg van de in 1993 stopgezette spui-maatregel. Merkwaardig genoeg werden in het voorjaar van 1996 op de locatie Den Oever-binnen relatief veel ernstig aangetaste botten met littekens waargenomen, hetgeen kan wijzen op tijdelijk (sterk) verbeterde condities voor visintrek in die periode. Mogelijk houden deze waarnemingen verband met een laag spuidebiet in tweede kwartaal van 1996 (zie Tabel 1). Echter, uit het feit dat ook na 1994 botten met zweren bijna alleen aan de buitenkant van de spuisluizen worden aangetroffen en maar zelden aan de binnenkant, kan worden afgeleid dat de intrek-mogelijkheden voor bot nog niet goed zijn. Om het ziekteprobleem middels visintrekbevordering verder afdoende te bestrijden zullen nieuwe beheersmaatregelen nodig zijn, zoals opnieuw invoeren van "het aangepaste" spui-beheer met verlenging van de periode van visintrek en vergroting van de opening van de spuischuiten tot een halve meter. De zoutindringing in het IJsselmeer dient hiervoor wel afdoende te worden bestreden, bijvoorbeeld door het aanbrengen van een bellenscherm.

4.5. Consequenties van het verhoogde ziekteoptreden

De aanwezigheid van zweerlittekens bij een klein percentage botten duidt erop dat de zweerziekte niet altijd fataal hoeft te zijn. Het is echter aannemelijk dat voor ernstig aangetaste vissen de zweren op den duur dodelijk zullen zijn. De mate waarin sterfte als gevolg van huidzweren op de spui-locaties plaatsvindt is echter lastig vast te stellen.

Uit het onderzoek kan namelijk noch iets worden opgemaakt over het aantal nieuwe ziektegevallen dat met het verstrijken van de tijd ontstaat, noch iets over de gemiddelde duur van de ziekte. De hier gerapporteerde ziekteprevalenties zijn mogelijk gebaseerd op een geselecteerde groep botten die de zweervorming tot dusver hebben overleefd. Een hoge letaliteit zal echter altijd een onderschatting geven van het werkelijke ziekteoptreden. Kort samengevat: de ecologisch impact van huidzweren bij bot is niet goed te bepalen maar kan aanzienlijk zijn.

Behalve de ecologische impact vormen huidzweren ook een esthetisch probleem. Vissen met huidzweren zien er niet aantrekkelijk uit en zijn daarom niet geschikt voor consumptie. De huidzweren worden bovendien met een slechte milieukwaliteit geassocieerd.

4.6 Belangrijke vragen voortkomend uit het onderzoek

Een belangrijke bevinding in het onderzoek is dat toxische stress in de vis mogelijk versterkt wordt door osmotische stress. Botten die in verontreinigde overgangsgebieden met sterk wisselende zoutgehalten verblijven, lopen daardoor mogelijk een extra groot risico op gezondheidsproblemen.

Uit het bovenstaande zal duidelijk zijn geworden dat het antwoord op de vraag of, hoe en bij welke organismen osmotische stress gezondheidsproblemen oplevert nog verre van compleet is. Zowel naar het gedrag van stoffen in zoet-zoutovergangen (biologische beschikbaarheid etc.) als de effecten van osmotische stress en de in deze studie geopperde interactie-effecten van osmotische en toxische stress dient nog veel onderzoek te worden verricht. Inzicht in de betekenis van deze factoren is van belang als basis voor gerichte beheersmaatregelen.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Deze studie heeft het volgende duidelijk gemaakt:

- De botpopulatie in de Waddenzee was in 1988 door diverse huid-aandoeningen aangetast. Huidzweren werden het vaakst aangetroffen, en dan vooral buiten de spuisluisen van de Afsluitdijk en in mindere mate ook bij de afwateringssluizen van het Lauwersmeer, Harlingen en de Dollard. Andere visziekten werden minder vaak aangetroffen, maar vertoonden een vergelijkbaar patroon.
- Sinds 1988 is de situatie echter sterk verbeterd. Het percentage botten met huidzweren voor de spuisluisen in de Afsluitdijk is teruggelopen van ongeveer 30% naar 10%. Andere onderzochte huidziekten zijn bijna tot een natuurlijk niveau teruggekeerd of zelfs zo goed als verdwenen.
- Een verklaring hiervoor is dat de kwaliteit van het leefmilieu van de bot in de bewuste periode is verbeterd. Ook aangepast spui-beheer tussen 1991 en 1993 heeft bijgedragen aan een verdere ziektereductie.
- Hoewel visziekten inmiddels veel minder vaak voorkomen, lijden botten buiten de spuisluisen in de Afsluitdijk nog steeds duidelijk vaker aan huidzweren dan botten achter de Afsluitdijk. Ook lijden ze vaker aan inwendige aandoeningen, verkeren ze vaker in een slechte voedingsconditie en bevatten ze hogere gehalten aan bepaalde micro-verontreinigingen.
- Statistisch onderzoek heeft uitgewezen dat er een positief verband bestaat tussen het optreden van huidzweren bij botten en de interne gehalten van bepaalde milieuverontreinigingen. Specifieke leveraandoeningen in bot worden waarschijnlijk veroorzaakt door bepaalde milieucontaminanten.
- Oorzaak van de ziekte-uitbraak bij botpopulaties voor de spuisluisen van de Afsluitdijk, is waarschijnlijk een opeenhoping van stressveroorzakende factoren. Dit tast het immuunsysteem van de vis aan, waardoor de vis vatbaarder wordt voor allerlei ziekten. De kans is daardoor groter dat verhoogde concentraties bacteriën in het water huidzweren veroorzaken.

