

notitie

GWA0-90.13037

aan :

van : A. Wagenvoort¹, J. Hemelraad¹, M. Bakker², & A.C. Smaal²

datum : 14 september 1990

onderwerp : Respons op stress van mosselen in de Nederlandse
kustwateren en de Westerschelde
Voortgangerapport 1989 INDICAT-biotest-1

¹: Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke

²: Rijkswaterstaat Dienst Getijde Wateren, Middelburg

INDEX

1. Inleiding	3
2. Materiaal en methode	4
2.1. Herkomst en expositie van de mosselen	4
2.1.1. Uithangen Oosterschelde mosselen in Noordzee en Westerschelde	4
2.1.2. Monsternamen wilde mosselen	4
2.2. Fysiologische parameters aan een groep mosselen	4
2.2.1. De gotenopstelling	4
2.2.2. Clearance-rate (CR)	5
2.2.3. Absorptie efficiëntie (AE)	6
2.2.4. Respiratie (R)	6
2.3. Overleving	7
2.3.1. Droogstand overleving	7
2.3.2. Sterfte tijdens uithangen	7
2.4. Groei en conditie-index	8
2.4.1. Lengte, gewicht, en volume van de mosselen	8
2.4.2. Conditie-index (CI)	8
2.5. Biochemische parameters	8
2.5.1. Het glycogeen gehalte	8
2.6. Toxicanten	8
2.7. Gonaden-index	8
3. Resultaten	10
3.1. Westerschelde en Oosterschelde	10
3.1.1. Wilde mosselen	10
3.1.1.1. Conditie en groeiparameters	10
3.1.1.2. Fysiologische en biochemische parameters	10
3.1.1.3. Overleving	11
3.1.2. Uithangexperiment in Oosterschelde en Westerschelde, BEMWES en ABM	11
3.1.2.1. Conditie en groeiparameters	11
3.1.2.2. Fysiologische en biochemische parameters	12
3.1.2.3. Overleving	12
3.2. Uithangexperiment in de Noordzee, ABM	13
3.2.1. Groei en conditieparameters	13
3.2.2. Fysiologische en biochemische parameters	13
3.2.3. Overleving	13
3.3. Gehalte aan toxicanten	14
4. Discussie en conclusie	15
4.1. Conditie en groei	15
4.2. Fysiologische parameters	15
4.2.1. Clearance-rate	15
4.2.2. Absorptie efficiëntie	16
4.2.3. Respiratie	16
4.3. Overleving	16
4.3.1. Droogstand overleving	16
4.3.2. Overleving in korven, BEMWES	17
4.4. Biochemische parameters	17
4.4.1. Het glycogeen-gehalte	17
4.5. De respons van mosselen	17
4.5.1. De Westerschelde en Oosterschelde	17
4.5.2. De Noordzee	18
5. Referenties	19
6. Tabellen	20
7. Figuren	22

1. INLEIDING

In het project INDICAT-biotest (na 1 januari 1990: STRESSPAR-7) wordt onderzoek gedaan naar meetbare afwijkingen aan organismen ten gevolge van verontreiniging of verstoring van het milieu. De bedoeling is om te komen tot een systeem van eenvoudig meetbare parameters die met elkaar een indicatie geven, en tevens een "early warning"-systeem vormen, van effecten van micro-verontreinigingen of andere antropogene verstoringen.

Naast metingen op populatie niveau - het verdwijnen of juist opkomen van soorten - worden er metingen gedaan op het niveau van het organisme, voor de waterfase gebeurt dit met individuele mosselen.

De mossel leent zich goed voor dit onderzoek omdat deze niet erg gevoelig voor manipulatie is, en er relatief veel over deze soort bekend is (Bayne et al (1985)) beschrijven een aantal methodieken voor monitoring onderzoek met mosselen. Deze methodieken worden op bruikbaarheid getest voor de Nederlandse situatie. Er worden zowel fysiologische als histologische en biochemische stressparameters onderzocht. De volgende fysiologische stressparameters worden gemeten: clearance-rate, absorptie efficiëntie, respiratie, en anoxic survival, de biochemische parameter: het glycogeengehalte, en de groeiparameters: lengte, volume, gewicht (natgewicht, drooggewicht en asvrijdrooggewicht) en conditie-index bepaald.

Voor het onderzoek, Biologisch Effect Monitoring Westerschelde (BEMWES), worden mosselen uitgehangen in korven op 3 lokaties in de Westerschelde en op 1 lokatie in de Oosterschelde, en deze worden om de 4 tot 5 weken bemonsterd. De uithangmethode is beschreven door Pouwer (1988). In samenwerking met TNO worden mosselen uitgehangen op een zestiental lokaties in de Nederlandse zoute wateren, het mosselmeetnet of Actieve Biologische Monitoring (ABM). Van 8 lokaties worden de stressparameters gemeten, namelijk a van de Westerschelde en Oosterschelde, b nabij de kust en c meer uit de kust. Ook worden in samenwerking met het project SAWES*BIO, (Systeem Analyse Westerschelde het biologische onderdeel), maandelijks gebiedseigen mosselen in de Westerschelde en in de Oosterschelde verzameld.

Er wordt verwacht dat in de Westerschelde een gradient zichtbaar wordt van oost (Waalsoorden) naar west (Vlissingen) als respons op de verandering in het milieu. De Oosterschelde, Jacoba haven, is bedoeld als controle meetpunt. Er wordt verwacht dat blootstelling van de mosselen in de Noordzee in de nabijheid van de uitstroom van de Rijn en nabij een boorplatform effecten van verontreiniging zichtbaar worden. Om een beeld te krijgen van de verandering van de diverse stressparameters in de tijd worden om de 4 weken wilde mosselen verzameld in Westerschelde (Nollepier en Knuitershoek) en Oosterschelde (Jacoba haven) (Figuur 1). Hiervan worden de fysiologische, histologische en biochemische stressparameters bestudeerd. Met deze set gegevens wordt tevens onderzocht of er op deze lokaties verschillen in stressparameters te correleren zijn met de concentratie van geaccumuleerde xenobiotische stoffen.

2. MATERIAAL EN METHODE

2.1. HERKOMST EN EXPOSITIE VAN DE MOSSELEN

2.1.1. UITHANGEN OOSTERSCHELDE MOSSELEN IN NOORDZEE EN WESTERSCHELDE

De mosselen die gebruikt worden binnen het kader van BEMWES en ABM zijn door het RIVO (Rijks Instituut voor Visserij Onderzoek te Yerseke) opgevisst in de Kom van Oosterschelde en daarna uitgehangen in korven aan boeien. Voor BEMWES zijn dat de boeien Walsoorden-48A, Pas van Terneuzen-14, en Honte-3 in de Westerschelde en als controle de korf aan de kademuur te Jacoba haven in de Oosterschelde (Figuur 1). De mosselen die worden uitgehangen hebben allen een lengte tussen de 40 en 50 mm. De korven bevatten 6 bakjes waarin 80 mosselen worden geplaatst. Voor ABM worden in de Westerschelde de boeien OHMG, WPT-2, en SSVH, en in de Oosterschelde Boei-7 (nabij Hismil) gebruikt. Op de Noordzee worden de mosselen aan de boeien Anchor South, NAM-22, AM-3, en SG-18 uitgehangen (Figuur 2). In juni 1989 zijn mosselen uitgehangen met een lengte tussen 40 en 50 mm, in oktober 1989 zijn mosselen uitgehangen met een lengte tussen 30 en 40 mm.

De mosselen bij BEMWES zijn uitgehangen op 23 juni 1989 en de bemonsteringen vinden plaats op 25 juli, 22 augustus, 19 september en 26 oktober 1989. De mosselen zijn respectievelijk 32, 58, 87 en 124 dagen geëxposeerd.

Bij ABM zijn de mosselen 6 weken geëxposeerd. De eerste keer worden de mosselen uitgehangen van 19 tot en met 23 juni 1989 en opgehaald van 31 juli tot en met 4 augustus 1989. De tweede keer worden de mosselen uitgehangen van 2 tot en met 6 oktober 1989 en opgehaald van 13 tot en met 17 november 1989.

2.1.2. MONSTERNAME WILDE MOSSELEN

Binnen het project SAWES*BIO worden door de meetdienst van de Dienst Getijdenwateren van Rijkswaterstaat gebiedseigen mosselen verzameld op de laagwaterlijn van strekdammen. In de Westerschelde gebeurt dat op de Nollepier (nabij Vlissingen), en bij Knui-tershoek (ten noordoosten van Terneuzen), in de Oosterschelde op de strekdam bij de Jacoba haven (Figuur 1). De mosselen hebben een lengte tussen 35 en 55 mm.

De data van bemonstering in het kader van SAWES*BIO staan weergegeven in Tabel 1.

2.2 BEPALING FYSIOLOGISCHE PARAMETERS AAN EEN GROEP MOSSELEN

2.2.1. DE GOTENOPSTELLING

Bij het meten van de clearance-rate en absorbtie efficiëntie van de mosselen wordt gebruik gemaakt van een gotenopstelling. Deze opstelling bestaat uit een doorstroomsysteem van natuurlijk zeewater door een vijftal goten met een afmeting van 200*14*7 cm gemaakt van betonplex (Figuur 3).

Het aantal mosselen dat in de goot wordt geplaatst, bedraagt

25 dieren bij de metingen aan wilde mosselen (SAWES*BIO) en bedraagt 20 dieren bij de metingen aan uitgehangen mosselen (BEMWES en ABM).

2.2.2. CLEARANCE-RATE (CR)

De clearance-rate is gedefinieerd als het aantal liters water dat door de mossel per tijdseenheid wordt schoon gefiltreerd. De clearance-rate wordt bepaald door het meten van het verschil in deeltjes-aantal tussen instroom en uitstroom. Immers de hoeveelheid verdwenen materiaal (gecorrigeerd voor de bezinking in de blanco-opstelling) is door de mossel afgefilterd. Met een Coulter counter, een apparaat dat het aantal deeltjes in 1 ml water telt groter dan een vooraf gekozen waarde, wordt de in- en uitstroom-concentratie gemeten. Met de volgende formule wordt de clearance-rate berekend;

$$CR = \frac{(CC_{in} - CC_{uit}) * Q/n}{(CC_{in} + CC_{uit})/2}$$

Waarin: CR = de clearance-rate in l/h*mossel
 CC_{in} = het aantal deeltjes per ml in de instroom
 CC_{uit} = het aantal deeltjes per ml in de uitstroom
 Q = het debiet in liters per uur in de goot
 n = het aantal mosselen in de goot

Het aantal mosselen dat in de goot aanwezig is varieerde tussen de 20 en 25 dieren. De metingen worden zoveel mogelijk gepaard uitgevoerd, waarbij zowel de instroom als de uitstroom twee maal gedurende ±45 minuten worden bemonsterd. Alvorens met een meting te beginnen worden de mosselen in de goot geplaatst om te acclimatiseren. Bij de metingen aan wilde mosselen bedraagt deze tijd 2 uur, bij de metingen aan uitgehangen mosselen verblijven de mosselen een nacht (± 12 uur) in de goot alvorens de meting plaats vindt.

De clearance-rate wordt gecorrigeerd voor het drooggewicht van de mosselen met de formule:

$$CR_{cor} = \frac{CR_{meting}}{DW^{0,58}}$$

Waarin: CR_{cor} = clearance-rate gecorrigeerd voor het DW in l/(h*gDW)
 CR_{meting} = clearance-rate bepaald met de gootmeting in l/(h*mossel)
 DW = drooggewicht in g
 0,58 = correctiefactor voor omrekening (Smaal (1988))

2.2.3. ABSORBTIE EFFICIENTIE (AE)

De efficiëntie waarmee een mossel het geconsumeerde materiaal verwerkt, wordt weergegeven door de absorbtie efficiëntie. De absorbtie efficiëntie wordt bepaald door de organische komponent van het voedsel te vergelijken met de organische komponent van de faeces. Conover (1966) heeft voor deze bepaling de volgende formule ontwikkelt die in dit onderzoek ook is gebruikt.

$$AE = \frac{F - E}{(1-E)*F}$$

Waarin: F (food) = ADW voedsel / DW voedsel
E (excretion) = ADW faeces / DW faeces

Ook de absorbtie efficiëntie wordt gemeten in de gotenopstelling door de goten schoon te maken en na afloop de faeces te verzamelen. Bij uitgehangen mosselen wordt de absorbtie efficiëntie gemeten tijdens de meting van de clearance-rate, bij de wilde mosselen wordt de absorbtie efficiëntie de volgende morgen gemeten, dit om ervoor te zorgen dat er voldoende tijd is verstreken om het darmstelsel "door te spoelen".

Doordat zeewater soms veel anorganisch materiaal bevat, waardoor veel pseudofaeces door de mosselen wordt gevormd die de bemonstering van de faeces bemoeilijkt, wordt het natuurlijk zeewater verdund met gefiltreerd zeewater, bij de metingen die op deze wijze uitgevoerd zijn staat in de tabellen 1b, 2c en 3b een "*" vermeld.

In tabel 6 staan de instroomgehalten van het zevend stof en het P.O.M. van het zeewater dat gebruikt is bij de diverse metingen vermeld.

2.2.4. RESPIRATIE (R)

De respiratie wordt bepaald door de mosselen uit de goot gedurende 1 tot 2 uur in een afgesloten meetkamer te plaatsen die gevuld is met natuurlijk zeewater. Aan het begin en aan het einde van de meetperiode worden monsters genomen waarvan door middel van de Winkler-methode (Skoog en West (1982)) het zuurstofgehalte bepaald wordt. Met behulp van de volgende formule wordt de respiratie bepaald;

$$R = \frac{C(t=0) - C(t=x)}{n * t} * V$$

Waarin: R = respiratie in mg O₂ per uur per mossel
C(t=0) = O₂-gehalte op tijdstip t=0 (mg/l)
C(T=x) = O₂-gehalte op tijdstip t=x (mg/l)
V = volume van de kamer (l)
n = aantal mosselen
t = tijd in uren

De respiratie wordt gecorrigeerd naar het drooggewicht van de mosselen met de formule:

$$R_{cor} = \frac{R_{meting}}{DW^{0,72}}$$

Waarin: R_{cor} = gecorrigeerde respiratie-waarde voor het
 drooggewicht in $mgO_2/(h \cdot gDW)$
 R_{meting} = respiratie bepaald in kamer in $mgO_2/(h \cdot mossel)$
 DW = drooggewicht in g
 0,72 = correctiefactor voor omrekening (Smaal
 (1988))

2.3. OVERLEVING

2.3.1. DROOGSTAND OVERLEVING

Een mossel zal naarmate hij in een betere conditie is gemakkelijker een periode van droogstand kunnen overleven. Om te onderzoeken of een mossel aan stress onderhevig is, worden mosselen blootgesteld aan lucht met een constante temperatuur en wordt de overlevingsduur bepaald. Naarmate de periode van overleving korter is ten opzichte van de controle, is de mossel aan meer stress onderhevig geweest en daardoor in een mindere conditie (den Besten en Veldhuizen (1988)).

Na bemonstering worden 30 mosselen gedurende 1 dag verwaterd in natuurlijk zeewater, om vervolgens bloot te worden gesteld aan lucht met een temperatuur van $20,0^{\circ}C \pm 0,5^{\circ}C$. Dagelijks wordt gecontroleerd hoeveel mosselen nog in leven zijn. Als criterium wordt hierbij gehanteerd het sluiten van de schelp.

Met de verkregen gegevens wordt de LT-50 bepaald, dit is de tijd die verstrijkt totdat 50 % van de mosselen niet meer leeft. Deze LT-50-waarden worden vergeleken met de waarden gevonden bij de controle groep.

Vanaf 1 januari 1990 wordt in plaats van de LT-50-waarde de gemiddelde levensduur van de mosselen bepaald. Hierbij is het ook mogelijk om de standaard deviatie weer te geven. De waarden vertonen qua grootte een verschil, maar de verschillen tussen de diverse monsters blijven bestaan. In dit verslag wordt dan ook gewerkt met de LT-50-waarde, in figuur 19 staan echter eveneens de gemiddelde levensduur met standaard deviatie van de ABM-metingen weergegeven. In figuur 19 is eveneens weergegeven of de gemeten levensduur significant afwijkt van de referentie Anchor South.

2.3.2. STERFTE TIJDENS UITHANGEN

Bij iedere bemonstering van de op de Wester- en Oosterschelde uitgehangen mosselen, BEMWES, wordt er gecontroleerd hoeveel dieren de uithangperiode overleefd hebben, door het aantal levende dieren te tellen.

2.4. GROEI EN CONDITIEINDEX

2.4.1. LENGTE, GEWICHT, EN VOLUME VAN DE MOSSELEN

Van de mosselen die zijn gebruikt voor de clearance-rate, de absorbtie efficiëntie, en de respiratie metingen, wordt tevens de lengte, het volume, het natgewicht, het drooggewicht en het aasvrijdrooggewicht bepaald. Van iedere meetreeks wordt het gemiddelde en de standaard deviatie berekend.

Bij de mosselen van BEMWES wordt de lengte van de mosselen voor en na het uithangen gemeten. Hieruit kan de groei in de loop van de tijd op de verschillende lokaties bekeken worden.

2.4.2. CONDITIE-INDEX (CI)

De conditie-index wordt berekend volgens Bayne et al (1985):

$$CI = \frac{DW}{v} * 1000$$

Waarin: DW= drooggewicht mossel (g)
v = volume van de mossel (ml)

2.5. BIOCHEMISCHE PARAMETERS

2.5.1. HET GLYCOGEENGEHALTE

Het gehalte aan glycogeen wordt bepaald volgens de methode beschreven door Pijnenburg en de Leeuw (1989).

2.6. TOXICANTEN

De toxicanten concentraties zijn gemeten in mosselen die waren uitgehangen op de Noordzee en in de Schelde-armen, ABM. Deze toxicanten zijn een aantal zware metalen, PCB's en PAK's. De monsters zijn geprepareerd door TNO Den Helder, waarna de analyse van de diverse toxicanten door DGW Haren is verricht.

De gevonden waarden staan in tabel weergegeven (Tabel 4a, 4b en 4c).

2.7. GONADEN-INDEX

Met behulp van een histologische kleuring wordt het voortplantingstadium bepaald, aan de hand van de rijpheid van de ei- of zaadcellen. De gonaden index wordt niet beschouwd als een gevoelige parameter maar omdat ontwikkeling van de gonaden en de uiteindelijke spawning de andere resultaten kan beïnvloeden is het noodzakelijk het ontwikkelingsstadium van de gonaden te kennen.

De gonaden index wordt gemeten met de methode die beschreven is door Seed & Brown (1977), hierbij worden aan de verschillende stadia van de voortplantingscyclus in oplopende volgorde een

getalswaarde toegekend die in de rustfase begint bij 0 vervolgens oploopt naar 5 in de spawningefase en daarna weer terugloopt naar 0. Spawning is te herkennen als een daling van de gonaden index.

De gemeten gonaden-indices staan vermeld in tabel 5a en 5b, daar alle gemeten monsters buiten de voortplantingsperiode (de spawning) vallen, wordt deze parameter niet verder besproken.

3. RESULTATEN

3.1. WESTERSCHELDE EN OOSTERSCHELDE

3.1.1. WILDE MOSSELEN

3.1.1.1 CONDITIE EN GROEI-PARAMETERS

Bij het verzamelen van de mosselen worden alleen mosselen geplukt met een lengte tussen de 3,5 en 5,5 cm. Zoals in Tabel 1a te zien is, is er wel sprake van variatie in schelp-lengte, maar er zijn geen significante verschillen in lengtes tussen de diverse lokaties. Verder blijkt uit Tabel 1a dat er ook geen significante verschillen zijn tussen het volume en natgewicht van de mosselen afkomstig van de verschillende lokaties. Het is echter opvallend dat de mosselen uit het oostelijk deel van de Westerschelde, Knuitershoeck, veel boller ogen, maar dit resulteert niet in een groter schelpvolume.

Het drooggewicht en het asvrijdrooggewicht, een maat voor de hoeveelheid vlees, zijn ook vermeld in Tabel 1a. De verschillen tussen de lokaties Jacoba haven en Nollepier zijn niet altijd significant. Wel is het drooggewicht van de mosselen van de Nollepier groter dan de waarden gevonden bij de mosselen van Jacoba haven. Op de lokatie Knuitershoeck zijn het drooggewicht en het asvrijdrooggewicht van de mosselen ongeveer de helft van de waarden die worden gevonden bij de twee andere lokaties. Dit laatste verschil is uiteraard ook terug te vinden in de conditie-index, aangezien de conditie-index voor een deel wordt bepaald door het drooggewicht van de mossel. In Figuur 4 zijn de gevonden waarden van de conditie-indices op de diverse lokaties met standaard deviatie weergegeven.

3.1.1.2. FYSIOLOGISCHE EN BIOCHEMISCHE PARAMETERS

De resultaten van de clearance-rate, de absorbtie efficiëntie, en de respiratie bepalingen staan vermeld in Tabel 1b en 1c. De resultaten van de glycogeen bepaling zijn pas in 1990 bekend en zullen in het eindrapport van het SAWES-project worden gepubliceerd.