De belangrijkste stressveroorzakende factoren zijn:

1. Intrekbelemmering. Als de bot gedwongen wordt langdurig in het ongunstige water aan de buitenkant van de spuisluisen te verblijven, verzwakt zijn conditie en afweersysteem en neemt de kans op zweren en andere aandoeningen toe;
2. Continue abrupte en extreme schommelingen in zoutgehalten. deze gaan gepaard met osmotische stress en aantasting van het immuunsysteem;

3. Slechte water- en bodemkwaliteit in de spui- en omgeving, met verhoogde concentraties bacteriën en vergrote blootstelling aan milieuverontreinigingen, een beperkt voedselaanbod, en mogelijk zuurstofloze perioden;
4. Beschadigingen van de (beschermende) slijm- en slijm- laag van de vis door de plaatselijke visserij ('discard') en de spoelkokers in de spuisluis.

5.2 Aanbevelingen voor beheer en beleid

Mogelijke maatregelen tegen visziekten bij de spuisluisen in de Afsluitdijk zijn:

- Het verbeteren van de (in)trek- en trek- mogelijkheden voor bot;
- Het voorkomen van abrupte, extreme zoet- en zoutwisselingen bij het spuibeheer;
- Het verbeteren van de milieu- en omstandigheden in de spui- en omgeving ervan. Sanering van de visserijen van Den Oever is reeds opgenomen in het Maatregelenprogramma Waddenzee (MPW).

5.3 Aanbevelingen voor onderzoek

- *Continueer monitoring van visziekten in de Waddenzee met name bij de spuisluisen*
Geadviseerd wordt om ook in de toekomst visziekten bij spuilocaties regelmatig te monitoren. Huidzweren en de bijbehorende littekens zijn een goede indicatie van de intreksituatie door de spuicomplexen in de Afsluitdijk. De kwaliteit van het leefmilieu in de omgeving van de spuisluisen kan mede worden beoordeeld door huidzweren, andere huidziekten en leveraandoeningen te monitoren. Ook kan met zulke monitoring worden getoetst of genomen beheersmaatregelen effect hebben.
- *Experimenteel onderzoek naar de relatie visgezondheid en zoet- en zout stress*
Uit dit onderzoek blijkt dat er een duidelijke relatie bestaat tussen het spuien van zoet water in zee en het optreden van ziekten bij bot. Aanbevolen wordt experimenteel onderzoek uit te voeren naar de onderliggende causale relaties. Hiermee kan tevens worden vastgesteld of de in deze studie geschetste pathofysiologische mechanismen aannemelijk zijn.
- *Experimenteel onderzoek naar verhoogde beschikbaarheid van contaminanten onder zoet- en zout stress*
Omdat uit dit onderzoek geen duidelijke relatie blijkt tussen de interne gehalten van bepaalde milieuverontreinigingen in bot en de gehalten van dezelfde verontreiniging in sediment, is het raadzaam gericht onderzoek uit te voeren naar de mogelijke invloed die zout- en zoet schommelingen op het gedrag van stoffen hebben.

6 Literatuur

AquaSense (2001). Persoonlijke mededeling dr. J. Lahr.

Ariese, F.; Burgers, I.; Oudhoff, K.; Rutten, T.; Stroomberg, G.; Vethaak, A.D. (1997a). Comparison of Analytical approaches for PAH metabolites in fish bile samples for marine and estuarine monitoring. Institute for Environmental Studies, University of Amsterdam, The Netherlands. Report R 97/9. 39 pp. Commissioned by the Dutch National Institute for Coastal and Marine Management/RIKZ.

Ariese, F.; Oudhoff, K.; Stroomberg, G. (1997b). Monitoring of PAH uptake by flounder in the Dutch Wadden Sea and other coastal and inshore sites. Commissioned by RIKZ. IVM report W-97/25. 19 pp.

Bucke, D.; Vethaak, A.D.; Lang, T. (1992). Quantitative assessment of melanomacrophage centres (MMCs) in dab (*Limanda limanda*) along a pollution gradient in the German Bight. Mar. Ecol. Prog. Series 91, 193-196.

Bucke, D.; Vethaak, A.D.; Lang, T.; Møllergaard, S. (1996). Common diseases and parasites of fish in the North Atlantic: Training guide for identification. ICES Techniques in Marine Environmental Sciences, No 19. 27 pp.

De Boer J.; Cofino W.P. (2002). First world-wide interlaboratory study on polybrominated diphenylethers (PBDEs). Chemosphere 46 (5): 625-633.

De Boer, J.; van der Horst, A.; Wester, P.G. (2000). PBDEs and PBBs in suspended particulate matter, sediments and sewage treatment plant effluents and biota from the Netherlands. Organohal. Comp. 47, 85-88.

De Boer, J.; van der Zande, T.E.; Pieters, H.; Ariese, F.; Schipper, C.A.; van Brummelen, T.; Vethaak, A.D. (2001). Organic contaminants and trace metals in flounder liver and sediment from the Amsterdam and Rotterdam harbours and off the Dutch coast. J. Environ. Monit. 4: 386-393.

De Leeuw, J.J.; Dekker, W.; Sluis, D.J. (2001). Vismonitoring IJsselmeer en Markermeer in 2000. RIVO rapport C043/01.

Dekker, W. (1994). Visstand en visserij op het IJsselmeer en Markermeer: de toestand in 1993. RIVO Rapport 94.001, 33 pp.

Dunier, M.; Siwicki, A.K. (1992). Effects of pesticides and other organic pollutants in the aquatic environment on immunity of fish: A review. Fish & Shellfish Immunology Vol. 3, no. 6, pp.

Frederiks, B.; van de Ven, C.L.M. (2003). Inventarisatie probleemstoffen in de Waddenzee en Eems-Dollard. Werkdocument RIKZ/AB/2003.602x

Grinwis, G.C.; Vethaak, A.D.; Wester, P.W.; Vos, J.G. (2000). Toxicology of environmental chemicals in the flounder (*Platichthys flesus*) with emphasis on the immune system: field, semi-field (mesocosm) and laboratory studies. Toxicol Lett; VOL 112-113, P289-301 (REF: 46).

Grinwis, G.C.M.; Boonstra, A.; van den Brandhof, E.J.; Dormans, J.A.M.A.; Engelsma, M.; Kuiper, R.V.; van Loveren, H.; Wester, P.W.; Vaal, M.A.; Vethaak, A.D.; Vos, J.G. (1998). Short-term toxicity of bis(tri-n-butyltin)oxide in flounder (*Platichthys flesus*): Pathology and immune function. Aquatic Toxicology Vol. 42, no. 1, pp. 15-36.

Hartl, M.G.J.; Hutchinson, S.; Hawkins, L.E.; Grand, D.J. (2001). The effects of sediment-associated triorganotin compounds on the gills of the European flounder, *Platichthys flesus* (L.) Journal of Experimental Marine Biology and Ecology Vol. 261, no. 1, pp. 75-91.

Jager, Z. (1998). H. 8: Vissen in troebel water: de betekenis van het Eems-Dollard estuarium voor de visfauna. In: Essink, K. and Esselink, P. (red.) - Het Eems-Dollard estuarium: interacties tussen menselijke beïnvloeding en dynamiek. Rapport RIKZ 98.020.

Janssen, G.M.; Butijn, G.D.; Enserink, E.L; de Graaf, P.J.F.; van Heuvel, T.; Riesenkamp, W.; van Wieringen, M. (1995). Water en vis door de Afsluitdijk. Deel 1. Evaluatie van onderzoek 1992-1994. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Haren, Rapport RIKZ-95.018. 41 p.

Jensen, T; van der Bildt, M.; Diets, H.H.; Andersen, T.H.; Hammer, A.S.; Kuiken, T.; Osterhaus, A. (2002). Another Phocine Distemper Outbreak in Europe. Science VOL 297: 209.

Kranz, H. (1989). Changes in splenic melano-macrophage centres of dab *Limanda limanda* during and after infection with ulcer disease J. Fish Dis. 6: 167-173.

Myers, M.S., Johnson, L.L., Olson, O.P., Stehr, C.M., Horness, B.H., Collier, T.K., & McCain, B.B. (1998). Toxicopathic hepatic lesions as biomarkers of chemical contaminant exposure and effects in marine bottom fish species from the Northeast and Pacific Coast, USA. Mar. Poll. Bull., 37, 92-113.

Nelder, J.A. and R.W.M. Wedderburn (1972). Generalized linear models. Journal of the Royal Stat. Soc. A 135: 370-384.

Noga, E.J.; Khoo, L.; Stevens, J.B.; Fan, Z.; and Burkholder, J.M. (1996). Novel toxic dinoflagellate causes epidemic disease in estuarine fish. Marine Pollution Bulletin, Vol. 32: 219-224.

Pieters, H; van Banning, P.; de Boer, J.; van Wieringen, M. en Vethaak, A.D. (2001). Onderzoek naar ziekte bij bot (*Platichthys flesus*) rondom de spuilsuizen bij IJmuiden in 1996. Eindrapport. RIVO-DLO rapport, RWS-NN nota ANW 99.10, RIKZ rapport 99.043.

Perdon, J. en Janssen, G. (1995). Optimalisatie spuibeheer Afsluitdijk. Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Kust en Zee, Haren. Rapport RIKZ-95.049.

Rijnsdorp, A.D.; Vethaak, A.D. (1989). Beschrijving van de populaties van bot (*Platichthys flesus* (L)) in de Noordzee en het Nederlandse kust- en binnenwater (Description of the populations of flounder in the North Sea and Dutch coastal and inland waters). Ecologisch profiel vissen. Rijkswaterstaat, Tidal Water Division, Netherlands, Special Report. 18 pp. (In Dutch)

RIKZ (2002). Sedimentbemonstering ten behoeve van de bepaling van microverontreinigingen in sediment. Handleiding RIKZ/HL034H.