De waarden van de clearance-rate en respiratie per mossel zijn in Tabel 1b en de Figuren 6a en 7a weergegeven. Gecorrigeerd voor het drooggewicht zijn deze resultaten in Tabel 1c en tevens in de Figuren 6b, 6c, 7b en 7c weergegeven. In de Figuren 6b en 6c is te zien dat er een snelle toename in de clearance-rate plaatsvindt in de maanden juni en juli, echter bij de lokatie Knuitershoeck continueert deze toename ook nog in augustus. Na deze toename vindt er een afname in de clearance-rate plaats, die vervolgens stabiliseert. In het geval van de clearance-rate in mosselen van de lokatie Knuitershoeck lijkt er een verschuiving van de top in de clearance-rate naar een later moment in het jaar op te treden. Indien de clearance-rate wordt uitgedrukt per mossel (Figuur 6a) blijkt dat de lokatie Jacoba haven meestal de hoogste clearance-rate te hebben en de lokatie Knuitershoeck meestal de laagste. Wordt de clearance-rate gecorrigeerd voor het drooggewicht (Figuur 6b en 6c) dan verandert het beeld en krijgt

de lokatie Nollepier de laagste clearance-rate en hebben de lokaties Jacoba haven en Knuitershoek beiden diverse malen de hoogste clearance-rate. De respiratie geeft alleen een duidelijk beeld indien deze gecorrigeerd wordt voor het drooggewicht (Figuur 7b en 7c). Dan is in 5 van de 7 gevallen de respiratie van de lokatie Knuitershoek hoger dan de respiratie van de lokaties Nollepier en Jacoba haven.

3.1.1.3. OVERLEVING

De droogstand overleving (Tabel 1b) geeft geen significante verschillen tussen de lokaties Jacoba haven en Nollepier. De LT-50-waarden van de lokatie Knuitershoek zijn altijd lager, wat wijst op een mindere conditie van deze dieren (Figuur 5).

3.1.2. UITHANGEXPERIMENT IN OOSTERSCHELDE EN WESTERSCHELDE, BEMWES EN ABM

3.1.2.1. CONDITIE EN GROEIPARAMETERS

BEMWES

De mosselen die worden uitgehangen zijn van de lengteklasse 40 tot 50 mm. Voor het uithangen van de mosselen in korven aan de boeien is van ieder bakje mosselen in de korf de gemiddelde schelpenlengte bepaald. Na bemonstering wordt opnieuw de gemiddelde schelpenlengte van de mosselen in de bakjes bepaald, waaruit de groei wordt berekend (Tabel 2a en Figuur 8). De groei is het sterkst in de korven van Jacoba haven (JH) en Honte-3 (H-3). In de laatste periode groeiden de mosselen geëxposeerd aan de PvT-14 echter zo sterk dat ze, na een expositietijd van 124 dagen, qua grootte vergelijkbaar zijn met JH en H-3. De groei van de mosselen geëxposeerd bij boei W-48A blijft hierbij sterk achter, de mosselen groeien hier niet of nauwelijks (Figuur 8).

Ook de andere groeiparameters (Tabel 2b), geven eenzelfde beeld. Hier hebben de mosselen van JH en H-3 het grootste volume, het grootste natgewicht, het grootste drooggewicht, en het grootste asvrijdrooggewicht. Na expositie bij boei W-48A zijn de waarden van deze parameters het kleinst. Wat betreft het drooggewicht en het asvrijdrooggewicht nemen de waarden hiervan bij JH toe ten opzichte van de ingezette dieren. Bij expositie bij H-3 blijven de waarden gelijk en vindt bij de boeien PvT-14 en W-48A een afname plaats, die het sterkst is bij W-48A.

Wordt er gekeken naar de conditie-index, dan valt op dat de waarden na de expositie aan de W-48A en PvT-14 boeien sterk teruglopen, en dat de waarden van H-3 en JH ongeveer gelijk blijven ten opzichte van het inzet monster, waarbij JH hogere waarden voor de conditie-index heeft. Opvallend is dat bij de eerste bemonstering, H-3 op W-48A na de laagste conditie-index had. Ook de andere groeiparameters als drooggewicht en asvrijdrooggewicht waren toen erg laag in vergelijking met de daarop volgende metingen (Figuur 10).

ABM

De mosselen uitgehangen aan OHMG hebben de kleinste lengtegroei

en die bij Boei-7 de grootste (Tabel 3a). Het volume en natgewicht geven geen duidelijk beeld. Dit is wel het geval met het drooggewicht en het asvrijdrooggewicht. Hierbij is de toename van deze parameters in de Zeeuwse wateren het grootst bij Boei-7 (Oosterschelde) en het kleinst bij OHMG (Hansweert). De waarden van de conditie-index zijn vergelijkbaar met de waarden gevonden bij het drooggewicht en het asvrijdrooggewicht. De conditie-index is het hoogst bij Boei-7 en het laagst bij OHMG (Figuur 15).

3.1.2.2. FYSIOLOGISCHE EN BIOCHEMISCHE PARAMETERS

BEMWES

Het gehalte aan glycogeen is het hoogst bij de mosselen geëxposeerd bij JH en H-3, en het laagst bij W-48A (Tabel 2c en Figuur 12).

De waarden van de clearance-rate en respiratie zijn vermeld in Tabel 2c en 2d. Wordt de clearance-rate uitgedrukt per mossel dan valt op dat de clearance-rate van de mosselen geëxposeerd bij de boei W-48A na 59 dagen expositie verlaagd is (Figuur 13a). Worden de waarden van de clearance-rate echter gecorrigeerd voor het drooggewicht, dan verdwijnt dit beeld (Figuur 13b). Bij de respiratie heeft W-48A de hoogste respiratie. Opvallend zijn de hoge respiratiewaarden van H-3 en JH bij een expositie duur van 87 dagen (Figuur 14).

ABM

De glycogeengehalten van de november meetserie zijn nog niet bekend. De gegevens van de augustus serie staan in Tabel 3b. Opvallend zijn de hoge waarden bij WPT-2, en OHMG. Dit daar de waarden van het asvrijdrooggewicht bij deze boeien laag uitvalt. Ook de lage waarde van de SSVH mag opmerkelijk genoemd worden.

In Tabel 3b en 3c staan de resultaten weergegeven van de clearance-rate en respiratie. De hoogste respiratie waarden worden gevonden bij WPT-2, en OHMG (Figuur 18). De clearance-rate uitgedrukt per mossel of gecorrigeerd voor het drooggewicht, is het laagst bij OHMG. Opvallend is de lage clearance-rate bij de SSVH van de augustus serie, het glycogeengehalte van deze is ook laag. Een hoge clearance-rate wordt gevonden bij SSVH (tijdens de november serie) (Figuur 17a en 17b).

3.1.2.3. OVERLEVING

BEMWES

Tijdens de experimenten wordt gecontroleerd hoeveel dieren de expositie hebben overleefd (Tabel 2a en Figuur 9). In de maanden juli en augustus vindt er een grote sterfte plaats in de korven aan de boeien Pas van Terneuzen-14 (PvT-14), en Walsoorden-48A (W-48A), dit wordt veroorzaakt door de broadval van "pokken", die de mosselen in de korven als het ware verstikken. Bij de bemonstering op 22 augustus zijn de mosselen overgezet in nieuwe korven en mandjes (Figuur 9) daarna treedt er ook geen noemenswaardige extra sterfte in de korven meer op.

De resultaten van de droogstand overlaving geeft de hoogste LT-50-waarden bij JH gevolgd door respektievelijk H-3, PvT-14 en

W-48A (Tabel 2c en Figuur 11). Dit wijst op een toename van stress van west naar oost in de Westerschelde.

ABM

De waarden van de droogstand overleving vertonen in de Zeeuwse wateren een verloop van hoog bij Boei-7 naar laag bij OHMG (Tabel 3b). In de Westerschelde is een gradient van west naar oost aan te geven.

3.2. UITHANGEXPERIMENT IN DE NOORDZEE, ABM

3.2.1. GROEI EN CONDITIEPARAMETERS

De mosselen uitgehangen aan de OHMG en NAM-22 hebben de kleinste lengtegroei en die bij de Anchor South en SG-18 (tweede meting) de grootste (Tabel 3a). Het volume en natgewicht geven geen duidelijk beeld. Dit is wel het geval met het drooggewicht en het asvrijdrooggewicht. De mosselen die zijn geëxposeerd bij Noordzeeboeien vertonen de grootste groei bij SG-18 en de kleinste groei bij AM-3. Opmerkelijk is wel dat het drooggewicht en het asvrijdrooggewicht van de mosselen geëxposeerd bij de Noordzee-boeien altijd hoger is dan de waarden die worden gevonden bij de mosselen geëxposeerd in de Zeeuwse wateren (Tabel 3a). De waarden van de conditie-index zijn vergelijkbaar met de gevonden drooggewicht en asvrijdrooggewicht waarden. Bij SG-18 en Anchor South worden de hoogste waarden en bij AM-3 de laagste conditie-index-waarde gevonden (Figuur 15).

3.2.2. FYSIOLOGISCHE EN BIOCHEMISCHE PARAMETERS

De glycoegegehalten van de november meetserie zijn nog niet bekend. De gegevens van de augustus serie staan in Tabel 3b. Opvallend zijn de hoge waarden bij AM-3. Dit daar de waarden van het asvrijdrooggewicht bij deze boei laag uitvalt.

In Tabel 3b en 3c staan de resultaten weergegeven van de clearance-rate en respiratie. De hoogste respiratie waarden worden gevonden bij NAM-22, en AM-3 (Figuur 18). De clearance-rate uitgedrukt per mossel of gecorrigeerd voor het drooggewicht, is het laagst bij SG-18. Een hoge clearance-rate wordt gevonden bij Anchor South, en NAM-22 (Figuur 17a en 17b).

3.2.3. OVERLEVING

De hoogste waarden voor de droogstand overleving van de Noordzee monsters worden gevonden bij de AM-3 en Anchor South, de laagste waarden bij de SG-18 en NAM-22 (Figuur 16).

In figuur 19 is eveneens de gemiddelde levensduur weergegeven, hierbij is ook de significantie ten opzichte van de referentie weergegeven

3.3. GEHALTE AAN TOXICANTEN

De waarden van toxische stoffen, zware metalen, PCB's, en PAK's, zijn vermeld in Tabel 4a, 4b, en 4c. Deze waarden zijn gemeten in mosselen, van de augustus serie, uitgehangen binnen het ABM-project.

4. DISCUSSIE EN CONCLUSIE

4.1. CONDITIE EN GROEI

Groei en conditie weerspiegelen de groeiomstandigheden tijdens de expositie. Deze worden bepaald door slijb, voedsel en zoutgehalte, en mogelijk andere factoren, zoals bijvoorbeeld contaminanten, stroomsnelheid en aangroei. Groei is daarom het beste te gebruiken als parameter aan de hand waarvan kan worden gecontroleerd of de expositie is geslaagd. Uit het feit dat er vrijwel overal groei heeft plaatsgevonden, kan worden geconcludeerd dat de expositie in de praktijk goed uitvoerbaar is.

De sterkste groei wordt waargenomen in de periode juni tot september. In de winter vindt er slechts een geringe groei plaats, de groei vertoont een duidelijk seizoenspatroon (Pouwer, 1988). Met dit seizoenspatroon dient rekening te worden gehouden bij de interpretatie van de groei.

Bij de uitstroom van het Haringvliet en bij Anchor South vindt de sterkste groei plaats (zie tabel 3a). Anchor South is een lokatie met weinig toxicanten en weinig fluctuaties in zout- en voedsel gehalten, waardoor mosselen weinig verstoring ondervinden. De sterke groei van de mosselen geëxposeerd in de uitstroom van het Haringvliet laat zich verklaren door het hoge voedselgehalte (chlorophyl-a) in het water.

In het oostelijk en centrale deel van de Westerschelde vindt er een geringe of zelfs een afname van het drooggewicht plaats. Dit wordt veroorzaakt door verhoogde waarden aan toxicanten, een sterk varrierend en verlaagd zoutgehalte, en een verhoogd zwevend stof gehalte (zie tabel 7).

4.2. FYSIOLOGISCHE PARAMETERS

4.2.1. CLEARANCE-RATE

Mosselen, met een hoog weefselgehalte aan contaminanten, vertonen over het algemeen een lagere clearance-rate, indien deze wordt uitgedrukt in afgefiltreerd volume per tijdseenheid per mossel (Figuur 13a en 17a).

Wordt de clearance-rate echter uitgedrukt in afgefiltreerd volume per uur gecorrigeerd voor het drooggewicht, dan wordt het verband veel onduidelijker (Figuur 13b). De vraag is of het nuttig is om de clearance-rate te corrigeren voor het drooggewicht. Omdat de uitgehangen mosselen dezelfde achtergrond hebben en tot dezelfde jaarklasse behoren, en conditie hebben.

Bij gebiedseigen mosselen zien we dat belaste mosselen een relatief lage clearance-rate per mossel vertonen. Wordt de clearance-rate gecorrigeerd voor het drooggewicht dan verandert het beeld. Hierdoor worden de waarden van de clearance-rate van de lokatie Knuitershoek aanzienlijk verhoogd, en verdwijnt het verschil met de ander lokaties. Bij de mosselen van de lokatie Knuitershoek lijkt er een verschuiving van de top in de clearance-rate naar een later moment in het jaar.

Gekonstateerd wordt dat een nader experimentele onderbouwing nodig is voor het verband tussen clearance-rate en lichaamsgegewicht bij mosselen van dezelfde jaarklasse na sterke groei

respektievelijk vermagering.

4.2.2. ABSORBTIE EFFICIENTIE

De absorbtie efficiëntie wordt bepaald door de organische component van het voedsel te vergelijken met de organische component van de faeces (Conover (1966)). Hierbij wordt faeces verzameld, dat vaak bemoeilijkt wordt doordat faeces en pseudofaeces door elkaar heen liggen. De aanmaak van pseudofaeces vindt plaats bij zwevend stof gehalten van 5 mg/l en meer. Aangezien bij vrijwel alle uitgevoerde metingen het zwevend stof gehalte groter dan 5 mg/l was (tabel 6), zijn de gevonden waarden die gevonden worden bij de absorptie efficiëntie niet betrouwbaar. Dit probleem is te ondervangen door met behulp van gefiltreerd zeewater het gehalte aan zwevend stof terug te brengen tot waarden kleiner dan 5 mg/l.

4.2.3. RESPIRATIE

De respiratie vertoont bij wilde dieren meer fluctuatie dan bij een lokatie gebonden verschil. Bij de uithangexperimenten is het echter wel zo dat lokaties met een verhoogd toxicanten gehalte zoals Westerschelde centraal en oost en bij de uitstroom van de Rijn (NAM-22) er een verhoogde respiratie wordt gevonden (figuur 18).

Bij de bepaling van de respiratie is het belangrijk om een goede referentie te hebben, omdat de respiratie sterk seizoens afhankelijk is (Vonck 1990). Zo neemt de respiratie tijdens de voortplantingsperiode sterk toe, en is gedurende deze periode een verhoogde respiratie niet direct een stress-indicator. De interpretatie tijdens de voortplantingsperiode wordt nog eens extra bemoeilijkt doordat de gonaden ontwikkeling vande mosselen op de verschillende lokaties niet synchroon verloopt.

4.3. OVERLEVING

4.3.1. DROOGSTAND OVERLEVING (DOV)

De overleving tijdens droogstand is een indicatie van de weerstand van de mossel. Indien de mossel aan ongunstige omstandigheden is blootgesteld zal de weerstand afnemen. Volgens Bayne et al (1985) is dit bij uitstek een maatstaf voor gezondheid: de weerstand tegen stress. De droogstand overleving (DOV) is beschreven in Veldhuizen-Tsoerkan et al (1990) en blijkt gevoelig voor toxicanten-stress onder experimentele omstandigheden. Uit het hier beschreven onderzoek blijkt dat de DOV toegepast kan worden in het veld. Er is een duidelijke korrelatie tussen gehalten aan contaminanten en de DOV, zoals blijkt uit ABM, (Smaal et al (1990)). In het algemeen is de DOV lager in het oostelijk deel van Westerschelde.

In figuur 19 staat de gemiddelde levensduur van de mosselen uitgehangen in de Nederlandse kustwateren en Wester- en Oosterschelde weergegeven. Deze waarden laten zich met een t-toets testen.

Daar er variatie in de gevonden waarden in de loop van het jaar optreedt, is deze parameter alleen bruikbaar indien de mosselen van een bepaalde lokatie vergeleken worden met mosselen van een referentie lokatie.

4.3.2. OVERLEVING IN KORVEN, BEMWES

Over mogelijk te meten verschillen tussen korven uitgehangen in Wester- en Oosterschelde valt niet veel te zeggen. Door de broedval van "pokken" is de korf tijdens de uithangperiode hiermee dichtgegroeid. Dit heeft plaatsgevonden bij de korf geëxposeerd bij de boei in de Pas van Terneuzen en bij Walsoorden. Doordat de korven dichtgegroeid zijn, zijn de mosselen in de mandjes verstikt, en is er in deze korven een relatief grote sterfte opgetreden (Figuur 9). Letaliteit veroorzaakt door mindere milieuomstandigheden valt door deze sterfte niet te bepalen.

4.4. BIOCHEMISCHE PARAMETERS

4.4.1. HET GLYCOGEEN-GEHALTE

Glycogeen doet dienst als reservestof in de mossel. Het gehalte vertoont een jaarcyclus die samenhangt met de ontwikkeling van de gonaden, aangezien glycogeen bij de rijping wordt omgezet in vet als eidooier. Dit treedt voornamelijk op in de winter en het voorjaar.

De gegevens uit de Westerschelde laten een verlaging zien in het centrale en oostelijk deel na 32 dagen, terwijl de nivo's daarna min of meer konstant blijven. De verschillen tussen Westerschelde-centraal en -oost versus Westerschelde-west en Oosterschelde ontstaan dus binnen 32 dagen en veranderen daarna niet noemenswaardig (figuur 12). Klaarblijkelijk stelt het glycogeennivo zich in afhankelijk van de lokatie. Het is aannemelijk dat dit samenhangt met het lokale voedselgehalte.

4.5. DE RESPONS VAN MOSSELEN

4.5.1. DE WESTERSCHELDE EN OOSTERSCHELDE

De rivier de Schelde heeft een grote invloed op het Westerschelde estuarium. Zo zorgt de aanvoer van zoet verontreinigd Schelde-water veroorzaakt een gradient in een aantal abiotische factoren in de Westerschelde. Het zoutgehalte van het water neemt naar het oosten toe af, en de fluctuatie in het zoutgehalte is in het oostelijk deel het grootst. In vergelijking tot de Oosterschelde en de Noordzee is er veel meer zwevende stof in de gehele Westerschelde aanwezig, en zijn het P.O.C.- en chlorophyl-gehalte licht verhoogd (zie tabel 7). De Schelde voert grote hoeveelheden toxicanten aan. (zwarte metalen, PCB's, en PAK's), die eveneens een gradient vertonen in de Westerschelde, met de hoogste concentraties in het oostelijk deel.

Wilde en uitgehangen mosselen hebben in het oostelijk deel van

de Westerschelde een lager drooggewicht dan mosselen van de zelfde grootte uit het westelijk deel van de Westerschelde of de Oosterschelde. In het oostelijk deel is in de meeste gevallen de respiratie verhoogd, de clearance-rate verlaagd, en is de overleving tijdens droogstand significant verlaagd, ten opzichte van de Oosterschelde en de Westerschelde monding. Hemelraad et al (1989) vonden een zelfde respons. In de gehele Westerschelde is de respiratie verhoogd ten opzichte van de Oosterschelde en vertoont de droogstands overleving in de Westerschelde een gradient van west naar oost, dit is toe te schrijven aan verhoogde toxicantenconcentraties, verlaagd zoutgehalte en sterk verhoogd zwevende stof-gehalten.

4.5.2. DE NOORDZEE

Mosselen uitgehangen bij de uitstroom van het Haringvliet (SG-18) en nabij Katwijk (NAM-22) zijn blootgesteld aan water dat afkomstig is uit respectievelijk Maas en Waal, en uit Maas, Waal, en Rijn. Hierdoor fluctueert metname bij Katwijk het zoutgehalte en is de zoutconcentratie op deze lokatie verlaagd. Bij beide lokaties is er een verhoogd zwevende stof gehalte, en een zeer sterk verhoogd chlorophyl-a-gehalte. Het water op deze lokaties bevat ten opzichte van de off-shore lokaties van de Noordzee verhoogde PCB- en PAK- concentraties. Opmerkelijk is dat de concentratie van de zware metalen bij de uitstroom van het Haringvliet het laagst is van alle lokaties (tabel 7).