Sindermann, C.J. (1996). Ocean pollution - effects on living resources and humans. CRC Press, Boca Raton, New York, London, Tokyo, 275 pp.

Smedes, F. (1997). Het gebruik van de sedimentformule in de praktijk. Werkdocument RIKZ-IT-97.638x.

Smedes, F. (1998). Schatting van lutumgehaltes uit Aluminium of Lithium. Werkdocument RIKZ-IT-98.652x.

Smedes, F. (1999). Van organisch stof naar elementair koolstof. Werkdocument RIKZ-IT-99.633x.

Van der Zande, T. (2001). Analyseresultaten microverontreinigingen project Gradienten. Werkdocument Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Haren. RIKZ-IT 97.623x, 7 pp.

Vethaak, A.D. (1990). Inventarisatie naar het voorkomen van visziekten in de Waddenzee in 1988. DGW-nota GWAO-90.003, 52 pp.

Vethaak, A.D. (1992). Diseases of flounder (*Platichthys flesus*) in the Dutch Wadden Sea and their relation to stress factors. Neth. J. Sea Res. 29, 257-272.

Vethaak, A.D. (1993). Fish Disease and marine Pollution: the case of the flounder (*Platichthys flesus*) in Dutch coastal and estuarine waters. Academic thesis University of Amsterdam, 162 pp. Also published as a publication of the Ministry of Transport, Public Works and Water Management- Tidal Waters Division (RWS, DGW) - ISBN 9036904137.

Vethaak, A.D.; Everts, J. W. (1993). Waarom worden vissen ziek? Brochure. Ministerie van Verkeer en Waterstaat Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat Dienst Getijdewateren, Rijksinstituut voor Kust en Zee/RIKZ, Den Haag. 15 pp.

Vethaak, A.D.; Jol, J.G.; Meijboom, A.; Eggens, M.L.; Rheinallt, T.ap; Wester, P.W.; Zande, T. van de; Bergman, A.; Dankers, N.; Ariese, F.; Baan, R.A.; Everts, J.M.; Opperhuizen, A.; Marquenie, J.M. (1996). Skin and liver diseases induced in flounder (*Platichthys flesus*) after longterm exposure to contaminated sediments in large-scale mesocosms Environ. Health Perspect. 104: 1218-1229.

Vethaak, A.D.; Jol, J.G.; Jungman, J.; Meyer, M.B. (1996). De aanwezigheid van visziekten in de Waddenzee in 1994 vergeleken met de situatie van 1988. RIKZ report nr. 95.039.

Vethaak, A.D.; Pieters, J.P.F.; Jol, J.G.; Janssen, G.M. (2000). Visziekten in de Waddenzee in relatie tot spuisluizen: een vervolgonderzoek, 1996 . Rapport RIKZ 99.044.

Vethaak, A.D. (2002). Effects of environmental contaminants on North Sea fish. Abstract. Inaugural Conference Dutch Wildlife Society. Artis, Amsterdam.

Vonck, Wies (1999). Effects of estuarine conditions on cadmium toxicity and osmoregulatory performance in fish. Academisch proefschrift. Katholieke Universiteit Nijmegen.

Vos, J.G.; Loveren, H.van; Osterhaus, A.D.M.E.; Vaal, M.; Vethaak, A.D.; Wester, P. (1996). Immunotoxicity of environmental pollutants: adverse effects on resistance to infectious diseases. Proceedings OECD Workshop "Ecotoxicology; Responses, Biomarkers, and Risk Assessment", Maui, April 10-13 1996. SOS Publications, Fair Haven,NJ.

Wester, P.W.; Vethaak, A.D.; van Muiswinkel, W. B. (1994). Fish as biomarkers in immunotoxicology. Toxicology 86: 213-232.

Wosniok, W.; Lang,T.; Vethaak, A.D.; des Clers. S. and Møllergaard, S. (1999). Statistical analysis of fish disease prevalence data extracted from the ICES Environmental Data Centre. In: ICES Cooperative Research Report No. 233, 297-327.

7 Bijlagen

1. Gehalten op droge stof aan metaal en organische microverontreinigingen in lever (mengmonster) van vrouwelijke (v) en mannelijke (m) botten (20-24 cm in lengte) op de onderzoekslocaties in voorjaar (vj) en najaar (nj) 1996 en 2000.
2. Resultaten PCB analyses in sediment op de onderzoekslocaties in 2001.
3. Resultaten PAK analyses in sediment op de onderzoekslocaties in 2001.
4. Resultaten metaal analyses in sediment op de onderzoekslocaties in 2001.
5. Resultaten organotin analyses in sediment op de onderzoekslocaties in 2001.
6. Gehalten broomhoudendevlamvertragers in sediment op de onderzoekslocaties in 2001.
7. Gehalten elementair koolstof (C) in sediment op de onderzoekslocaties in 2001.
8. Gehalten minerale olie in sediment op de onderzoeklocaties in 2001.

Bijlage 1. Gehalten op droge stof aan metaal en organische microverontreinigingen in lever (mengmonster) van vrouwelijke (v) en mannelijke (m) botten (20-24 cm in lengte) op de onderzoekslocaties in voorjaar (vj) en najaar (nj) 1996 en 2000.

locatie (nr)		Den Oever buiten (2)	Den Oever buiten (2)	Den Oever buiten (2)	Den Oever buiten (2)	Den Oever binnen (3)	Den Oever binnen (3)	Den Oever binnen (3)	Den Oever binnen (3)	Den Oever buiten (2)
JAAR		1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	2000
SEXE		M	V	M	V	M	V	M	V	M
SEIZOEN		VJ	VJ	NJ	NJ	VJ	VJ	NJ	NJ	NJ
TOTVET	g/kg	357	308	317	335	327	358	599	572	359
HCB	µg/kg	6,56	5,24	4,30	3,90	8,34	10,27	10,28	9,18	3,21
PCB31	µg/kg	4,53	4,08	6,37	1,81	5,93	7,34	11,10	9,88	3,84
PCB28	µg/kg	6,55	6,62	9,34	4,69	8,67	10,66	16,21	15,22	6,14
PCB49	µg/kg	16,70	22,94	13,70	12,24	16,17	22,54	21,71	18,82	10,56
PCB52	µg/kg	18,47	29,90	18,64	15,24	19,53	30,01	24,32	22,69	13,97
PCB44	µg/kg	5,03	4,73	5,87	2,80	6,99	9,20	9,62	7,17	4,74
PCB101	µg/kg	78,35	110,86	62,19	59,29	66,35	82,83	64,20	62,76	51,30
PCB118	µg/kg	63,37	85,16	58,93	58,01	50,11	54,89	48,27	49,37	38,90
PCB153	µg/kg	218,58	317,89	185,41	184,32	148,36	181,10	147,55	167,32	136,87
PCB105	µg/kg	13,12	16,53	15,43	10,84	10,57	12,00	13,92	14,98	7,90
PCB138	µg/kg	145,10	190,07	127,79	121,27	99,09	111,13	89,65	101,41	88,46
PCB187	µg/kg	70,87	102,73	61,82	66,52	40,86	45,42	47,05	49,92	42,82
PCB180	µg/kg	69,05	112,15	55,91	63,19	52,25	60,99	55,76	63,46	40,38
PCB170	µg/kg	28,89	49,97	26,82	24,75	21,81	27,04	25,37	28,32	19,70
Hg	mg/kg	0,39	0,45	0,47	0,44	0,22	0,24	0,10	0,14	0,39
Zn	mg/kg	141	129	148	171	112	104	82	116	110
Cd	mg/kg	0,29	0,29	0,28	0,18	0,13	0,12	0,07	0,06	0,11
Cr	mg/kg	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 0,3
Cu	mg/kg	41,3	27,4	43,8	51,3	22,0	19,6	17,6	14,5	37,8
Ni	mg/kg	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	0,10
Pb	mg/kg	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	< 3,0	0,10
As	mg/kg									13,8
TBT	µg/kg									28

Kornw. = Kornwerderzand

Den Oever binnen (3)	Den Oever binnen (3)	Kornw. binnen (5)	Kornw. buiten (6)	Kornw. binnen (5)	Kornw. buiten (6)	Kornw. binnen (5)	Kornw. buiten (6)	Kornw. binnen (5)	Kornw. buiten (6)
2000	2000	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996	1996
M	M	M	M	V	V	M	M	V	V
NJ	NJ	VJ	VJ	VJ	VJ	NJ	NJ	NJ	NJ
537	598	276	330	363	362	503	203	555	213
5,11	6,19	6,58	6,72	7,49	6,71	6,09	2,15	8,35	2,29
4,83	5,55	3,9	7,1	4,26	5,12	4,82	3,05	7,24	2,88
7,53	9,94	4,96	13,55	6,32	7,9	7,64	5,09	11,25	4,9
10,22	15,49	15,8	57,52	14,52	18,74	11,91	11,34	16,16	10,11
11,36	15,74	10,74	45,72	11,04	17,42	10,34	8,52	14,31	8,65
4,12	6,19	4,3	3,26	4,38	5,47	4,45	2,44	5,9	3,05
35,80	46,45	54,67	251,85	50,02	80,67	44,59	42,48	49,98	44,15
25,64	33,84	36,75	152,91	41,61	57,78	35,44	39,87	42,19	35,86
75,50	107,20	129,06	618,87	139,03	210,13	109,9	130,46	138,71	123,89
5,32	6,83	9,33	30,33	10,22	12,7	7,84	7,97	13,66	7,37
50,77	69,48	71,13	398,19	89,01	130,48	74,47	89,63	86,11	86,02
28,97	36,76	30,38	171,85	37,68	57,54	37,37	44,59	46,33	39,82
31,79	41,73	40,39	196,92	49,22	56,4	45,57	37,56	46,15	35,46
14,52	18,17	19,92	77,49	23,41	25,08	22,46	17,36	25,09	14,55
0,07	0,03	0,26	0,41	0,21	0,38	0,11	0,44	0,13	0,43
99	62	110	143	110	153	100	152	114	130
0,08	0,03	0,21	0,4	0,11	0,19	0,07	0,21	0,6	0,17
< 0,3	< 0,3								
22,8	10,8	14,9	41,2	25,3	49,2	22,4	43,5	18,1	0,43
0,10	0,05								
0,17	< 0,10								
0,3	0,2								
7	5								