De mosselen van de lokaties SG-18 en NAM-22 vertonen, ondanks hogere toxicantenconcentraties, een sterke groei, die te verklaren is door de extreem hoge chlorophyl-a-gehalten in het zeewater. Dat de groei bij Anchor South het grootst is laat zich verklaren door het hogere chlorophyl-a-gehalte ten opzichte van AM-3, en de lagere toxicantengehalten en constantere milieuomstandigheden (zoals zoutgehalte en zwevende stof) in vergelijking tot SG-18 en NAM-22. De clearance-rate en respiratie laten geen duidelijk beeld zien. Om over deze twee parameters iets te kunnen zeggen is meer onderzoek noodzakelijk naar invloed van toxicanten en naar de invloed van het zoutgehalte en zwevende stof. De overleving bij droogstand daarentegen heeft de laagste waarden bij de lokaties SG-18 en NAM-22. Dit laat zich goed correleren met de verhoogde concentraties aan PCB's en PAK's op deze lokaties.

5. REFERENTIES

Bakker M., (1988) Voortgangsrapport 1987/88, histologische en biochemische stressparameters.
DGW notitie: GWA0-88.1329

Bayne B.L., D.A. Brown, K. Burns, D.R. Dixon, A. Ivanovici, D.R. Livingstone, D.M. Lowe, M.N. Moor, A.R.D. Stebbing, J. Widdows, (1985) The effects of stress and pollution on marine animals.
Preager, New York (1985)

Besten P.J. den, M.B. Veldhuizen-Tsoerkan, (1988) Study on stress parameters and effect on heavy metals and organic micropollutants in the water of the Western Scheldt on the reproduction of the sea mussel, Mytilus edulis, and the sea star, Asterias rubens.
Rijks Universiteit Utrecht

Conover R.J., (1966) Assimilation of organic matter by zooplankton.
Limnol. Oceanogr. 111, 338 - 345

Hemelraad J., A.C. Smaal, H. Hummel, (1989) Scope for growth in mussels exposed in Western and Eastern Scheldt.
Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Yerseke (1989-8)

Pouwer R., (1987) De groei van uitgehangen mosselen in Ooster en Westerschelde, maart 1987 april 1988.
DGW notitie: GWA0-88.1312

Pijnenburg J., R. de Leeuw, (1989) Glycogeenbepaling in mosselen.
DGW notitie: GWIO-89.507

Skoog D.A., D.M. West, (1982) Fundamentals of analytical chemistry, 4th edition, blz. 772 en 773.
Holt-Saunders, Japan

Smaal A.C., W. Vonck, M. Bakker, (1988) Voedselopname en gebruik door mossels en kokkels als functie van seizoen en lichaamsgewicht.
DGW notitie: GWA0-88.1002

Smaal A.C., A. Wagenvoort, J. Hemelraad, I. Akkerman, (1990) Response to stress of mussels exposed in Dutch tidal waters.
(in press)

Vonck W., (1989) Vergelijking tussen voedselaanbod en fysiologische behoefte van de mossel Mytilus edulis in relatie tot het seizoen.
DGW notitie: GWA0-89.1301

6. TABELLEN

- Tabel 1a: Resultaten van de groeiparameters van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO
- Tabel 1b: De resultaten van de bepaling van de fysiologische parameters van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO
- Tabel 1c: De waarden van clearance-rate en respiratie gemeten binnen het kader van SAWES*BIO, gecorrigeerd voor het drooggewicht
- Tabel 2a: Het aantal overlevende mosselen en groei van de schelp per korf na verschillende expositie tijden, binnen het kader van BEMWES
- Tabel 2b: Resultaten van de groeiparameters van de mosselen uitgehangen het kader van BEMWES
- Tabel 2c: De resultaten van de bepaling van de fysiologische parameters van de mosselen uitgehangen het kader van BEMWES
- Tabel 2d: De waarden van clearance-rate en respiratie gemeten binnen het kader van BEMWES, gecorrigeerd voor het drooggewicht
- Tabel 3a: Resultaten van de groeiparameters van de mosselen uitgehangen het kader van ABM
- Tabel 3b: De resultaten van de bepaling van de fysiologische parameters van de mosselen uitgehangen het kader van ABM
- Tabel 3c: De waarden van clearance-rate en respiratie gemeten binnen het kader van ABM, gecorrigeerd voor het drooggewicht
- Tabel 4a: Het gehalte aan zware metalen in mosselen uitgehangen in de Noordzee en de Schelde-armen (in mg/kg droge stof), ABM
- Tabel 4b: Het gehalte aan PCB's in mosselen uitgehangen in de Noordzee en de Schelde-armen (in ng/kg droge stof), ABM
- Tabel 4c: Het gehalte aan PAK's in mosselen uitgehangen in de Noordzee en de Schelde-armen (in ng/kg droge stof), ABM
- Tabel 5a: De gonaden-index van de mosselen verzameld te Jacoba haven, Nollepier, en Knuitershoek, SAWES*BIO
- Tabel 5b: De gonaden-index van de mosselen uitgehangen in Oosterschelde en Westerschelde, BEMWES

Tabel 6: Gehalten aan zwavend stof en P.O.M. van het zeewater gebruikt bij de clearance-rate, respiratie, en absorptie efficiëntie metingen

Tabel 7: Vergelijking fysiologische parameters ten opzichte van milieufactoren

Tabel 1a: Resultaten van de groeiparameters van de mosselen verzameld in het kader van SAMENBIO.

De in de tabel aangegeven standaard deviaties zijn de standaard deviaties die veroorzaakt worden door verschillen tussen de mosselen onderling.

aantal gemeten mosselen: 25 dieren

herkomst mosselen	datum monsternamen	lengte (mm)	volumen (ml)	natgewicht (g)	DWlaas (g)	Dwchelp (g)	asvrijdrooggewicht vlase (g)	conditie-index (mg/ml)
Jacoba haven	5 juni	45.6 ± 3.9	9.0±2.0	13.07±3.17	0.99±0.17	5.82	0.83 ± 0.13	111.5 ± 15.2
Hollepier	5 juni	49.1 ± 3.9	11.0±2.8	15.60±3.77	1.11±0.21	6.53	0.88 ± 0.16	103.5 ± 12.0
Kruiterhoek	6 juni	44.0 ± 4.0	9.9±2.7	14.13±3.57	0.65±0.17	6.06	0.44 ± 0.11	67.2 ± 12.2
Jacoba haven	3 juli	44.4 ± 3.8	9.2±2.2	12.43±2.72	0.82±0.25	5.69	0.67 ± 0.13	87.5 ± 12.1
Hollepier	3 juli	45.2 ± 3.4	9.8±2.4	12.79±3.14	1.01±0.22	5.37	0.86 ± 0.18	105.8 ± 20.4
Kruiterhoek	4 juli	43.6 ± 2.9	9.4±2.0	12.37±2.72	0.59±0.16	5.33	0.42 ± 0.11	62.9 ± 12.9
Jacoba haven	1 augustus	44.3 ± 2.9	9.9±2.0	13.43±2.74	0.95±0.23	6.33	0.66 ± 0.16	94.9 ± 14.4
Hollepier	1 augustus	41.9 ± 2.4	8.2±1.1	10.76±1.49	0.95±0.21	4.57	0.68 ± 0.16	116.4 ± 26.4
Kruiterhoek	2 augustus	42.5 ± 2.2	9.4±1.3	12.17±1.60	0.61±0.13	5.37	0.38 ± 0.11	64.7 ± 12.8
Jacoba haven	21 augustus	45.0 ± 2.6	9.2±1.3	13.01±1.93	0.91±0.17	5.75	0.64 ± 0.10	99.3 ± 11.3
Hollepier	22 augustus	47.2 ± 2.6	10.0±1.9	13.77±2.82	1.11±0.29	5.88	0.88 ± 0.16	112.5 ± 30.1
Kruiterhoek	21 augustus	43.1 ± 3.2	9.6±2.2	13.19±3.37	0.62±0.29	5.17	0.39 ± 0.24	71.3 ± 12.3
Jacoba haven	20 september	45.6 ± 2.5	10.7±2.1	14.86±3.09	1.05±0.26	7.04	0.90 ± 0.22	98.5 ± 16.1
Hollepier	21 september	46.6 ± 2.7	10.0±1.5	13.92±2.30	1.15±0.29	6.16	0.91 ± 0.21	114.8 ± 20.2
Kruiterhoek	20 september	44.5 ± 1.9	10.2±1.7	14.03±2.50	0.64±0.17	6.04	0.46 ± 0.13	64.1 ± 17.5
Jacoba haven	16 oktober	44.0 ± 2.6	9.0±1.6	12.58±2.24	0.79±0.18	5.89	0.40 ± 0.10	86.2 ± 13.7
Hollepier	17 oktober	46.0 ± 3.5	10.3±2.2	14.24±3.28	1.12±0.30	6.04	0.59 ± 0.17	109.0 ± 23.4
Kruiterhoek	16 oktober	42.0 ± 2.4	9.1±1.4	12.62±1.97	0.58±0.14	5.68	0.24 ± 0.08	64.5 ± 14.8
Jacoba haven	15 november	46.5 ± 2.6	9.5±1.8	13.43±2.65	0.83±0.20	6.17	0.65	88.2 ± 14.7
Hollepier	16 november	47.6 ± 3.9	10.8±2.5	15.22±3.91	1.11±0.35	7.04	0.89	102.8 ± 18.7
Kruiterhoek	15 november	47.9 ± 3.8	12.6±2.6	17.21±3.80	0.74±0.18	7.09	0.48	60.6 ± 18.3
Jacoba haven	18 december	44.5 ± 3.7	8.5±2.3	12.51±3.26	0.71±0.23	5.77	0.56	83.5 ± 13.4
Hollepier	19 december	45.9 ± 3.2	10.1±2.1	14.60±3.14	0.91±0.21	6.66	0.72	90.9 ± 18.7
Kruiterhoek	18 december	43.4 ± 2.5	8.8±1.3	12.90±2.13	0.58±0.15	5.61	0.39	66.0 ± 15.2

Tabel 1b: De resultaten van de bepaling van de fysiologische parameters van de mosselen verzameld in het kader van SAMES-BIO.
aantal gemeten mosselen: 25 dieren

expositie lokatie	periode van het jaar	clearance-rate (l/(h*mossel))	absorptie-efficiëntie	respiratie (mgO ₂ /(h*mossel))	anaërobic survival (LT-50 in dagen)	gehalte glycogeen (mg glycogeen/gIW)
Jacoba haven	5 juni	4.2 4.0	-	-	-	
Mollepijler	5 juni	2.9 3.6	-	-	-	
Kruiterhoek	6 juni	2.7 2.5	-	-	-	
Jacoba haven	3 juli	3.9 4.6	-	0.23	-	
Mollepijler	3 juli	5.5 2.7	-	0.32	-	
Kruiterhoek	4 juli	3.5	-	0.43	-	
Jacoba haven	1 augustus	4.2 3.8	0.41	0.25	7.4	
Mollepijler	1 augustus	2.4 3.2	0.38	0.32	8.3	
Kruiterhoek	2 augustus	4.4 4.4	0.32	0.18	6.5	
Jacoba haven	21 augustus	2.9 3.3	0.42	0.38	4.2	
Mollepijler	22 augustus	2.3 2.3	0.56	0.39	4.4	
Kruiterhoek	21 augustus	2.4 2.6	0.45	0.27	4.0	
Jacoba haven	20 september	2.3 2.3	0.56	0.26	7.7	
Mollepijler	21 september	2.7 2.7	0.61	0.33	7.1	
Kruiterhoek	20 september	2.5 2.4	0.61	0.29	5.2	
Jacoba haven	16 oktober	2.2 2.3	0.55	0.20	6.2	
Mollepijler	17 oktober	1.8 1.9	0.54	0.39	5.6	
Kruiterhoek	16 oktober	1.2 1.1	0.53	0.10	4.7	
Jacoba haven	15 november	2.0 2.4	0.45	0.15	6.0	113.09
Mollepijler	16 november	1.0 1.1	0.53	0.12	5.4	
Kruiterhoek	15 november	1.7 1.8	0.46	0.19	4.5	
Jacoba haven	18 december	1.5 1.7	0.13 *	0.17	4.7	105.33
Mollepijler	19 december	1.3 1.5	0.23 *	0.23	4.7	
Kruiterhoek	18 december	0.6 1.0	0.23 *	0.20	4.3	

*: raw zeewater verdund met gefiltreerd zeewater

Tabel 1c: De waarden van de clearance-rate en respiratie gemeten binnen het kader van SAWES*^{BIO}, gecorrigeerd voor het drooggewicht. aantal gemeten mosselen: 25 dieren

expositie lokatie	periode van het jaar	clearance-rate ($1/(h \cdot gDW)$)	respiratie ($mgO_2/(h \cdot gDW)$)
Jacoba haven	5 juni	4.1	-
Nollepier	5 juni	3.1	-
Knuitsershoek	6 juni	3.3	-
Jacoba haven	3 juli	4.8	0.27
Nollepier	3 juli	4.1	0.32
Knuitsershoek	4 juli	4.8	0.62
Jacoba haven	1 augustus	4.0	0.26
Nollepier	1 augustus	2.9	0.33
Knuitsershoek	2 augustus	5.9	0.26
Jacoba haven	21 augustus	3.3	0.41
Nollepier	22 augustus	2.2	0.36
Knuitsershoek	21 augustus	3.2	0.38
Jacoba haven	20 september	2.2	0.25
Nollepier	21 september	2.5	0.30
Knuitsershoek	20 september	3.1	0.40
Jacoba haven	16 oktober	2.5	0.23
Nollepier	17 oktober	1.8	0.36
Knuitsershoek	16 oktober	1.5	0.16
Jacoba haven	15 november	2.5	0.17
Nollepier	16 november	0.9	0.11
Knuitsershoek	15 november	2.0	0.24
Jacoba haven	18 december	2.0	0.22
Nollepier	19 december	1.5	0.24
Knuitsershoek	18 december	1.1	0.29

Tabel 2a: Het aantal overlevende mosselen en groei van de schelp per korf na verschillende
expositietijden, binnen het kader van REMES.
aantal gemeten mosselen: 75 dieren

expositie lokatie	expositie tijd (dagen)	aantal levende mosselen per korf (%)	groei van de mosselen (mm)
Jacoba haven	32	100	2.7
	59	98	3.0
	87	96	3.4
	124	94	4.5
Honte-3	32	98	2.3
	59	99	3.4
	87	93	3.6
	124	88	3.6
Pas van Ter- neuzen-14	32	99	1.5
	59	30	1.7
	87	46	2.6
	124	48	4.1
Walseorden-48A	32	96	0.7
	59	55	0.5
	87	48	-0.1
	124	30	1.3

Tabel 2b: Resultaten van de groeiparameters van de mosselen uitgehangen in het kader van REMES.
De in de tabel aangegeven standaard deviaties zijn de standaard deviaties die veroorzaakt worden
door verschillen tussen de mosselen ordening.
aantal gemeten mosselen: 20 dieren

expositie lokatie	expositie tijd (dagen)	lengte (mm)	volume (ml)	natgewicht (g)	DWvlees (g)	DWschelp (g)	sevrjdrooggewicht vlees (g)	conditie-index (mg/ml)
inzet wonster	0	46.6 ± 2.4	8.6 ± 1.3	10.40	1.03±0.19	3.5±0.6	0.87 ± 0.16	120.6 ± 14.2
Jacoba haven	32	47.2 ± 2.8	8.5 ± 1.7	10.75±1.83	1.20±0.23	3.7±0.7	0.85 ± 0.16	142.4 ± 15.2
	59	49.2 ± 2.2	9.6 ± 1.1	12.45±1.50	1.38±0.19	4.8	1.10 ± 0.13	144.6 ± 11.7
	87	49.9 ± 2.8	10.3 ± 1.5	13.30±1.71	1.33±0.24	5.0	1.17 ± 0.21	126.1 ± 15.2
	124	50.9 ± 1.8	10.7 ± 1.0	13.83±1.00	1.33±0.16	5.0	1.09 ± 0.12	124.1 ± 13.0
Honte-3	32	47.8 ± 1.9	9.1 ± 1.3	11.52±1.46	0.99±0.16	4.0±0.6	0.66 ± 0.11	110.2 ± 23.4
	59	49.2 ± 1.9	9.5 ± 1.0	12.36±1.33	1.22±0.18	4.5	0.98 ± 0.11	128.1 ± 16.3
	87	48.5 ± 2.7	9.8 ± 1.2	12.41±1.73	1.08±0.33	4.4	0.93 ± 0.30	109.6 ± 28.5
	124	49.3 ± 3.1	10.0 ± 2.2	12.96±2.63	1.09±0.28	4.7	0.88	112.6 ± 29.9
Pas van Ter- neuzen-14	32	47.0 ± 2.6	8.4 ± 1.2	10.97±1.51	1.06±0.19	3.9±0.6	0.72 ± 0.13	127.3 ± 23.8
	59	46.2 ± 2.3	7.9 ± 1.1	10.19±1.33	0.91±0.16	3.8	0.70 ± 0.12	115.9 ± 19.8
	87	47.9 ± 2.5	9.3 ± 1.2	11.95±1.58	0.77±0.21	4.3	0.61 ± 0.18	82.0 ± 16.5
	124	48.7 ± 3.4	9.6 ± 1.6	12.09±2.24	0.87±0.33	4.3	0.69 ± 0.27	88.9 ± 23.3
Walseorden-48A	32	46.5 ± 2.4	8.3 ± 1.3	10.87±1.53	0.90±0.19	3.8±0.5	0.59 ± 0.13	109.3 ± 21.1
	59	46.8 ± 2.0	8.3 ± 1.0	10.92±1.30	0.77±0.15	4.0	0.48 ± 0.11	92.5 ± 14.7
	87	43.4 ± 2.2	7.5 ± 1.1	9.38±1.39	0.52±0.12	3.4	0.39 ± 0.09	69.6 ± 15.3
	124	45.5 ± 2.1	8.2 ± 1.0	10.43±1.44	0.62±0.13	4.0	0.47 ± 0.10	75.7 ± 12.9

Tabel 2c: De resultaten van de bepaling van de fysiologische parameters van de mosselen uitgehangen in het kader van BEMES.
aantal gemeten mosselen: 20 dieren

expositie lokatie	expositie tijd (dagen)	clearance-rate (l/(h*mossel))	absorptie-efficiëntie	respiratie (mgO ₂ /(h*mossel))	anoxic survival (LT-50 in dagen)	gehalte glycogeen (mg glycogeen/gDW)
inzet monster	0	4.9 4.9	0.71	0.35	-	-
Jacoba haven	32	3.5 1.8	0.82	0.55	8.0	184.59
	59	5.2 4.2	0.81	0.26	5.1	214.12
	87	1.8	0.59	0.84	8.0	197.66
	124	1.6 1.8	0.60	0.44	5.7	153.32
Honte-3	32	1.9 2.2	0.50	0.68	6.5	194.96
	59	6.5	0.81	0.55	4.0	135.00
	87	1.9	0.51	0.54	6.4	175.70
	124	-	-	-	5.7	157.72
Pas van Ter- neuzen-14	32	1.6 1.2	0.58	0.64	6.0	148.94
	59	6.1 3.3	0.80	0.35	-	-
	87	2.0	0.42	0.25	5.5	145.90
	124	1.8 1.1	0.59	0.37	5.1	116.22
Walsoorden-48A	32	2.0 1.7	0.77	0.61	5.8	141.99
	59	3.7 4.7	0.80	0.51	-	126.83
	87	0.9	0.43	0.31	4.8	143.35
	124	0.5 0.9	0.52	0.33	4.2	127.09

Tabel 2d: De waarden van de clearance-rate en respiratie gemeten binnen het kader van BEMWES, gecorrigeerd voor het drooggewicht.
aantal gemeten mosselen: 20 dieren

expositie lokatie	expositie tijd (dagen)	clearance-rate (l/(h*gDW))	respiratie (mgO ₂ /(h*gDW))
inzet monster	0	4.8	0.34
Jacoba haven	32	2.5	0.48
	59	4.1	0.21
	87	1.5	0.68
	124	1.4	0.36
Honte-3	32	2.0	0.69
	59	5.8	0.48
	87	1.8	0.51
	124	-	-
Pas van Ter- neuzen-14	32	1.4	0.61
	59	4.9	0.37
	87	2.3	0.31
	124	1.6	0.41
Walsoorden-48A	32	2.0	0.66
	59	4.9	0.61
	87	1.3	0.49
	124	0.9	0.46

Tabel 3a: Resultaten van de groeiparameters van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM

De in de tabel weergegeven standaard deviaties zijn de standaard deviaties die veroorzaakt worden door verschillen tussen de mosselen onderling.