Bijlage 2. Resultaten PCB analyses in sediment op de onderzoekslocaties in 2001

Locatie (nr)	HCB µg/kg	PCB101 µg/kg	PCB105 µg/kg	PCB118 µg/kg	PCB138 µg/kg	PCB153 µg/kg	PCB170 µg/kg	PCB18 µg/kg	PCB180 µg/kg	PCB187 µg/kg	PCB28 µg/kg	PCB31 µg/kg	PCB44 µg/kg	PCB52 µg/kg
op droge stof in fractie < 63 µm														
Den Oever spui buitenkant (2)	0,94	2,41	0,57	2,69	3,63	4,41	1,12	0,64	1,78	1,27	2,50	1,77	1,00	1,43
Den Oever-buiten sluis (2a)	1,06	2,85	0,69	2,80	4,12	5,09	1,35	0,70	2,09	1,38	2,64	1,47	1,19	1,92
Den Oever visserhaven (2b)	10,51	9,94	2,40	6,78	11,62	13,40	3,52	0,83	6,63	3,62	4,15	3,24	3,84	5,60
Den Oever plaat T-N.(2c)	0,50	1,11	0,30	1,16	1,79	1,91	0,52	0,26	0,94	0,65	1,09	0,75	0,46	0,69
Waddenzee west (2d)	0,88	1,62	0,43	1,72	2,53	2,65	0,70	0,41	1,23	0,59	1,67	1,00	0,63	0,84
Waddenzee west (2e)	0,69	1,16	0,32	1,28	1,95	2,04	0,54	0,33	0,97	0,56	1,32	0,80	0,48	0,69
Waddenzee oost (2f)	0,72	1,20	0,33	1,37	2,07	2,06	0,59	0,32	0,97	0,66	1,37	0,82	0,51	0,69
Den Oever spui binnenkant (3)	1,01	3,18	0,88	2,94	4,70	5,18	1,58	0,71	2,65	1,51	3,11	1,61	1,40	1,79
Den Oever-binnen sluis (3a)	0,85	2,99	0,80	2,53	4,15	4,88	1,24	0,52	2,25	1,51	1,68	1,56	1,20	1,39
Kornwerderzand spui binnenkant (5)	0,52	1,14	0,37	1,35	2,15	2,03	0,69	0,32	0,74	0,63	1,20	0,33	0,49	0,68
Kornwerderzand spui buitenkant (6)	0,58	1,05	0,29	1,23	1,83	1,80	0,48	0,25	0,88	0,60	1,20	0,70	0,42	0,60
Waddenzee oost (6a)	1,93	1,10	0,30	1,36	1,88	2,06	0,63	0,28	1,02	0,72	1,30	0,84	0,48	0,71

Bijlage 3. Resultaten PAK analyses in sediment op de onderzoekslocaties in 2001

Locatie (nr)	Ant µg/kg	BaA µg/kg	BaP µg/kg	BbF µg/kg	BeP µg/kg	BghiPe µg/kg	BkF µg/kg	Chr µg/kg	dBahA µg/kg	Fen µg/kg	Flu µg/kg	InP µg/kg	Pyr µg/kg
	op droge stof in fractie < 63 µm												
Den Oever spui buitenkant (2)	38	88	97	159	110	107	69	95	17	139	217	124	153
Den Oever-buiten sluis (2a)	53	130	138	204	148	137	91	138	24	199	340	154	229
Den Oever visserijhaven (2b)	358	3138	2971	3711	2613	2105	1751	3174	474	1747	8343	2419	5042
Den Oever plaat T-N.(2c)	22	54	56	87	61	59	38	55	10	81	127	67	91
Waddenzee west (2d)	28	64	76	118	82	85	51	69	13	109	157	96	115
Waddenzee west (2e)	23	58	68	103	73	73	45	60	12	85	133	83	98
Waddenzee oost (2f)	26	60	70	106	77	77	47	63	12	89	138	87	102
Den Oever spui binnenkant (3)	51	194	204	273	204	183	125	206	33	212	539	197	361
Den Oever-binnen sluis (3a)	1001	1728	951	1584	1055	728	696	1861	155	12101	9045	832	4399
Kornwerderzand spui binnenkant (5)	26	82	87	120	88	86	53	90	14	140	223	92	159
Kornwerderzand spui buitenkant (6)	23	55	63	93	70	70	42	59	10	87	129	79	94
Waddenzee oost (6a)	24	57	70	107	75	78	47	60	13	86	139	88	102

Bijlage 4. Resultaten metaal analyses in sediment op de onderzoekslocaties in 2001