aantal gemeten mosselen: 20 dieren

expositie lokatie	periode van het jaar	lengte (mm)	volume (ml)	natgewicht (g)	DWvlees (g)	Dschelp (g)	asvrijdrooggewicht vlees (g)	conditie-index (mg/ml)
inzet monster	eind juni	46.6 ± 2.4	8.6 ± 1.3	10.40±1.43	1.03±0.19	3.5±0.6	0.87 ± 0.16	120.6 ± 14.2
	begin oktober	38.0 ± 2.3	4.6 ± 0.6	5.28±0.84	0.32±0.08	1.9	0.25 ± 0.07	70.3 ± 10.4
Boei-7	begin augustus	49.3 ± 3.0	9.5 ± 1.5	12.03±2.15	1.28±0.26	4.12	0.88 ± 0.18	134.2 ± 17.9
	half november	41.4 ± 2.3	5.1 ± 0.8	6.41±1.10	0.43±0.08	2.23	0.35	84.9 ± 8.2
SSVH	begin augustus	47.3 ± 2.5	8.6 ± 1.3	10.88±1.78	1.02±0.25	3.77	0.66 ± 0.13	117.1 ± 19.9
	half november	41.4 ± 2.9	5.7 ± 1.3	6.77±1.35	0.46±0.12	2.34	0.38	82.6 ± 14.7
WPT-2	begin augustus	47.2 ± 3.1	9.1 ± 1.5	11.21±1.67	1.03±0.15	3.81	0.66 ± 0.10	115.0 ± 15.4
	half november	39.7 ± 2.5	4.7 ± 0.7	5.81±0.92	0.36±0.07	2.04	0.29	78.2 ± 12.7
CHMG	begin augustus	46.3 ± 2.5	8.6 ± 1.5	10.66±1.49	0.91±0.18	3.79	0.59 ± 0.13	108.2 ± 21.3
	half november	38.3 ± 1.8	4.3 ± 0.7	5.24±0.81	0.33±0.07	1.92	0.25	78.7 ± 10.1
Anchor South	begin augustus	48.5 ± 2.9	8.7 ± 1.4	11.30±1.80	1.48±0.27	3.76	0.87	170.9 ± 17.5
	half november	42.0 ± 1.9	5.4 ± 0.7	6.85±0.92	0.59±0.12	2.39	0.50	107.8 ± 14.8
NAM-22	begin augustus	46.4 ± 2.5	8.7 ± 1.3	11.02±1.76	1.27±0.17	3.73	0.85 ± 0.12	148.3 ± 19.9
	half november	40.7 ± 2.7	5.0 ± 0.9	6.53±1.07	0.53±0.15	2.26	0.43	105.3 ± 20.9
AM-3	begin augustus	47.1 ± 3.3	8.6 ± 1.5	10.75±1.84	1.15±0.27	3.81	0.78 ± 0.19	132.8 ± 21.2
	half november	40.7 ± 2.5	5.0 ± 0.8	6.31±1.08	0.45±0.11	2.28	0.36	91.6 ± 20.1
SG-18	begin augustus	47.6 ± 4.0	9.1 ± 1.6	11.87±2.11	1.34±0.27	4.04	0.89 ± 0.17	147.8 ± 15.7
	half november	44.2 ± 2.7	6.5 ± 1.1	7.90±1.16	0.84±0.18	2.55	0.70	129.7 ± 18.1

Tabel 3b: De resultaten van de bepaling van de fysiologische parameters van de mosselen uitgehangen in het kader van AM.
aantal gemeten mosselen: 20 dieren

expositie lokatie	periode van het jaar	clearance-rate (l/(h*mossel))	absorptie-efficiëntie	respiratie (mgO ₂ /(h*mossel))	anoxic survival (LT-50 in dagen)	gehalte glycogeen (µg glycogeen/gDW)
inset monster	eind juni	4.9 4.9	0.71	0.35	-	-
	begin oktober	1.1	0.56	0.32	6.6	169.26
Boei-7	begin augustus	2.1 2.3	0.32	0.40	8.1	159.91
	half november	1.1 1.2	0.22	0.27	6.7	129.06
SSVE	begin augustus	0.9	0.40	0.39	7.5	105.35
	half november	2.3 0.7	0.30	0.23	5.8	143.57
WPT-2	begin augustus	2.3 2.5	0.53	0.45	6.9	176.49
	half november	1.1 0.3	0.40	0.32	5.6	147.39
ORRG	begin augustus	1.8 2.1	0.51	0.39	6.2	177.83
	half november	0.1 0.4	0.16	0.21	4.0	
Anchor South	begin augustus	3.6 1.6	0.46	0.52	7.3	160.51
	half november	1.1 1.3	0.42	-	7.6	172.96
NAM-22	begin augustus	3.0 2.5	0.52	0.60	5.6	180.04
	half november	1.8 1.3	0.25	0.36	7.1	158.99
AM-3	begin augustus	2.5 1.1	0.56	0.44	6.8	198.45
	half november	1.2 0.8	0.21	0.28	8.0	149.81
SG-18	begin augustus	1.8 1.0	0.66	0.43	5.5	221.20
	half november	0.7 0.3	0.40	-	7.2	161.33

*: ruw zeewater verdund met gefiltreerd zeewater

Tabel 3c: De waarden van de clearance-rate en respiratie gemeten binnen het kader van ABM, gecorrigeerd voor het drooggewicht.
aantal gemeten mosselen: 20 dieren

expositie lokatie	periode van het jaar	clearance-rate (1/(h*gDW))	respiratie (mgO ₂ /(1/gDW))
inzet monster	eind juni	4.8	0.34
	begin oktober	2.1	0.73
Boei-7	begin augustus	1.9	0.33
	half november	1.8	0.50
SSVH	begin augustus	0.9	0.38
	half novmeber	2.4	0.39
WPT-2	begin augustus	2.4	0.44
	half november	1.3	0.66
OHMG	begin augustus	2.1	0.42
	half november	0.6	0.46
Anchor South	begin augustus	2.1	0.39
	half november	1.6	-
NAM-22	begin augustus	2.4	0.50
	half november	2.2	0.57
AM-3	begin augustus	1.7	0.40
	half november	1.6	0.50
SG-18	begin augustus	1.2	0.35
	half november	0.6	-

Tabel 4a: Het gehalte aan zware metalen in mosselen uitgehangen in de Noordzee en de Schelde-armen (in mg/kg droge stof), ABM

	SSVH	WPT-2	OHMG	Boei-7	Anchor South	SG-18	NAM-22	AM-3
cadmium	0.39	0.86	1.44	0.24	0.47	0.22	0.40	0.42
chromium	<dg	<dg	<dg	<dg	<dg	<dg	<dg	<dg
koper	8.30	8.20	9.00	7.10	7.20	7.30	7.70	6.50
kwik	0.10	0.12	0.14	0.10	0.06	0.11	0.07	0.07
nikkel	<dg	<dg	<dg	<dg	<dg	<dg	<dg	<dg
lood	5.50	5.50	4.50	<dg	<dg	<dg	<dg	<dg
zink	82.00	102.00	117.00	62.00	59.00	70.00	76.00	82.00

Tabel 4b: Het gehalte aan PCB's in mosselen uitgehangen in de Noordzee en de Schelde-armen (in ng/g droge stof), ABM

	SSVH	WPT-2	OHMG	Boei-7	Anchor South	SG-18	NAM-22	AM-3
se hcb	8.8	9.4	11.3	6.5	6.1	7.4	7.6	8.1
se 18	0.9	1.5	1.7	0.7	0.5	4.0	3.7	0.3
se 31	1.8	1.9	2.0	1.2	0.9	5.5	5.3	1.3
se 28	2.3	3.2	3.6	1.4	0.8	6.0	5.8	0.6
se 52	9.4	18.5	23.7	4.0	2.3	18.3	15.7	1.1
se 44	4.5	7.9	10.7	2.1	1.2	9.0	8.5	0.7
se 49	8.9	13.8	16.7	5.1	2.3	36.1	58.8	1.2
se 101	30.6	56.2	69.2	12.0	5.6	30.5	28.5	3.7
cp 105	5.7	10.8	15.4	2.5	1.5	4.0	4.2	1.1
se 118	16.9	30.0	37.0	7.2	4.1	14.0	14.4	3.0
se 138	35.3	62.5	81.5	16.0	7.8	25.4	25.8	6.2
se 153	56.1	94.5	116.6	26.0	13.1	43.0	42.2	10.2
cp 170	2.8	5.0	7.8	1.2	0.8	2.0	2.3	0.4
se 180	7.3	14.4	23.1	2.5	1.2	4.8	5.1	0.5
se 187	15.3	25.4	33.2	7.5	4.0	11.4	11.3	3.3

Tabel 4c: De gehalten aan PAK's in mosselen
uitgehangen in de Noordzee en Schelde-armen
(in ng/g droge stof), ABM

	SSVH	WPT-2	OHMG	Boel-7	Anchor South	SG-18	NAM-22	AM-3
Fen	45.2	23.9	31.7	21.9	23.0	28.5	26.7	16.6
Ant	2.8	2.8	4.0	1.1	0.7	1.4	1.6	0.5
Flu	118.9	104.9	106.3	28.3	14.4	57.0	72.1	6.3
Pyr	106.1	121.7	133.7	19.1	9.4	47.2	57.9	5.9
BaA	24.9	33.9	38.9	7.0	3.3	7.1	11.7	3.1
Chr	33.8	45.9	52.3	10.4	4.9	15.5	26.4	3.1
BeP	64.3	98.3	119.4	16.1	7.0	26.6	36.1	3.0
BbF	33.3	45.2	58.1	12.7	4.3	15.3	20.4	3.1
BkF	11.7	17.3	23.3	5.2	1.9	6.7	7.7	1.1
Bap	8.3	15.4	25.4	2.7	0.4	2.6	5.0	0.3
BghiPe	13.5	22.0	30.5	4.8	2.3	6.7	9.8	1.1
DBahA								
InP	7.2	9.2	14.4	4.2	2.4	5.3	6.1	2.7

Tabel 5a: De gonaden-index van de mosselen
verzameld te Jacoba haven, Nollepier, en
Knuitershoek, SAWES*Bio

	Jacoba haven gemiddeld	Jacoba haven st. dev.	Nollepier gemiddeld	Nollepier st. dev.	Knuitershoek gemiddeld	Knuitershoek st. dev.
5-6-89	1.25	0.43	1.33	0.47	1.38	0.48
7-7-89	1.20	1.08	1.60	0.80	1.33	1.05
1-8-89	1.40	0.66	1.75	1.09	2.30	0.78
28-8-89	1.00	0.71	1.86	0.99	1.80	0.40
22-9-89	1.10	0.78			1.25	0.58
17-10-89						
15-11-89	1.14	0.41	1.75	0.76	1.43	0.85
22-12-89	2.10	0.60	2.63	0.55	2.90	0.33

Tabel 5b: De gonaden-index van de mosselen
uitgehangen in Ooster- en Westerschelde, BEMWES

		inzet-monster	Jacoba haven	Honte-3	Pas van Terneuzen-14	Walsooren-48a
7-7-89	gem.	1.20				
	st. dev.	0.75				
28-7-89	gem.		1.10	2.60	2.9	2.20
	st. dev.		1.04	0.66	0.3	0.60
22-9-89	gem.		0.90	0.70	1.7	1.50
	st. dev.		0.92	0.51	1.0	0.75

Tabel 6: Gehalten aan zuurvend stof en P.O.M. van het zeewater gebruikt bij de clearance-rate, respiratie
en absorptie efficiëntie metingen.

SAVES-BIO			BEMWES			ABM		
datum	zuurvend stof(mg/l)	POM (mg/l)	datum	zuurvend stof(mg/l)	POM (mg/l)	datum	zuurvend stof(mg/l)	POM (mg/l)
5/6	3.31	1.66	19/6	3.75	1.73	19/6	3.75	1.73
3/7	5.60	1.28	26/7	4.10	1.19			
1/8	7.34	1.55				4/8	5.95	1.51
22/8	13.97	3.51	23/8	16.53				
21/9	17.8	2.4	20/9	8.61	1.83			
17/10	6.17	1.82	27/10	4.96	1.27	5/10	4.47	1.45
16/11	22.29	4.33				16/11	22.29	4.33
20/12	20.64	3.36						

Tabel 7: Vergelijking fysiologische parameters ten opzichte van milieufactoren.

Metingen die gebruikt zijn: SAWES-BIO (wilde dieren) verzameld op 20 september 1989

REMES (uitgehungen dieren) verzameld op 22 augustus 1989 (expositie tijd= 59 dagen)

voor DOV resultaten van 19 september 1989 gebruikt (expositie tijd= 87 dagen)

ARM (uitgehungen dieren) verzameld van 31 juli tot en met 4 augustus 1989

(expositie tijd= 42 dagen)

OS: Oosterschelde-monding

WS-W: Westerschelde westelijk deel

WS-C: Westerschelde centrale deel

WS-O: Westerschelde oostelijk deel

BG-18: Haringvliet monding (Noordzee kust)

NAM-22: Katwijk (Noordzee kust)

AM-3: Noordwijk-40 (Noordzee off-shore)

Anchor South: Schraamshark (Noordzee off-shore)

DOV: droogstand overleving

parameter	OS	WS-W	WS-C	WS-O	BG-18	NAM-22	AM-3	Anchor South
jaargemiddelde bron: WORSPO								
aantal metingen	12	12	12	12	12	12	6	12
zuurstof-gehalte (mg/l)	8.7±1.4	8.3±1.2	8.1±1.3	7.8±1.2	9.2±0.9	8.9±1.0	8.0±0.6	8.4±0.9
zwavelstof (mg/l)	7.9±3.5	49.7±27.0	40.0±25.4	44.6±23.0	18.7±20.0	26.8±17.7	4.2±2.5	5.2±3.1
POC (mg/l)	0.55±0.21	1.84±0.91	1.73±0.83	2.22±0.98		1.60±0.76	0.30±0.11	0.37±0.12
chlorophyll-a-gehalte (µg/l)	4.2±4.6	5.5±5.2	5.4±5.3	5.4±4.5	11.4±8.2	10.1±8.8	2.1±1.0	2.8±1.9
zoutgehalte (g/l)	31.3±0.5	29.8±1.2	24.6±2.4	18.5±3.2	31.0±1.2	28.5±2.3	34.7±0.2	34.6±0.3
gehalten toxicanten na zes weken (ARM)								
cadmium (ng/gDW)	0.24	0.39	0.86	1.44	0.22	0.40	0.43	0.47
ee-153 (PCB) (ng/gDW)	26.0	56.1	94.5	116.6	43.0	42.2	10.2	13.1
6 van Borneff (PAK's) (ng/gDW)	57.9	192.9	214.0	258.0	93.6	121.1	14.6	25.7
drooggewicht (g/moessel)								
- wilde dieren (SAWES-BIO)	1.05±0.26	1.15±0.29		0.64±0.17				
- 6 weken expositie (ARM)	1.28±0.26	1.02±0.25	1.03±0.15	0.91±0.18	1.34±0.27	1.27±0.17	1.15±0.27	1.48±0.27
- 8 weken expositie (REM)	1.38±0.19	1.22±0.18	0.91±0.16	0.77±0.15				
glycogeengehalte (mg/gDW)								
- wilde dieren (SAWES-BIO)	-	-		-				
- 6 weken expositie (ARM)	159.91	105.35	176.49	177.83	221.20	180.04	198.45	160.51
- 8 weken expositie (REM)	214.12	135.00	-	126.83				
clearance-rate (l/h ^{0.75} moessel)								
- wilde dieren (SAWES-BIO)	2.3	2.7		2.4				
- 6 weken expositie (ARM)	2.2	-	2.4	2.0	1.4	2.8	1.8	2.6
- 8 weken expositie (REM)	4.9	6.5	4.6	4.2				
respiratie (mgO ₂ /h ^{0.75} gDW)								
- wilde dieren (SAWES-BIO)	0.25	0.30		0.40				
- 6 weken expositie (ARM)	0.33	0.38	0.44	0.42	0.35	0.50	0.40	0.39
- 8 weken expositie (REM)	0.21	0.48	0.37	0.61				
DOV (LT-50 in dagen)								
- wilde dieren (SAWES-BIO)	7.7	7.1		5.2				
- 6 weken expositie (ARM)	8.1	7.5	6.9	6.2	5.5	5.6	6.8	7.3
- 12 weken expositie (REM)	8.0	6.4	5.5	4.8				
DOV (gemiddelde levensduur in dagen)								
- 6 weken expositie (ARM)	8.0±0.1	7.1±0.1	6.8±0.1	5.6±0.1	5.5±0.1	5.8±0.1	7.2±0.1	7.6±0.1

7. FIGUREN

Figuur 1: De lokaties van BEMWES en SAWES*BIO

Figuur 2: De lokaties van ABM

Figuur 3: De gotenopstelling gebruikt bij de metingen van de clearance-rate en absorptie efficiëntie

Figuur 4: De conditie-index van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO

Figuur 5: De anoxic survival van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO

Figuur 6a: De clearance-rate ($1/(h \cdot \text{mossel})$) van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO

Figuur 6b: De clearance-rate ($1/(h \cdot \text{gDW})$) van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO

Figuur 6c: De cyclus van de clearance-rate ($1/(h \cdot \text{gDW})$) van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO

Figuur 7a: De respiratie ($\text{mg O}_2/(h \cdot \text{mossel})$) van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO

Figuur 7b: De respiratie ($\text{mg O}_2/(h \cdot \text{gDW})$) van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO

Figuur 7c: De cyclus van de respiratie ($\text{mg O}_2/(h \cdot \text{gDW})$) van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO

Figuur 8: De groei van de mosselen uitgehangen in de Westerschelde en Oosterschelde, BEM

Figuur 9: Het percentage nog levende mosselen na expositie in Westerschelde en Oosterschelde, BEM

Figuur 10: De conditie-index van de mosselen na expositie in Westerschelde en Oosterschelde, BEM

Figuur 11: De anoxic survival van de mosselen na expositie in Westerschelde en Oosterschelde, BEM

Figuur 12: Het glycogeen-gehalte in de mosselen na expositie in de Wester- en Oosterschelde, BEM

Figuur 13a: De clearance-rate ($1/(h \cdot \text{mossel})$) na expositie in de Wester- en Oosterschelde, BEM

Figuur 13b: De clearance-rate ($1/(h \cdot \text{gDW})$) na expositie in de Wester- en Oosterschelde, BEM

Figuur 14: De respiratie ($\text{mg O}_2/(h \cdot \text{gDW})$) na expositie in de Wester- en Oosterschelde, BEM

Figuur 15: De conditie-index van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM

Figuur 16: De anoxic survival van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM

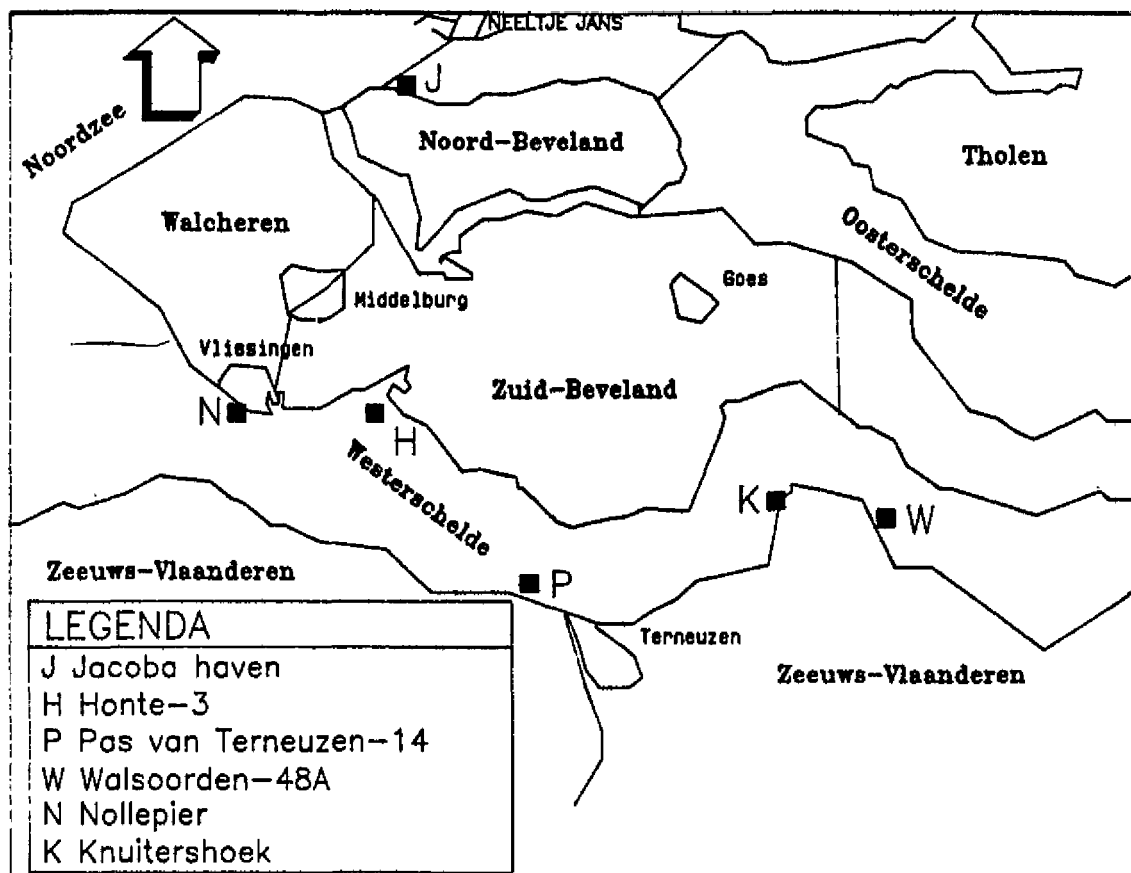
Figuur 17a: De clearance-rate ($1/(h \cdot \text{mossel})$) van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM

Figuur 17b: De clearance-rate ($1/(h \cdot \text{gDW})$) van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM

Figuur 18: De respiratie ($\text{mg O}_2/(h \cdot \text{gDW})$) van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM

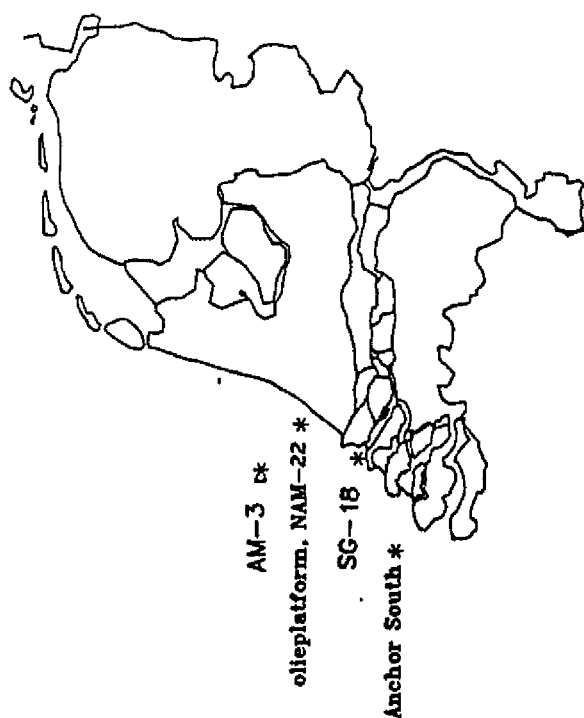
Figuur 19: De gemiddelde levensduur van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM, indien droogstaand

Figuur 1: De lokaties van BEMWES en SAWES*^{BIO}

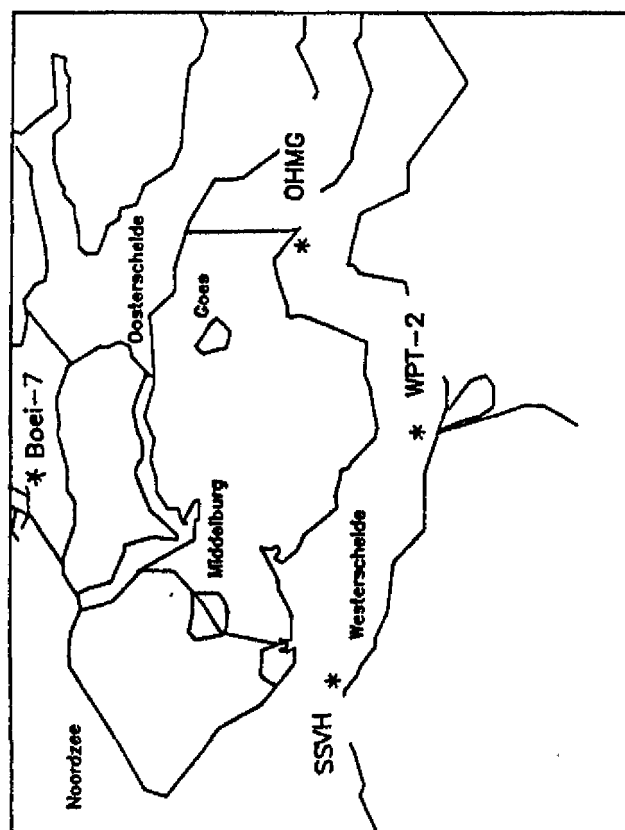


Figuur 2: De lokaties van ABM

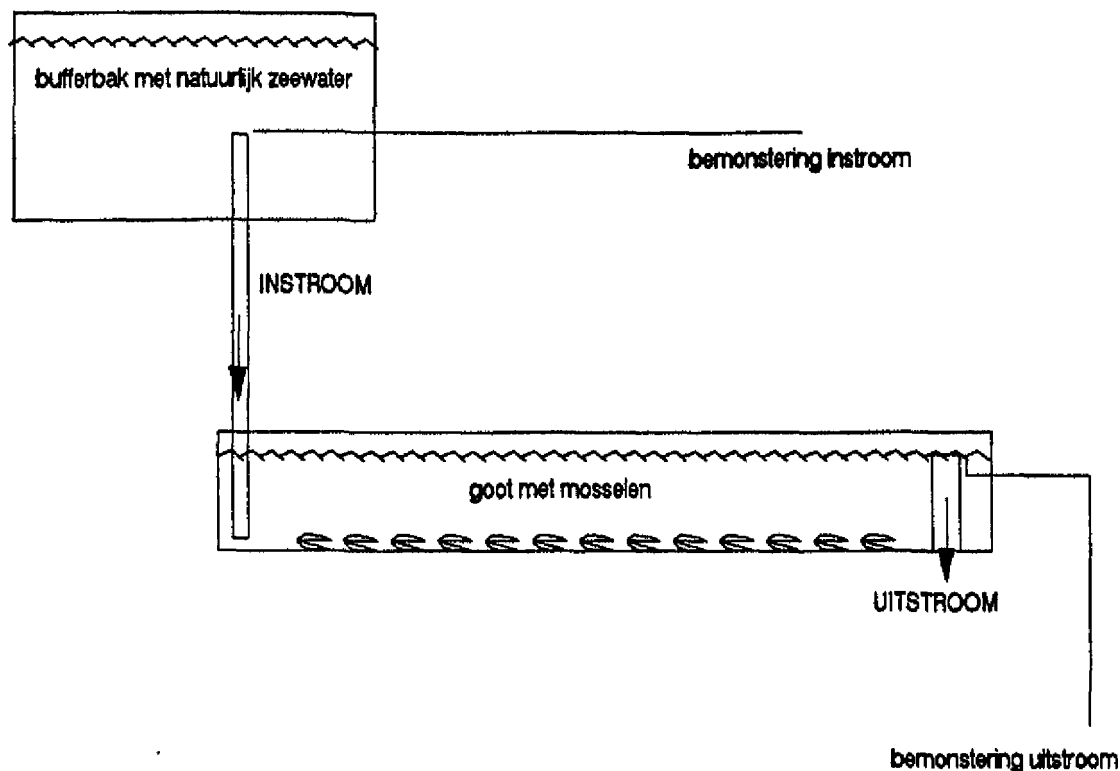
LOKATIES VAN HET MOSSELMEETNET, ABM, OP DE NOORDZEE



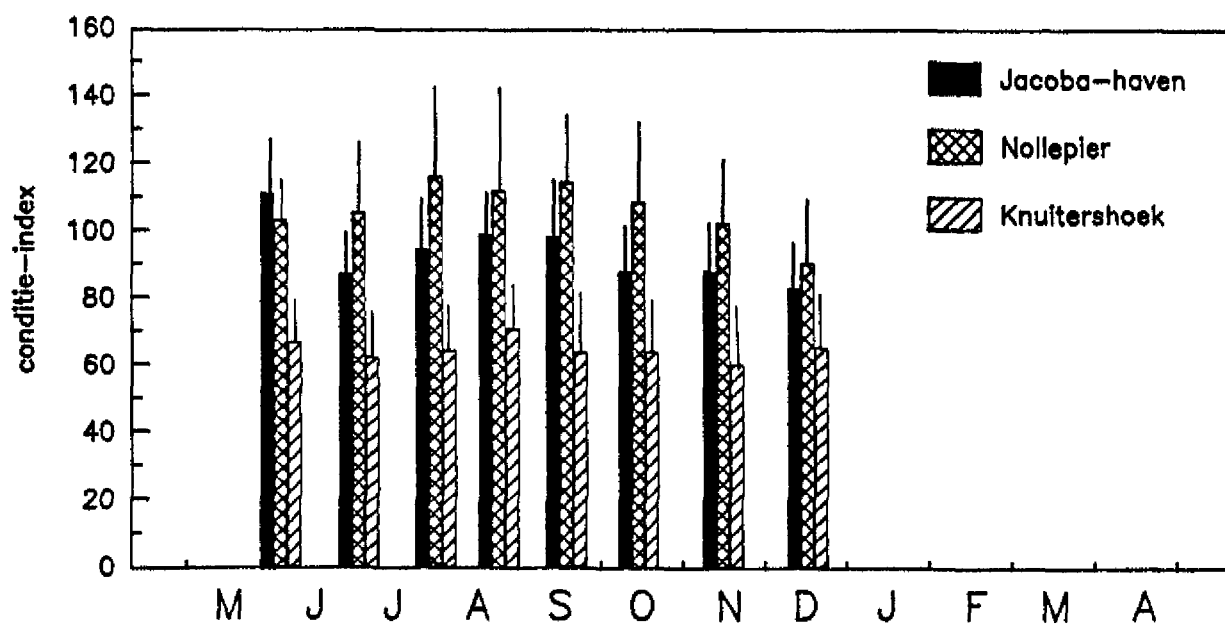
LOKATIES VAN ABM IN DE WESTERSHELDE



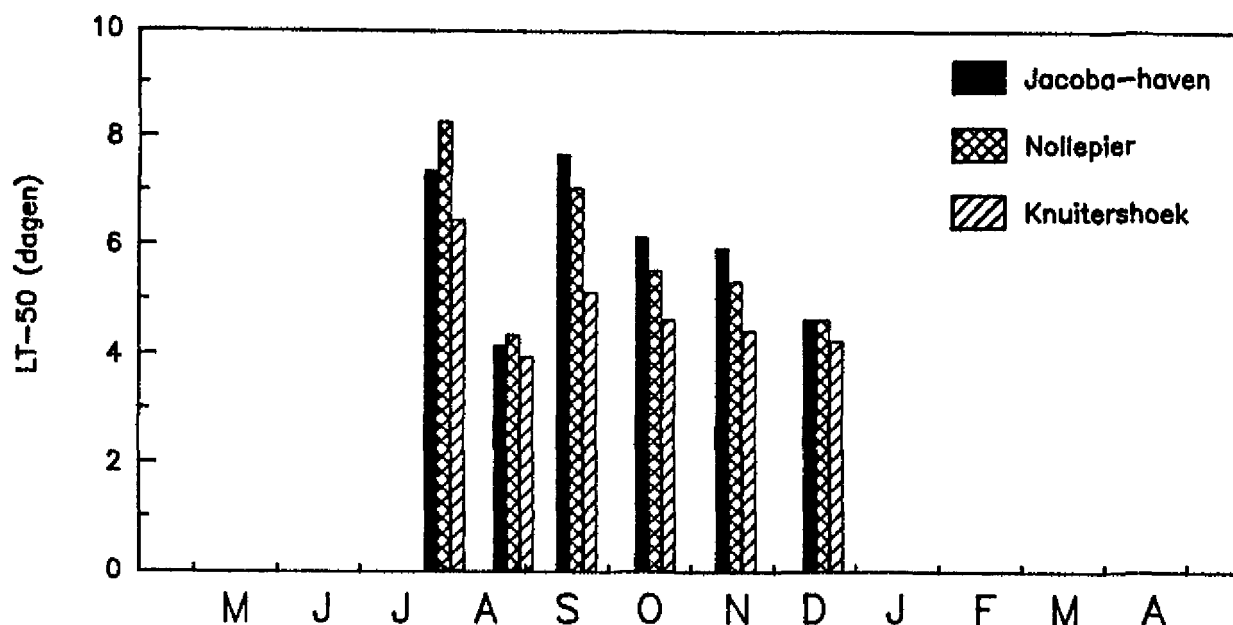
Figuur 3: De gotenopstelling gebruikt bij de metingen van de clearance-rate en de absorptie efficiëntie



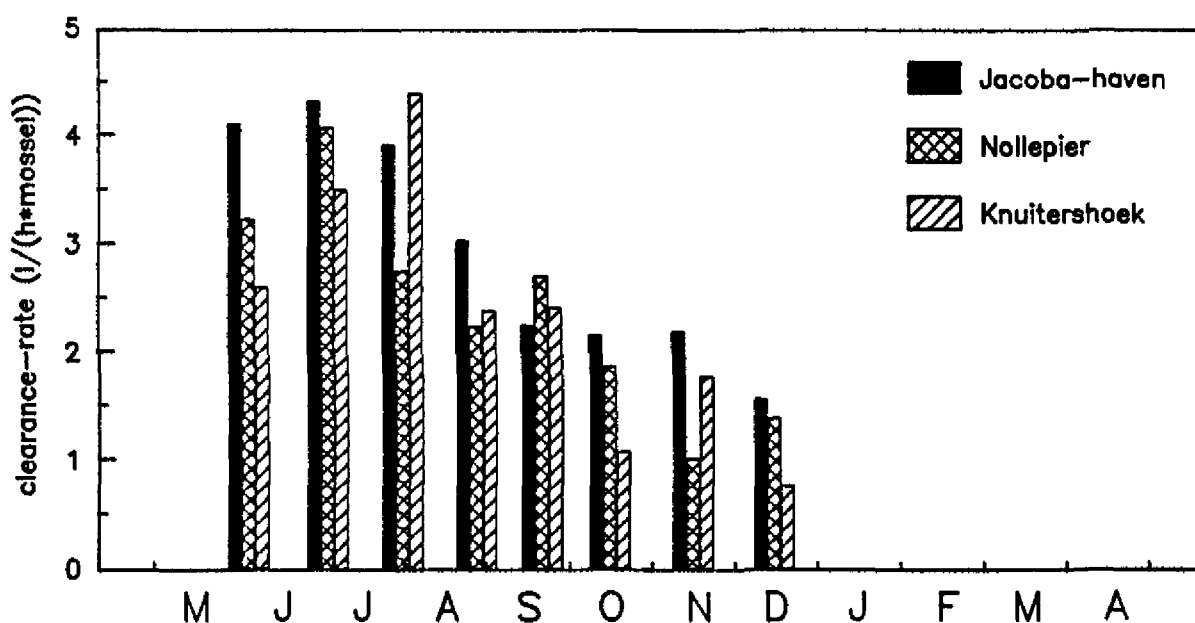
Figuur 4: De conditie-index van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO



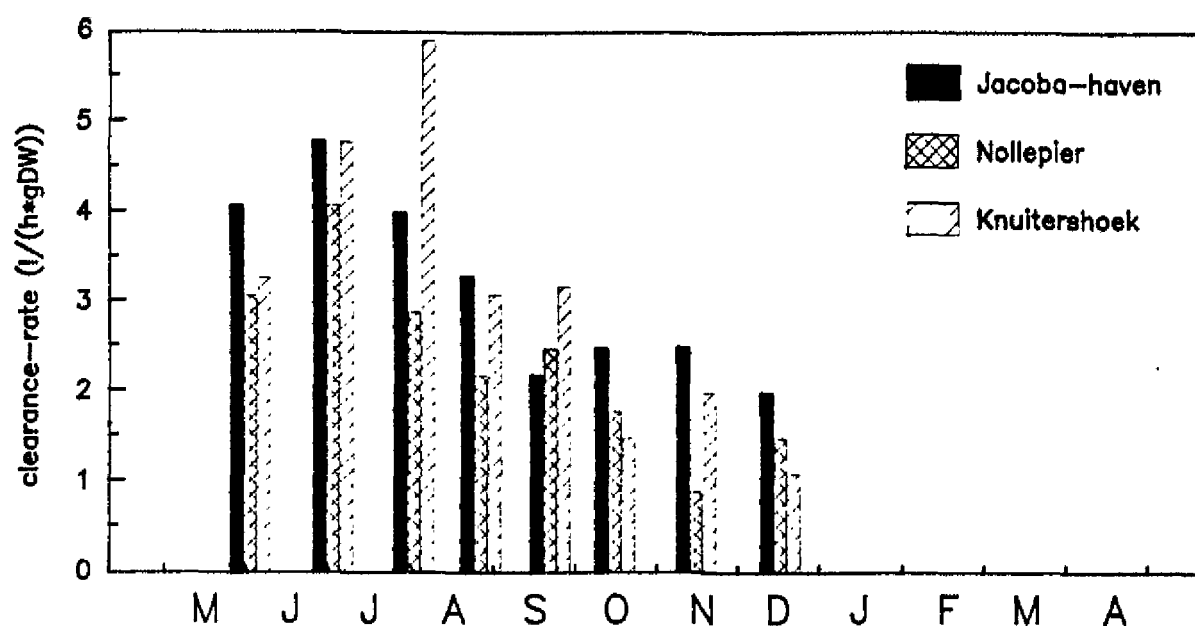
Figuur 5: De anoxic survival van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO



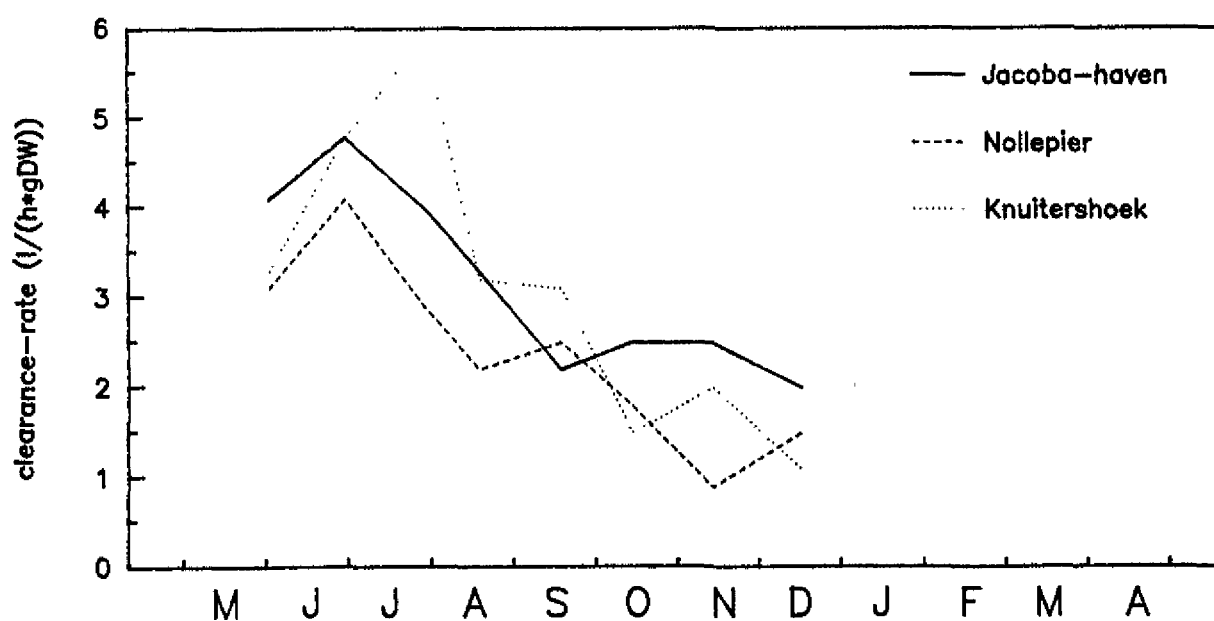
Figuur 6a: De clearance-rate ($1/(h \cdot \text{mossel})$) van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO



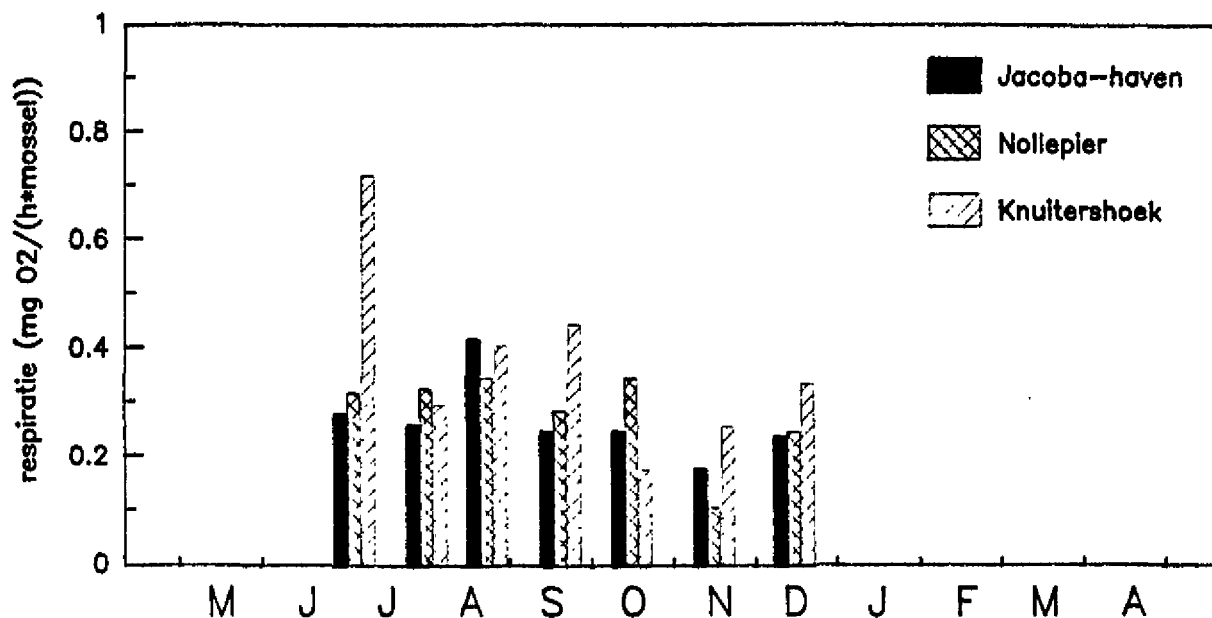
Figuur 6b: De clearance-rate ($1/(h \cdot gDW)$) van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO



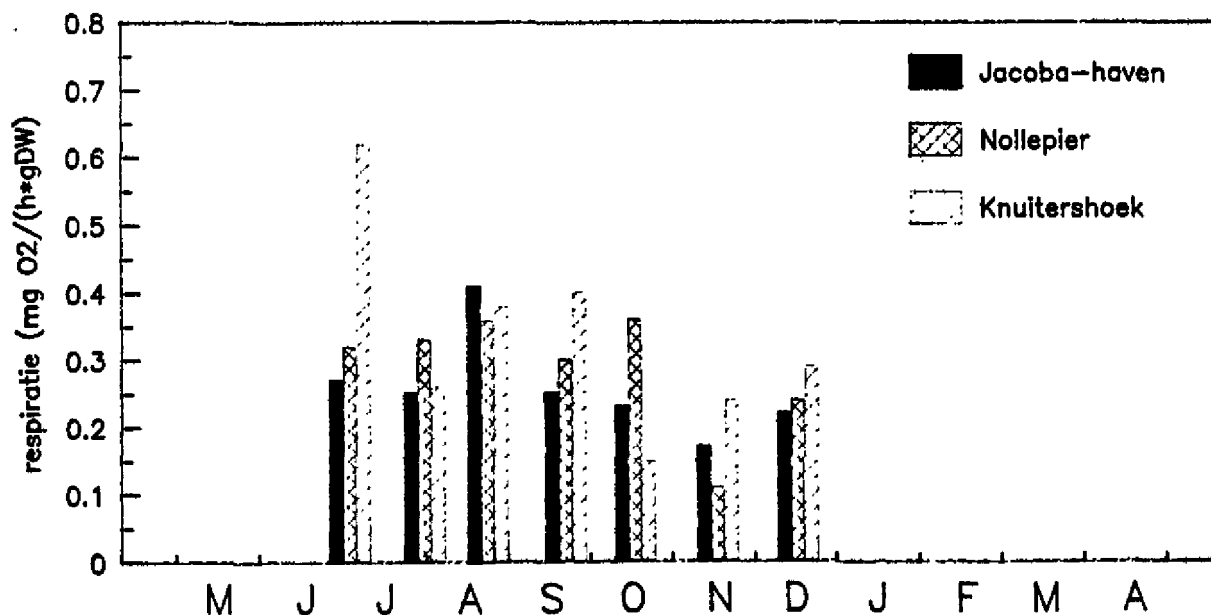
Figuur 6c: De cyclus van de clearance-rate ($1/(h \cdot gDW)$) van de mosselen verzameld in het kader van SAWES*BIO



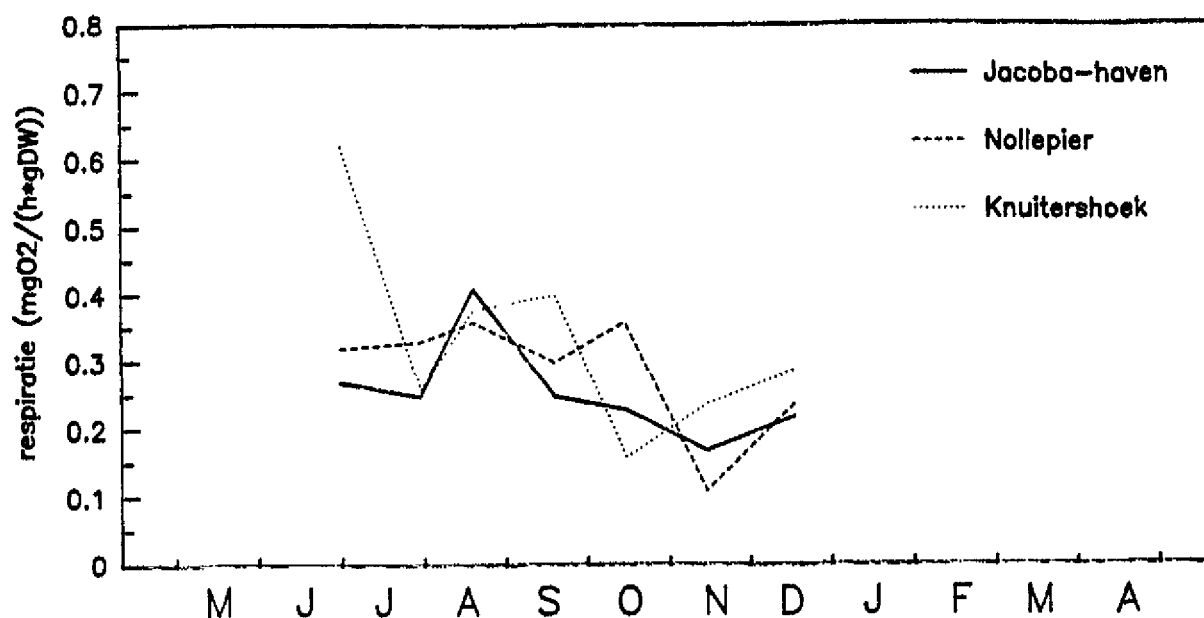
Figuur 7a: De respiratie ($\text{mg O}_2/(\text{h} \cdot \text{mossel})$) van de mosselen verzameld in het kader van SAWES***BIO**



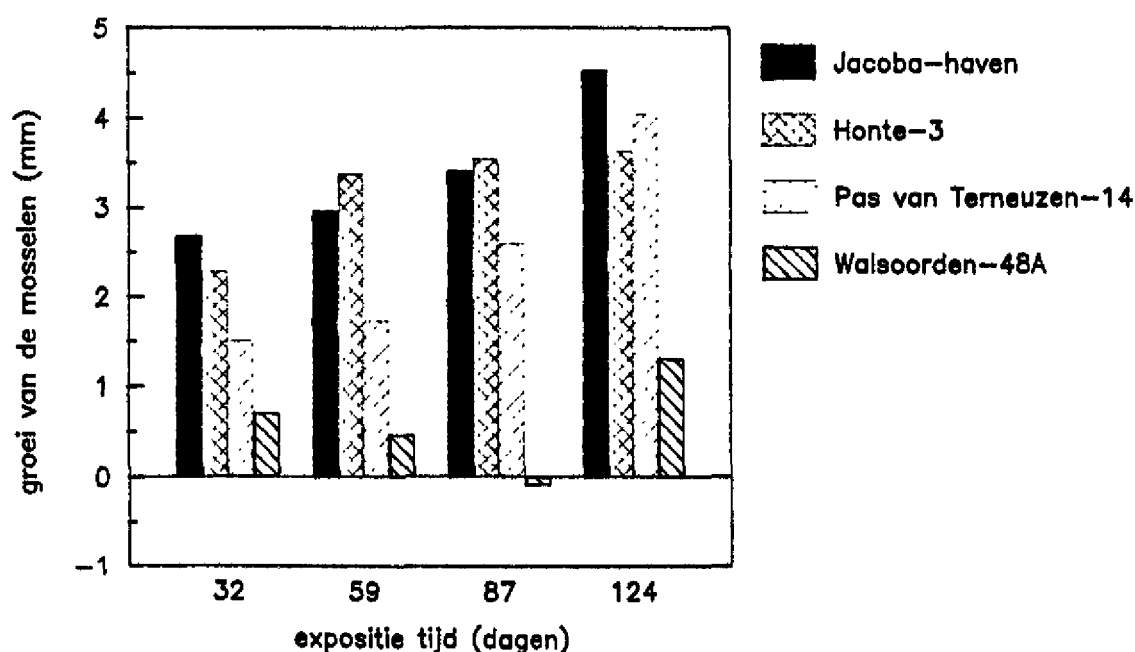
Figuur 7b: De respiratie ($\text{mg O}_2/(\text{h} \cdot \text{gDW})$) van de mosselen verzameld in het kader van SAWES***BIO**



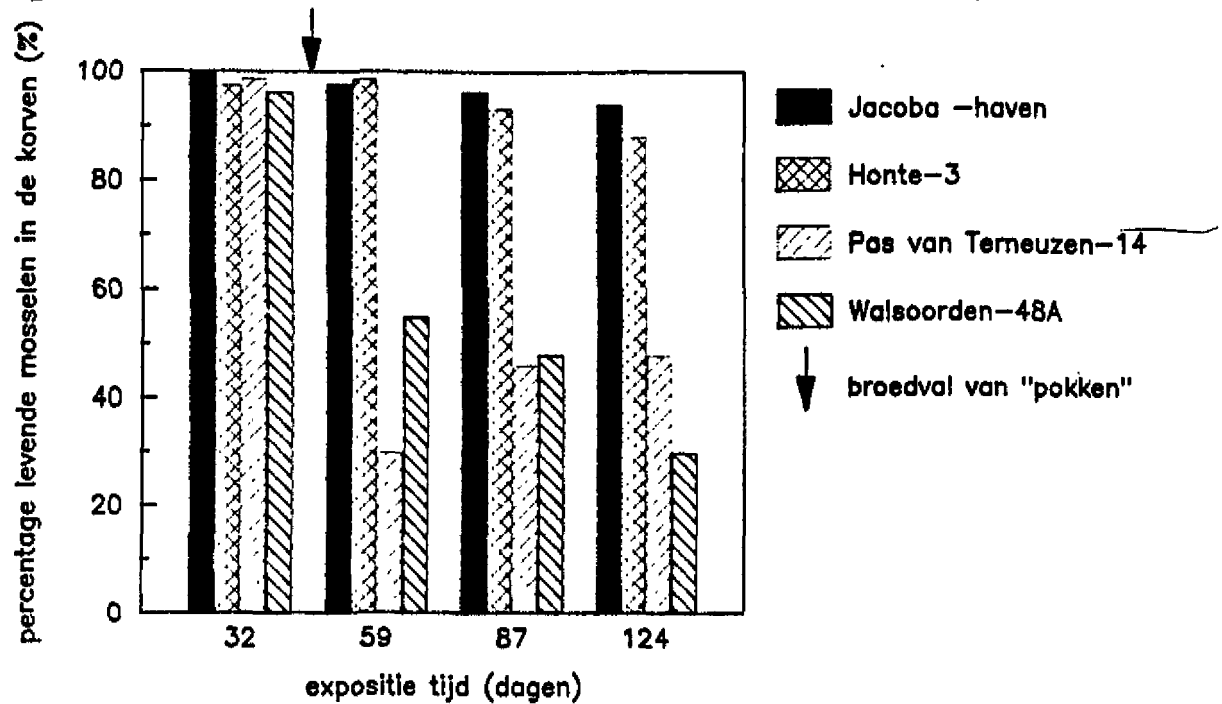
**Figuur 7c: De cyclus van de respiratie
(mg O₂/(h*gDW)) van de mosselen verzameld
in het kader van SAWES*BIO**



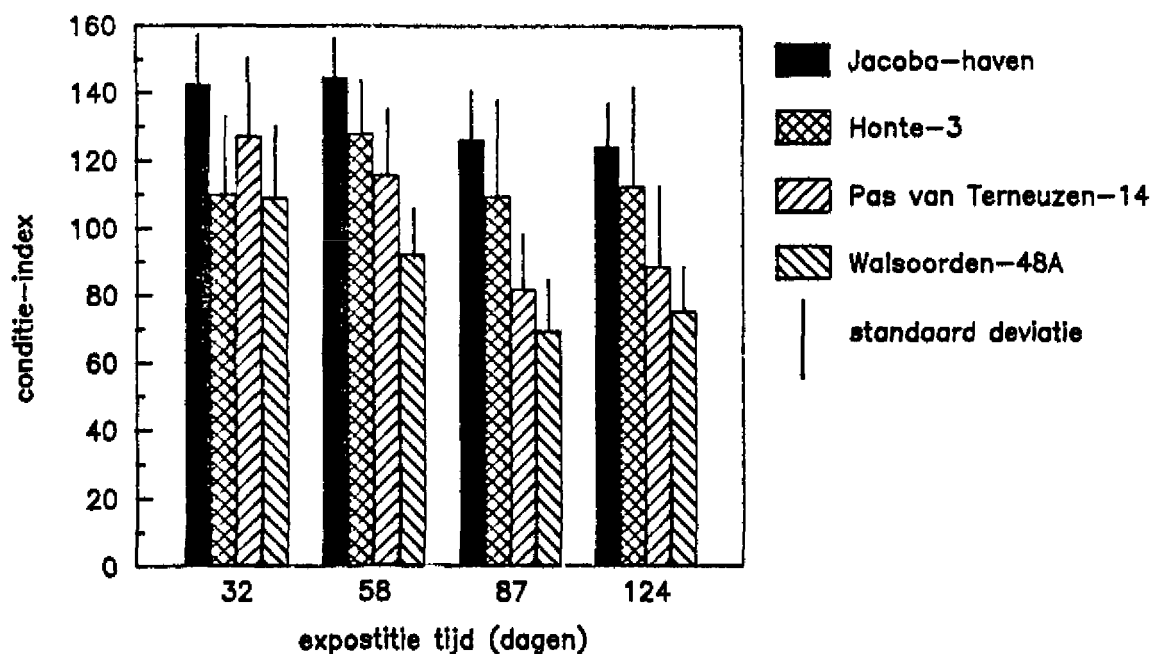
**Figuur 8: De groei van de mosselen uitgehangen
in de Westerschelde en Oosterschelde, BEM**



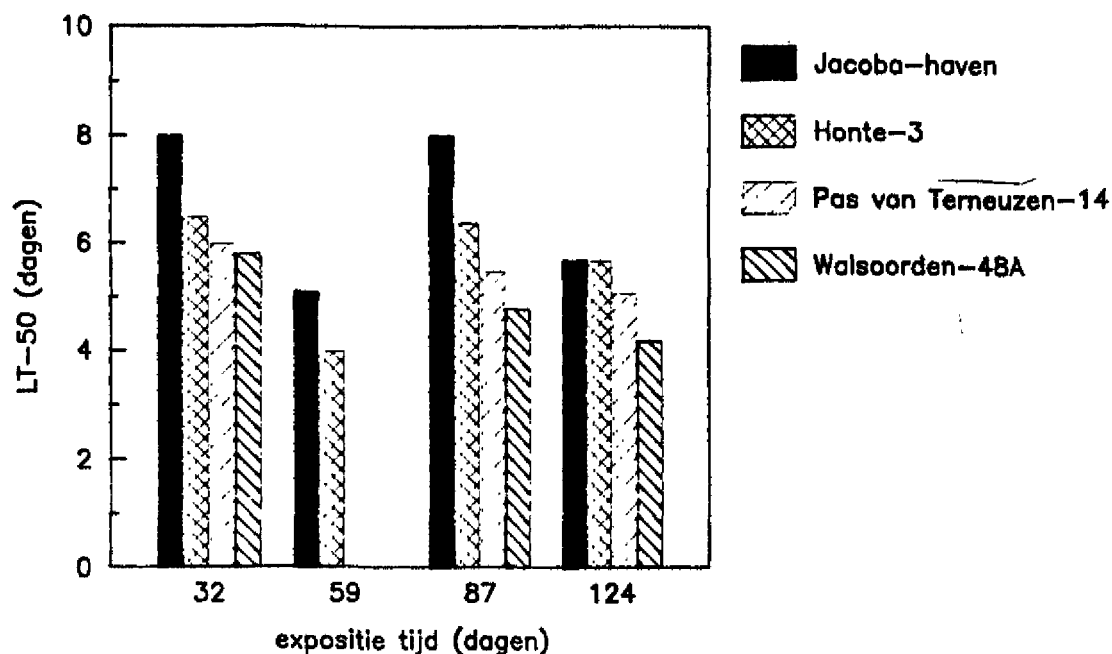
Figuur 9: Het percentage nog levende mosselen na expositie in Westerschelde en Oosterschelde, BEM



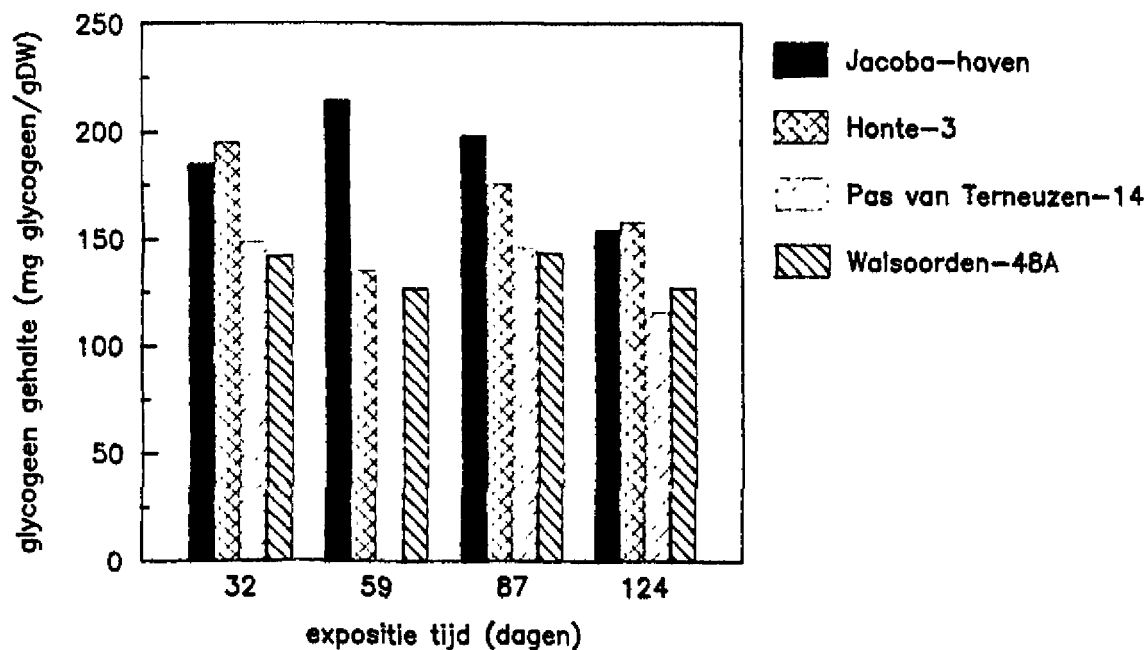
Figuur 10: De conditie-index van de mosselen na expositie in Westerschelde en Oosterschelde, BEM



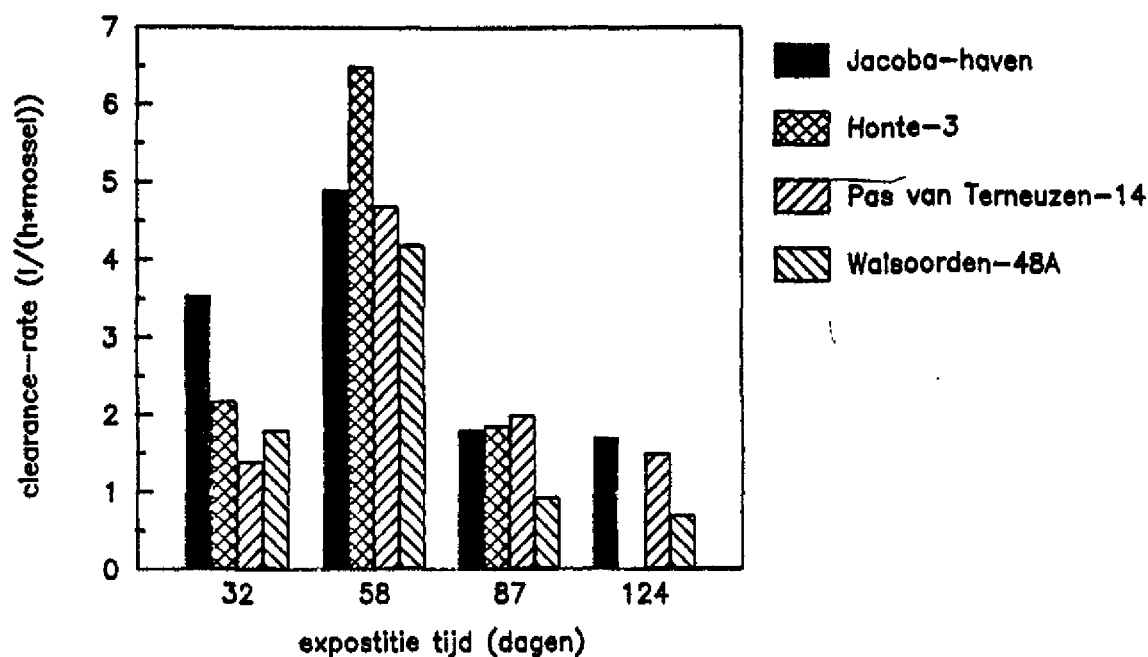
**Figuur 11: De anoxic survival van de mosselen na
expositie in Westerschelde en Oosterschelde, BEM**



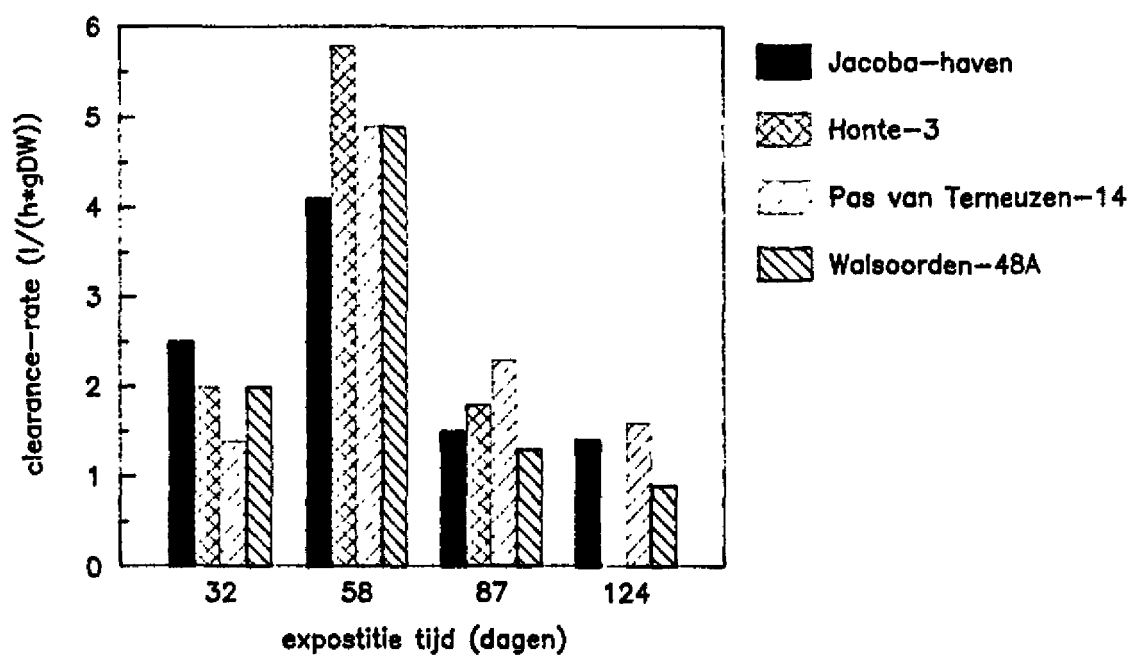
**Figuur 12: Het glycogeen-gehalte in de mosselen
na expositie in de Wester- en Oosterschelde, BEM**



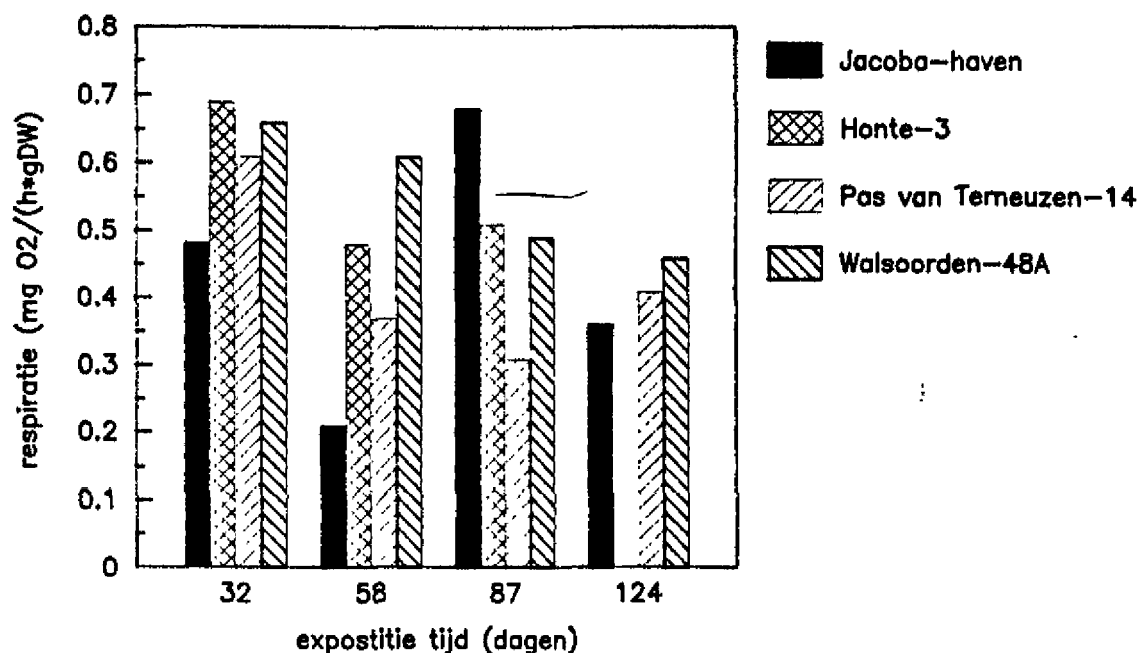
Figuur 13a: De clearance-rate ($1/(h \cdot \text{mossel})$) na expositie in de Wester- en Oosterschelde, BEM



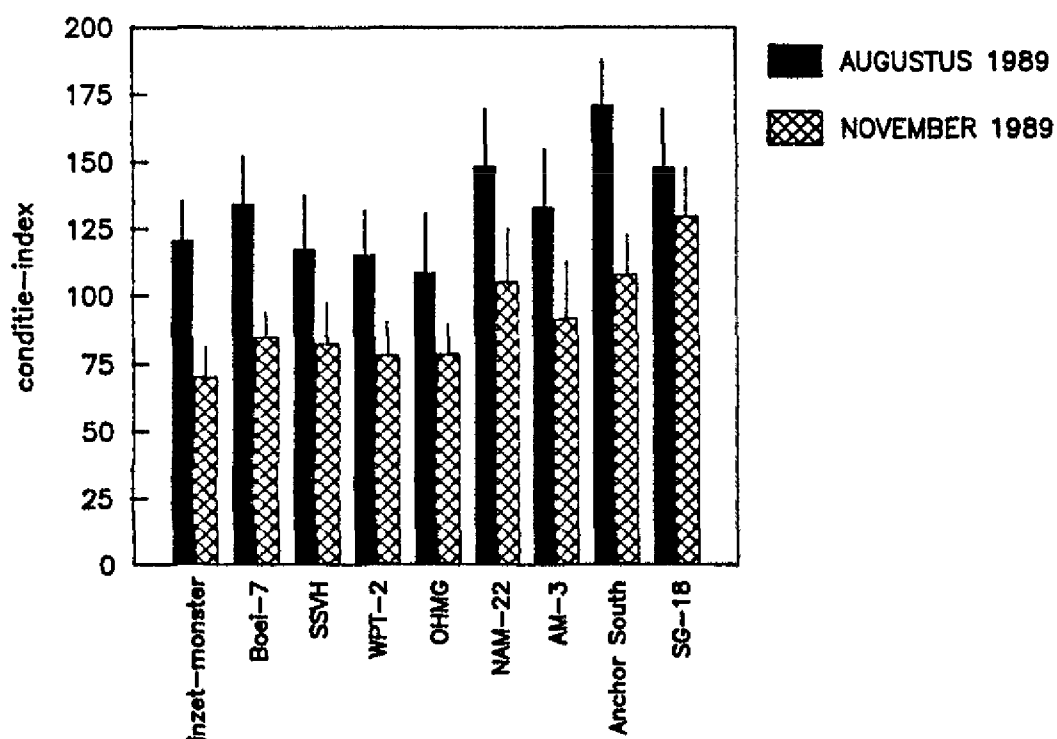
Figuur 13b: De clearance-rate ($1/(h \cdot gDW)$) na expositie in de Wester- en Oosterschelde, BEM



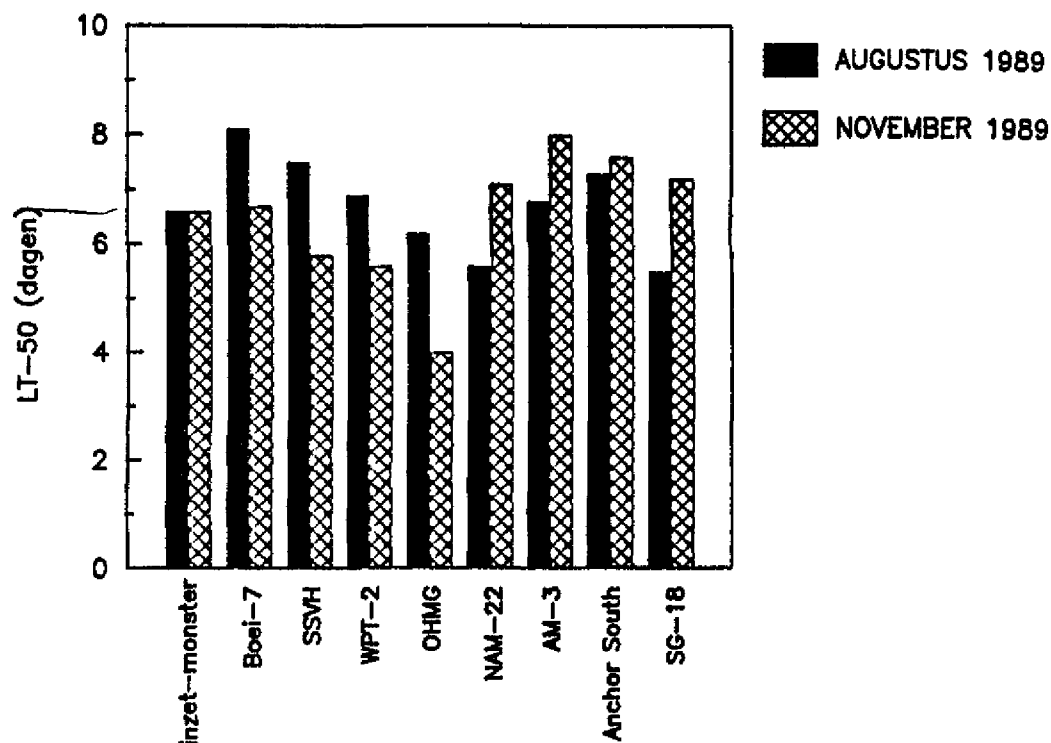
Figuur 14: De respiratie ($\text{mg O}_2/(\text{h} \cdot \text{gDW})$) na expositie in de Wester- en Oosterschelde, BEM



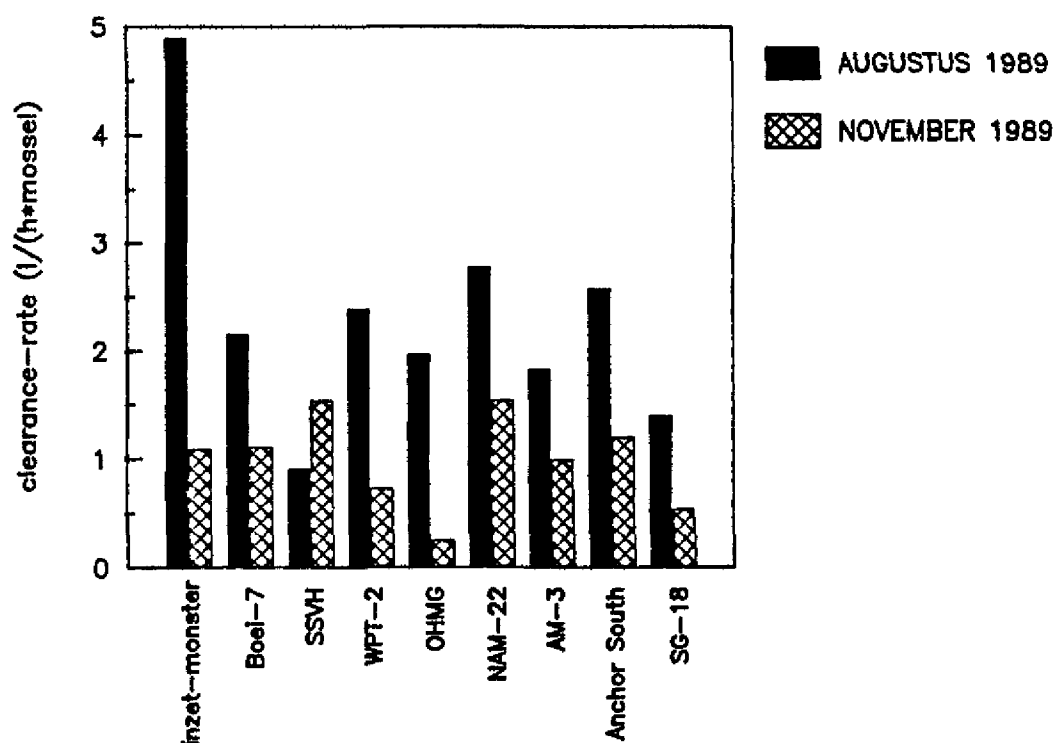
Figuur 15: De conditie-index van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM



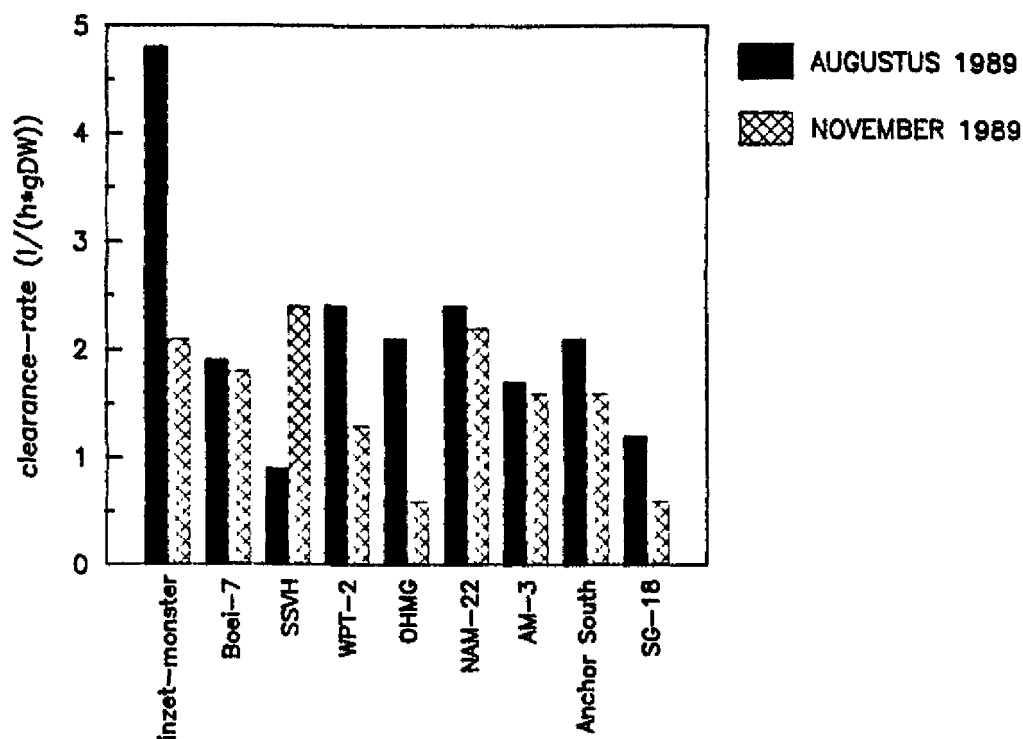
Figuur 16: De anoxic survival van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM



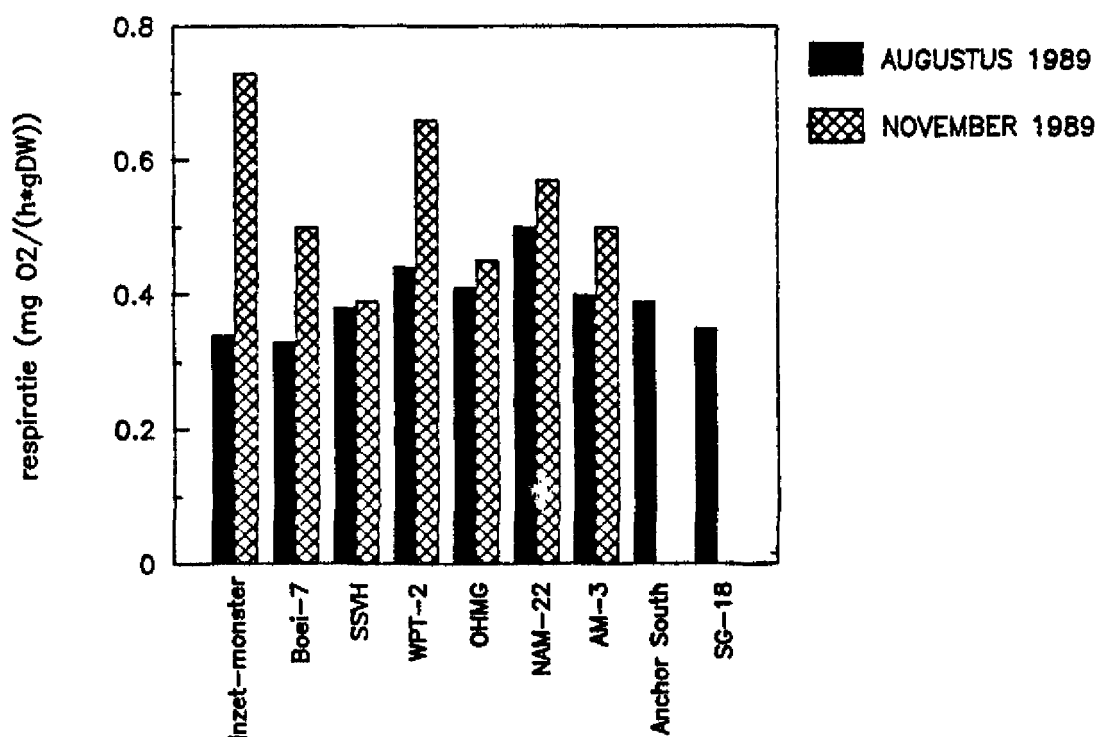
Figuur 17a: De clearance-rate ($1/(h \cdot \text{mossel})$) van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM



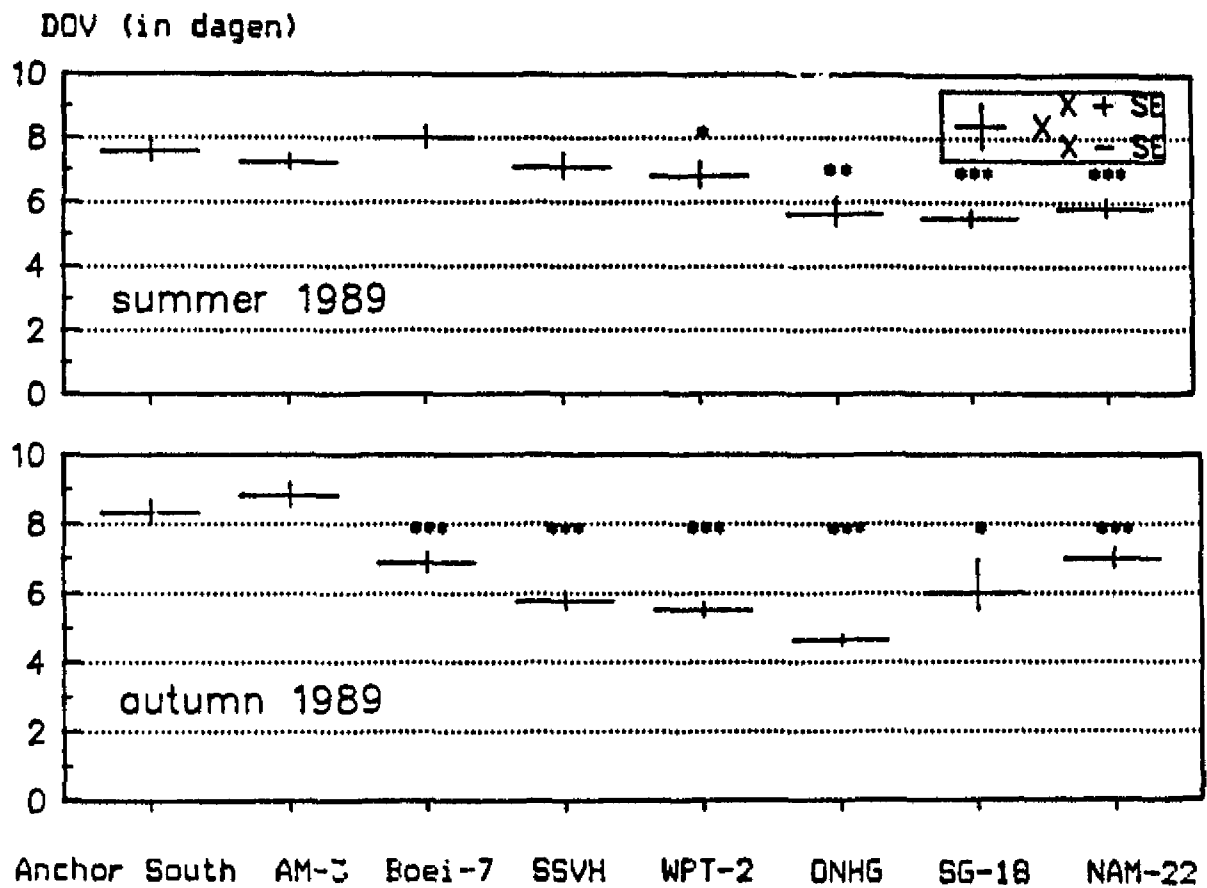
Figuur 17b: De clearance-rate ($l/(h \cdot gDW)$) van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM



Figuur 18: De respiratie ($mg\ O_2/(h \cdot gDW)$) van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM



Figuur 19: De gemiddelde levensduur van de mosselen uitgehangen in het kader van ABM, indien droogstaand waarden getoetst met t-toets t.o.v. AnchorSouth significantie: * p-waarde ≤ 0.05
 ** p-waarde ≤ 0.025
 *** p-waarde ≤ 0.01



RESPONSE TO STRESS OF MUSSELS (*MYTILUS EDULIS*) EXPOSED IN DUTCH TIDAL WATERS

A. C. SMAAL,* A. WAGENVORST,† J. HEMELRAAD‡ and I. AKKERMAN*

*Rijkswaterstaat, Tidal Waters Division, P.O. Box 8039, 4330 EA Middelburg, The Netherlands;
Delta Institute for Hydrobiological Research, Vierstraat 28, 4401 EA Yerseke, The Netherlands;
and ‡National Institute for Environmental Studies, Onogawa, Tsukuba City, Ibaraki 305, Japan

(Received 1 October 1990)

Abstract—1. Mussels were exposed in the Dutch coastal zone and the Western Scheldt estuary. After six weeks of exposure, trace metals, PCBs and PAHs were measured in the soft tissue.