Locatie (nr)	As mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	Hg mg/kg	Ni mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Ag mg/kg	Al g/kg	Ba mg/kg	Ca g/kg	Ce mg/kg	Co mg/kg	Cs mg/kg	Fe g/kg	Ga mg/kg
	op droge stof in fractie < 63 µm																
Den Oever spui buitenkant (2)	19,0	1,19	93	23	0,46	29	67	189	0,58	39	169	70	53	9,7	6,7	29	9,8
Den Oever-buiten sluis (2a)	16,7	0,99	85	26	0,50	29	64	200	0,48	39	177	83	49	9,7	6,7	31	9,5
Den Oever vissershaven (2b)	18,7	1,59	93	67	0,90	34	173	469	0,65	39	221	115	47	11,3	6,4	34	9,5
Den Oever plaat T-N.(2c)	11,2	0,56	59	13	0,25	19	37	111	0,28	25	114	70	60	6,5	4,0	20	6,5
Waddenzee west (2d)	17,1	0,78	85	22	0,31	28	56	168	0,40	41	155	71	63	9,1	6,8	28	10,2
Waddenzee west (2e)	14,2	0,63	71	16	0,24	24	41	132	0,30	34	134	72	63	7,5	5,6	24	8,6
Waddenzee oost (2f)	15,0	0,63	69	17	0,25	24	44	131	0,33	34	133	78	56	7,8	5,8	25	8,6
Den Oever spui binnenkant (3)	13,3	1,26	65	31	0,42	26	57	246	0,41	28	194	100	40	8,1	4,8	29	6,9
Den Oever-binnen sluis (3a)	18,6	1,08	83	31	0,46	31	66	209	0,47	39	161	67	52	10,1	6,6	32	9,7
Kornwerderzand spui binnenkant (5)	9,6	0,73	47	22	0,22	21	34	144	0,24	22	189	164	36	6,2	4,1	17	5,5
Kornwerderzand spui buitenkant (6)	15,5	0,59	74	17	0,26	26	45	134	0,32	36	146	74	56	8,6	6,2	25	9,2
Waddenzee oost (6a)	13,9	0,68	77	19	0,26	27	48	143	0,35	38	140	77	56	8,7	6,5	26	9,5

* deze gehalten zijn indicatief; de gebruikte meetmethode is niet gevalideerd

Gd	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Nd	Pr	Rb	Sc	Se	Sm	Sr	Th	Ti	U	V	Y
mg/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4,4	11	27	41	11	1131	0,55	4,7	23	6,2	79	8,8	1,92	5,1	270	7,4	531	1,17	86	18
3,9	10	25	41	10	695	0,64	5,1	21	5,7	78	8,4	1,89	4,6	288	6,4	496	1,05	80	14
3,7	10	23	37	9	627	1,45	1,8	20	5,4	77	8,5	2,39	4,3	525	6,3	562	1,37	81	14
4,4	7	30	26	9	581	0,31	2,3	25	7,0	50	6,1	1,55	5,4	251	7,7	510	1,22	56	15
4,8	11	32	42	10	668	0,50	7,1	27	7,4	81	9,1	1,97	5,7	268	8,3	500	1,26	90	17
4,7	9	32	35	10	522	0,46	5,7	26	7,3	67	7,7	1,68	5,7	280	8,6	497	1,32	73	16
4,2	10	28	37	10	649	0,51	7,0	23	6,4	69	7,7	1,69	5,0	303	6,9	496	1,06	73	14
3,1	7	19	26	6	492	0,88	1,0	16	4,6	54	6,2	2,02	3,7	274	5,6	405	1,16	56	11
4,2	11	26	38	10	617	1,15	4,2	22	6,0	79	8,7	1,95	4,9	244	6,9	568	1,21	80	16
2,8	6	18	22	6	495	0,60	1,0	15	4,2	44	5,3	2,05	3,4	395	5,0	345	0,87	45	9
4,3	10	28	39	10	623	0,44	4,8	24	6,6	73	8,2	1,76	5,1	260	6,9	469	1,09	77	16
4,3	11	28	41	10	384	0,90	6,0	24	6,6	78	8,5	1,75	5,2	297	7,4	509	1,50	84	15

Bijlage 5. Resultaten organotin analyses in sediment op de onderzoekslocaties in 2001

Locatie (nr)	TBT µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	DBT µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	MBT µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	TPhT µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	DPhT µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	MPhT µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm
Den Oever spui buitenkant (2)	16	12	3	5	11	< 3
Den Oever-buiten sluis (2a)	58	14	3	13	14	< 3
Den Oever vissershaven (2b)	1121	135	21	26	21	7
Den Oever plaat T-N.(2c)	17	8	4	3	7	< 3
Waddenzee west (2d)	34	15	8	5	10	< 3
Waddenzee west (2e)	27	11	7	5	16	< 3
Waddenzee oost (2f)	26	11	6	5	14	< 3
Den Oever spui binnenkant (3)	386	52	8	29	30	10
Den Oever-binnen sluis (3a)	344	50	7	9	20	< 3
Kornwerderzand spui binnenkant (5)	130	17	5	7	13	< 3
Kornwerderzand spui buitenkant (6)	20	10	5	4	9	< 3
Waddenzee oost (6a)	28	11	5	5	10	< 3

Bijlage 6. Gehalten broomhoudende vlamvertragers in sediment op de onderzoekslocaties in 2001

Locatie (nr)	BDE 28 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BDE 47 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BDE 66 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BDE 71 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BDE 75 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BDE 77 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BDE 85 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BDE 99 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BDE 100 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BDE 119 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm
DenOever spui buitenkant (2)	<0,04	0,28	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,03	0,61	<0,04	<0,04
Den Oever-buiten sluis (2a)	<0,04	0,30	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,03	0,31	<0,04	<0,04
Den Oever vissershaven (2b)	<0,04	0,32	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,03	0,28	<0,04	<0,04
Den Oever plaat T-N.(2c)	<0,04	0,19	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,03	0,60	<0,04	<0,04
Waddenzee west (2d)	<0,03	0,48	<0,04	<0,03	<0,04	<0,04	<0,03	0,44	0,08	<0,03
Waddenzee west (2e)	<0,03	0,38	<0,04	<0,03	<0,04	<0,04	<0,03	0,33	0,06	<0,03
Waddenzee oost (2f)	<0,03	0,35	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,28	<0,03	<0,03
Den Oever spui binnenkant (3)	<0,03	0,28	<0,03	<0,03	<0,03	<0,04	<0,03	0,27	<0,04	<0,03
Den Oever-binnen sluis (3a)	<0,03	0,33	<0,03	<0,03	<0,03	<0,04	<0,03	0,27	<0,04	<0,03
Kornwerderzand spui binnenkant (5)	<0,04	0,34	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,03	0,38	0,07	<0,04
Kornwerderzand spui buitenkant (6)	<0,04	0,26	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,03	0,24	<0,04	<0,04
Waddenzee oost (6a)	<0,03	0,35	<0,04	<0,03	<0,04	<0,04	<0,03	0,27	<0,04	<0,03

Locatie (nr)	BB 15 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BB 49 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BB 52 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BB 101 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	BB 209 µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	me-TBB µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	HBCD µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	TBBP-A µg/kg op droge stof in fractie < 63 µm
DenOever spui buitenkant (2)	<0,07	<0,07	<0,09	<0,06	<0,26	<0,03	3,9	0,53
Den Oever-buiten sluis (2a)	<0,07	<0,07	<0,09	<0,06	<0,25	<0,03	5,0	0,32
Den Oever vissershaven (2b)	<0,07	<0,07	<0,09	<0,06	<0,25	<0,03	5,4	0,51
Den Oever plaat T-N.(2c)	<0,07	<0,07	<0,09	<0,06	<0,25	<0,03	2,4	1,90
Waddenzee west (2d)	<0,07	<0,06	<0,08	<0,05	<0,24	<0,03	5,1	0,28
Waddenzee west (2e)	<0,07	<0,06	<0,08	<0,05	<0,24	<0,03	20,0	0,26
Waddenzee oost (2f)	<0,06	<0,06	<0,08	<0,05	<0,23	<0,03	4,2	0,29
Den Oever spui binnenkant (3)	<0,06	<0,06	<0,08	<0,05	<0,23	<0,03	5,0	0,18

BDE 138 µg/kg	BDE 153 µg/kg	BDE 154+B153 µg/kg	BDE 190 µg/kg	BDE 209 µg/kg
<0,04	0,24	<0,09	<0,04	7,0
<0,04	0,14	<0,09	<0,04	11,0
<0,04	0,08	<0,09	<0,04	12,0
<0,04	1,10	<0,09	<0,04	3,9
<0,03	0,13	<0,09	<0,04	14,0
<0,03	0,09	<0,09	<0,04	11,0
<0,03	0,23	<0,08	<0,03	12,0
<0,03	<0,05	<0,08	<0,03	14,0
<0,03	<0,05	<0,08	<0,03	8,7
<0,04	0,15	<0,09	<0,04	7,8
<0,04	0,09	<0,09	<0,04	9,8
<0,03	0,08	<0,09	<0,04	11,0

Bijlage 7. Gehalten elementair koolstof (C) in sediment op de onderzoekslocaties in 2001

Locatie (nr)	C % op DS in fractie < 63 µm
Den Oever spui buitenkant (2)	3,09
Den Oever-buiten sluis (2a)	4,19
Den Oever vissershaven (2b)	5,34
Den Oever plaat T-N.(2c)	1,58
Waddenzee west (2d)	3,82
Waddenzee west (2e)	2,92
Waddenzee oost (2f)	2,74
Den Oever spui binnenkant (3)	5,44
Den Oever-binnen sluis (3a)	4,12
Kornwerderzand spui binnenkant (5)	6,27
Kornwerderzand spui buitenkant (6)	2,96
Waddenzee oost (6a)	3,32

Bijlage 8. Gehalten minerale olie in sediment op de onderzoeklocaties in 2001

Locatie (nr)	Olie C10-C12 mg/kg op droge stof in fractie < 63 µm	Olie C12-C20 mg/kg	Olie C22-C30 mg/kg	Olie C30-C40 mg/kg	Olie TOTAAL mg/kg
Den Oever spui buitenkant (2)	<5	15	35	35	90
Den Oever-buiten sluis (2a)	<5	20	40	35	90
Den Oever vissershaven (2b)	<5	55	100	85	240
Den Oever plaat T-N.(2c)	<5	10	25	25	60
Waddenzee west (2d)	<5	20	40	35	95
Waddenzee west (2e)	<5	10	35	30	80
Waddenzee oost (2f)	<5	5	30	25	60
Den Oever spui binnenkant (3)	<5	30	60	50	140
Den Oever-binnen sluis (3a)	<5	55	75	60	190
Kornwerderzand spui binnenkant (5)	<5	55	65	35	150
Kornwerderzand spui buitenkant (6)	<5	15	40	25	80
Waddenzee oost (6a)	<5	15	40	30	80