2. Tissue concentrations of contaminants are high in the Western Scheldt and intermediate near the Rhine outflow, except for the lower PCB congeners.

3. Results show that the survival in air is significantly lower at higher tissue concentrations, in particular of the lower PCB congeners.

4. The clearance rate is reduced at the highest tissue concentrations.

INTRODUCTION

The response of mussels to stress has been reviewed by Bayne *et al.* (1985), and is reported from field studies in Narragansett Bay (Widdows *et al.*, 1981) and Langesundfjord (Bayne *et al.*, 1988).

In this study the response of mussels was measured after transplantation from the "Eastern Scheldt" to the "Western Scheldt estuary" and the Dutch coastal zone, for two periods of 6 weeks (Fig. 1). In summer, 1989, the tissue concentrations of trace metals, PCBs and PAHs were measured in the exposed mussels. The autumn experiment serves as a duplicate of the

response measurements. In this paper the clearance rate and the survival in air of the mussels are related to the exposure locations and the tissue concentrations after exposure.

MATERIAL AND METHODS

Exposure

Mussels were collected in the eastern region of the Eastern Scheldt and stored in running sea water in the TWD field station in the mouth of the Eastern Scheldt. Animals of 45–50 mm length were selected at random and cleaned from epibionts. For each location 170 mussels were put in plastic

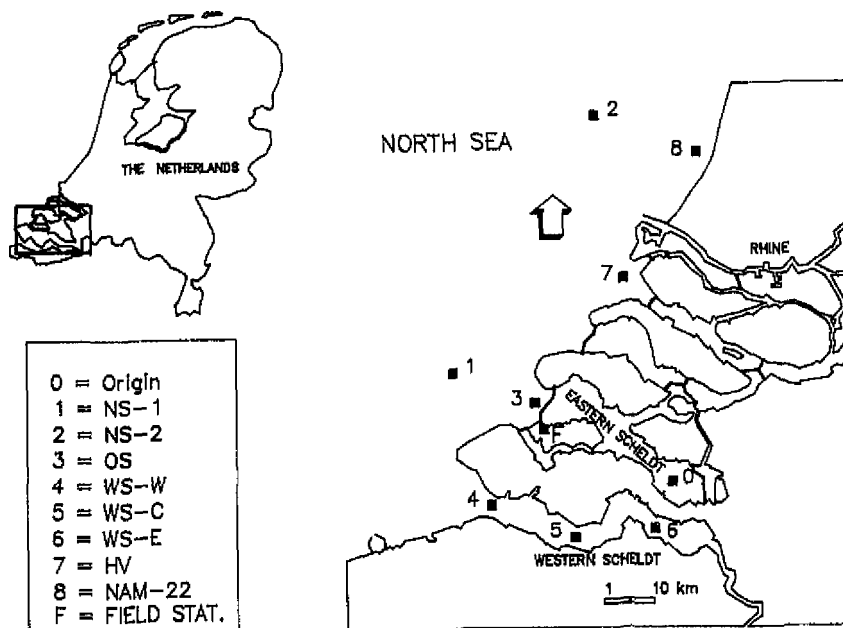


Fig. 1. Locations of exposed mussels in 1989 in the North Sea (1 = NS-1; 2 = NS-2), in the mouth of the Eastern Scheldt (3 = OS), in the Western Scheldt (4 = WS-west, 5 = WS-central and 6 = WS-east), in the mouth of the Haringvliet (7 = HV), near the coast off Katwijk (8 = NAM). 0 = the original location of the mussels.

Table 1. Average annual values of some selected water quality parameters at the exposure locations

Station	Salinity (%)	SPM (mg/l)	CHL-a (μ g/l)
NS-1	34.6 (0.3)	5.2 (3.1)	2.8 (1.9)
NS-2	34.7 (0.2)	4.2 (2.5)	2.1 (1.0)
OS	31.3 (0.5)	7.9 (3.5)	4.2 (4.6)
WS-W	29.8 (1.2)	49.7 (27.0)	5.5 (5.2)
WS-C	24.6 (2.4)	40.0 (25.4)	5.4 (5.3)
WS-E	18.3 (3.2)	44.6 (23.0)	5.4 (4.5)
HV	31.0 (1.2)	18.7 (20.0)	11.4 (8.2)
NAM	28.5 (2.3)	26.8 (17.7)	10.1 (8.8)

Mean $\pm$ SD, $N = 12$.

cages which were mounted in a stainless steel frame. Each frame was connected to a buoy at the selected location. Some characteristics of the exposure sites are given in Table 1. The locations NS-1 and NS-2 are considered as reference sites. The series continued from June 23rd to August 2nd, and October 4th to November 15th, 1989. Mortality during exposure was below 5%.

Growth

Before and after exposure length and wet weight of the mussels was measured. Dry weight of flesh (DFW) of a subsample of 30 mussels was measured after 48 hr at 70°C. Growth is defined as change of dry weight during exposure.

Tissue concentrations

Only the tissue concentrations of the summer experiment are available. The mussels were frozen in dry ice immediately after sampling and transported to the TNO laboratory in Den Helder. The soft body tissue of 100 mussels was dissected, homogenized and split into 4 portions, of which one was freeze-dried prior to chemical analysis. Chemical analyses were performed in duplicate, variation coefficient was less than 10%.

According to standard procedures of the TWD laboratories, analysis of trace metals was performed by AAS, following destruction with concentrated nitric acid. PCBs and PAHs were extracted from the samples by hexane/acetone(1:3) for 4 hr. The extracts were subjected to a clean-up procedure using a column with Florisil and elution with hexane/acetone(1:3). For the estimation of PCBs, the extract was further purified on a dried (180°C) SiO_2 column by elution with hexane. PCBs were measured with a HP 5880 gas-chromatograph with two capillary columns and two ECD detectors. PAHs were further isolated on a dried (180°C) SiO_2 column by elution with hexane/diethylether, and the extract was brought quantitatively on a column with 1 g AlO_3 (dried at 180°C). PAHs were separated by a Vydac 201 PB-5 (250 $\times$ 4.4 mm) reversed-phase column and a methanol gradient, and analyzed by a HP 1090 liquid chromatograph with two HP 1046A fluorescence detectors.

Response parameters

The clearance rate (the amount of water pumped by the mussels to clear the suspension from particles) was measured in the TWD field station in the mouth of the Eastern Scheldt by using a replicate flow through raceway system of $1 \times w \times h = 100 \times 14 \times 7$ (in cm), with 30 mussels, supplied with 150 l/hr natural sea water as food. From the in- and outflow samples of the raceway the number of particles retained by the mussels was estimated by Coulter counter ID and corrected for the control. The clearance rate is calculated as:

$$CR_m = (C_{in} - C_{out}) / (0.5 \times (C_{in} + C_{out})) \times Q / N,$$

with

$$CR_m = \text{clearance rate per mussel (1/hr)}$$

$$C_{in} = \text{concentration inflow (ppm)}$$

$$C_{out} = \text{concentration outflow (ppm)}$$

$$0.5 \times (C_{in} + C_{out}) = \text{concentration in the raceway}$$

$$Q = \text{flow rate (l/hr)}$$

$$N = \text{number of mussels}$$

The clearance rate is expressed in l/hr/g DFW by conversion of the measured value per mussel according to:

$$CR = CR_m / \text{DFW}^{0.58}.$$

After the clearance rate measurement the mussels were used for DFW estimation.

The survival in air was measured by exposing 30 intact mussels to air at 20°C, followed by daily recordings of the number of dead animals, recognizable by open valves and the absence of valve movement after stimulation.

Statistics

Mean values of the response parameters per station were tested with Student's *t*-test. For "survival in air" log values were tested. A Pearson correlation test was performed on the tissue concentrations of contaminants in mussels from the various exposure sites. The correlation coefficients were used for a cluster analysis of the contaminants. A stepwise multiple regression was executed with contaminants from the different clusters to test the relationship between tissue concentrations and stress response. All tests were performed with SYSTAT (Wilkinson, 1986).

RESULTS

Growth

Figure 2 shows the dry flesh weight values of the mussels before and after six weeks exposure in summer and autumn. Except for the eastern region of the Western Scheldt, weight increases are recorded, both in summer and autumn. There is no significant increase in length.

Tissue concentrations

The tissue concentrations of contaminants are given in Table 2. The Western Scheldt shows the highest concentrations of contaminants. The low PCB congeners have the highest values in the Rhine outflow. The concentrations of PCB 52 and 44 show an intermediate pattern with comparable values in the Rhine outflow and the central and eastern Western Scheldt. The off-shore locations are relatively clean, except for cadmium; the coastal location Eastern Scheldt is cleaner than the locations near the Rhine outflow. The tissue concentrations

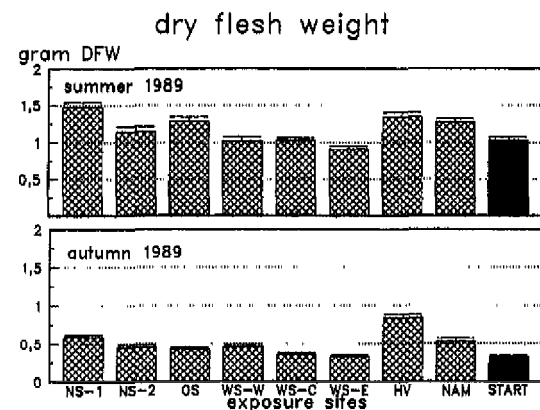


Fig. 2. Dry flesh weight of mussels (g DFW; mean $\pm$ SE) before and after exposure in summer and autumn, 1989.

Table 2. Tissue concentrations of contaminants in mussels after 6 weeks exposure in summer, 1989, on various locations (Fig. 1)

Station	Low mol. wt	PCBs 44 + 52	High mol. wt	ΣPAHs	Cd	Trace metals		
						Cu	Hg	Zn
NS-1	4.5	3.5	38.1	25.7	0.47	7.2	0.06	59
NS-2	3.4	1.8	28.4	14.6	0.42	6.5	0.07	82
OS	8.4	6.1	74.9	57.9	0.24	7.1	0.10	62
WS-W	13.9	13.9	143.0	192.9	0.39	8.3	0.10	82
WS-C	20.4	26.4	298.8	214.0	0.86	8.2	0.12	102
WS-E	24.0	34.4	383.8	258.0	1.44	9.0	0.14	117
HV	51.6	27.3	135.1	93.6	0.22	7.3	0.11	70
NAM	73.6	24.2	133.8	121.1	0.40	7.7	0.07	76

Mean values of duplicate analysis are shown; variation coefficient < 10%. PCBs and PAHs in µg/kg DFW; trace metals in mg/kg DFW. Low mol. wt PCBs = Σ congeners 18, 28, 31, 49; high mole. wt PCBs = Σ congeners 105, 118, 138, 153, 170, 180, 187; ΣPAHs = 6 from Borneff (fluoranthene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, benzo[ghi]perylene, indeno[1,2,3-cd]pyrene).

of a number of contaminants show a high correlation. Contaminants with a correlation coefficient $r^2 > 0.63$ are significantly related ($P < 0.05$) and from the cluster analysis three different clusters are derived: (i) PCBs with low molecular weights (congeners 18, 28, 31, 49), (ii) PCB congeners 44 and 52, and (iii) PAHs, high molecular weight PCBs (congeners 105, 118, 138, 153, 170, 180, 187) and trace metals, except Hg. Phenanthrene and mercury did not show a significant correlation with other contaminants.

Clearance rate

The clearance rate values of exposed mussels in summer, 1989 do not show large differences between sites except for station HV. The clearance rates in autumn at stations HV and WS-E are both significantly lower in comparison to the North Sea locations (Fig. 3).

Survival in air

In Fig. 4 the survival in air after exposure is shown. In summer, mussels from the eastern region of the Western Scheldt and from the stations HV and NAM have a significantly lower survival time compared to the North Sea locations. In autumn, mussels from all stations have a significantly lower survival time in comparison to mussels from the North Sea locations.

DISCUSSION

The observed growth in summer is confirmed by the results of the autumn experiment. The increase in dry weight shows that the mussels were in good condition during exposure and capable of accumulating contaminants. The differences in growth between stations are related to a combination of factors such as food quantity, i.e. chlorophyll concentration, which is high in the Rhine outflow where growth rate is high; food quality, i.e. low suspended matter concentration which occurs at the off-shore stations where considerable growth is measured, and salinity, which is low in the Western Scheldt region, where growth rate is low; this covariates with high suspended matter concentrations and high contaminant levels. Due to these differences, growth is not a useful parameter for the response to contaminants in this study. The observed gradient in tissue concentrations of total PCBs and PAHs corresponds with the well-known influence of the rivers Scheldt and Rhine on the contaminant levels in mussels in the Dutch coastal zone (De Kock, 1986). In comparison with the contaminant concentrations in wild mussels, according to JMG data from the mouth of the Western Scheldt and the Eastern Scheldt (Akkerman, 1989), the contaminant levels after six weeks of exposure are comparable for trace metals and 25–40% lower for PCBs. It is noticed that the increase in dry flesh weight might dilute the contaminant accumulation during the six

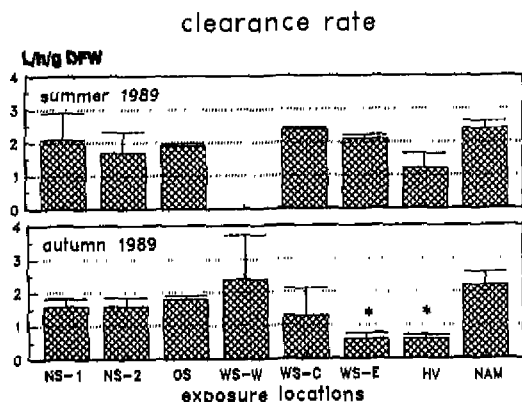


Fig. 3. Clearance rate (l/hr/g DFW; mean and standard error) of exposed mussels in summer and autumn 1989 (* $P < 0.05$, relative to NS-1 and NS-2).

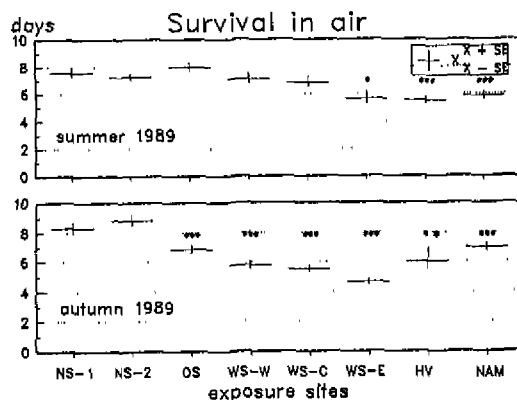


Fig. 4. Survival in air (days, mean and standard error) after 6 weeks exposure on the locations shown in Fig. 1 in summer and autumn, 1989 (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.005$, relative to NS-1 and NS-2).

weeks and bias the indicative value of tissue concentrations for the water quality. However, if tissue concentrations are converted into body burdens, the observed pattern would not change.

The tissue concentrations of low molecular PCBs deviate from the general pattern, showing maximum values at stations NAM and HV, in the Rhine outflow. Because both stations show this pattern, effects of a local source can be excluded. So, the Rhine is probably contaminated with a PCB mixture of a composition different from the PCBs in the Scheldt.

The tissue concentrations recorded at the most polluted station WS-E are low compared to values reported in literature for various sites, such as Narragansett Bay (Widdows *et al.*, 1981). In the Langesundfjord trace metals (Abdullah and Steffenak, 1988) and PAHs (Klungsoyr *et al.*, 1988) show higher values than at station WS-E, in contrast to PCB concentrations which are lower at Langesundfjord (Klungsoyr *et al.*, 1988).

The clearance rate values reflect the gradient in tissue concentrations in autumn better than in summer. In both cases, low values are recorded at station HV. In autumn, also, the eastern region of the Western Scheldt shows significantly lower values in comparison with the North Sea stations. High values are recorded at WS-W and NAM. The clearance rate shows considerable variation per station. Multiple regression did not show a significant correlation with a group of contaminants. The clearance rate values are lower than those reported in literature for Narragansett Bay (2.54–5.21 l/hr/g DFW, Widdows *et al.*, 1981). The value from site 1 (reference) in the Langesundfjord is 4.19 l/g/hr, while at site 3 a minimum value of 2.12 l/g/hr is recorded (Widdows and Johnson, 1988). So, the reference values in this study are lower than some reference values from literature. Besides methodological differences, this might indicate a response to stress also at the sites with relatively low levels of the measured contaminants.

The survival in air shows significantly lower values for mussels with the highest tissue concentrations of contaminants exposed at sites in the central and eastern regions of the Western Scheldt and in the Rhine outflow. Stepwise multiple regression showed a significant correlation with PCB 44 and 52 ($r^2 = 0.73$, $N = 8$, $P < 0.005$). In contrast to other compounds, PCB 44 and 52 have the same level

in the Rhine outflow and in the central Western Scheldt. So, survival in air seems to be relatively sensitive to the lower PCB congeners. From a long-term exposure to Cd and PCBs in the laboratory a significantly lower survival time was observed for animals with a tissue concentration of 20–40 mg/kg cadmium. Also, mussels exposed to PCBs showed a reduced survival time after exposure (Veldhuizen-Tsoerkan *et al.*, 1990).

As shown in this study, a significant response is obtained under field conditions with relatively low contaminant levels.

Acknowledgements—The authors are grateful to Mr H. van't Groenewoud for performing the exposure logistics, to Mr F. Smedes for the chemical analysis, to Mr T. Prins for statistical advice, to Dr B. Van Eck and Dr M. Knoester for critically reading the manuscript and to Mr R. Eertman for correcting the English text.

REFERENCES

- Abdullah M. I. and Steffenak I. (1988) The GEEP workshop: trace metal analysis. *MEPS* 46, 1–3, 27–30.
- Akkerman I., Zevenboom W. and Cofino W. (1989) *Joint Monitoring Programme, 1988, of The Netherlands*. RWS-TWD, GWIO 89.007.
- Bayne B. L., Brown D. A., Burns K., Dixon D. R., Ivanovici A., Livingstone D. R., Lowe D. M., Moore M. N., Stebbing A. R. D. and Widdows J. (1985) *The Effects of Stress and Pollution on Marine Animals*. Preager Scientific, New York.
- Bayne B. L., Clarke K. R. and Gray J. S. (1988) Biological effects of pollutants. *MEPS* 46, 1–3.
- De Kock W. C. (1986) Monitoring bio-available marine contaminants with mussels (*Mytilus edulis*) in the Netherlands. *Environ. Monit. Assess.* 7, 209–220.
- Klungsoyr J., Wilhelmssen S., Westheim K., Saetvedt E. and Palmork K. H. (1988) The GEEP workshop: organic chemical analysis. *MEPS* 46, 1–3, 19–26.
- Veldhuizen-Tsoerkan M. B., Holwerda D. A. and Zandee D. I. (1990) Anoxic survival time and metabolic parameters as stress indices in cadmium and PCB-exposed sea mussels. *Arch. environ. Contam. Toxicol.* (In press).
- Widdows J., Phelps D. K. and Galloway W. (1981) Measurement of physiological condition of mussels transplanted along a pollution gradient in Narragansett Bay. *Mar. environ. Res.* 4, 181–194.
- Widdows J. and Johnson D. (1988) Physiological energetics of *Mytilus edulis*: scope for growth. *MEPS* 46, 1–3, 113–121.
- Wilkinson L. (1986) *SYSTAT: The System for Statistics*. Systat Inc. Evanston, IL.