

675586

Ministerie van Verkeer en Waterstaat

Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat



Rijksinstituut voor Kust en Zee

Technische Universiteit Delft  
Bibliotheek Faculteit der Civiele Techniek  
(Bezoekadres Stevinweg 1)  
Postbus 5048  
2600 GA DELFT

# Ecologisch profiel van het Nonnetje (*Macoma balthica*)

Rapp

RIKZ

96.022

C. Steur  
J. Seys  
J. Eppinga

Rapport RIKZ 96.022

Watersysteemverkenningen 1996

ISBN 90-369-0445-5

Den Haag, juli 1996

ECOPROFIEL NONNETJE (*Macoma balthica*)

2287037



# Voorwoord

---

In 1995 is het door Steur & Seys (1989) eerder opgestelde ecoprofiel van *Macoma balthica* geactualiseerd met toegevoegde en/of herziene informatie uit de literatuur of via persoonlijke mededelingen. Deze aanpassing was nodig in het kader van het project Watersysteemverkenningen (WSV) waarin wordt gewerkt aan de voorbereiding van de Vierde Nota Waterhuishouding.

In de tekst van het voorliggende ecoprofiel is de nieuwe informatie terug te vinden als toevoeging; soms is een gedeelte in zijn geheel herschreven. De geraadpleegde literatuur is opgenomen in het overzicht achterin de profielbeschrijving.

Oude en nieuwe tekst zullen, vooral voor wat betreft de gebruikte eenheden (van dichtheid en biomassa) en gebiedsindeling, niet altijd naadloos op elkaar aansluiten. Speciale attentie is daarom vereist bij het hoofdstuk **Huidige situatie**, waarin per watersysteem lange-termijn ontwikkelingen worden besproken.

J. Eppinga

Technische Universiteit Delft  
Bibliotheek Faculteit der Civiele Techniek  
(Borsekadras Stevinweg 1)  
Postbus 5045  
2600 GA DELFT



# Inhoudsopgave

---

|   |           |
|---|-----------|
| Samenvatting                                  | 7         |
| Summary                                       | 9         |
| <b>1. Autoecologie</b>                        | <b>11</b> |
| 1.1 Algemene verspreiding en biotoopvereisten | 11        |
| 1.2 Voedsel                                   | 12        |
| 1.3 Natuurlijke vijanden                      | 13        |
| 1.4 Populatiodynamica                         | 13        |
| 1.5 Bronnen                                   | 15        |
| <b>2. Referentiesituatie</b>                  | <b>17</b> |
| 2.1 Waddenzee                                 | 17        |
| 2.2 Westerschelde                             | 17        |
| 2.3 Oosterschelde, Grevelingen, Veerse Gat    | 17        |
| 2.4 Voordelta                                 | 17        |
| <b>3. Huidige situatie</b>                    | <b>19</b> |
| 3.1 Waddenzee                                 | 19        |
| 3.2 Westerschelde                             | 21        |
| 3.3. Oosterschelde                            | 21        |
| 3.4 Grevelingen Meer en Veerse Meer           | 22        |
| 3.5 Noordzeekust <20 m lijn                   | 22        |
| <b>4. Ingreep-effect relaties</b>             | <b>23</b> |
| 4.1 Olieverontreiniging                       | 23        |
| 4.2 Anorganische microverontreiniging         | 23        |
| 4.3 Organische microverontreiniging           | 26        |
| 4.4 Eutrofiëring                              | 27        |
| 4.5 Visserij                                  | 28        |
| 4.6 Grondstoffenwinning/baggeren              | 28        |
| <b>Literatuur</b>                             | <b>31</b> |



## Samenvatting

---

Het Nonnetje (*Macoma balthica*) is een voor de ondiepe kustwateren van Nederland karakteristiek tweekleppig schelpdier dat ondiep ingegraven in de bodem leeft. Vooral op de bij laag water droog vallende platen in het Waddenzeegebied en in Ooster- en Westerschelde is het een belangrijke soort.

Het Nonnetje is in het project Watersysteemverkenningen (WSV) gekozen als doelvariabele om de milieukwaliteit van de Nederlandse zoute wateren te toetsen.

In het Ecoprofiel komt naar voren dat dichtheid en biomassa van het Nonnetje beïnvloedbaar zijn door de mate van eutrofiëring van onze kustwateren. Zo wordt de in de laatste decennia toegenomen dichtheid en biomassa in de westelijke Waddenzee in verband gebracht met eutrofiëring door afvoer van voedingsstoffen (o.a. vanuit het IJsselmeer). In het oostelijk deel van de Westerschelde heeft verontreiniging een nadelige invloed gehad op de ontwikkeling van populaties van het Nonnetje. Oudere dieren ontbreken hier nagenoeg. Storten van baggerspecie heeft pas dan negatief effect op lokaal aanwezige Nonnetjes als meer dan 10 cm slib wordt afgezet. Ze raken dan definitief begraven en overleven niet.





## Summary

---

The Baltic Tellin (*Macoma balthica*) is a characteristic and common bivalve mollusc in Dutch coastal waters. It lives shallowly buried in the sediment, and is especially abundant at intertidal flats in Wadden Sea, Oosterschelde and Westerschelde.

In the 'Aquatic Outlook' project the species was chosen as a sentinel organism for measuring environmental quality of coastal waters.

The data compiled in this document suggest that abundance and biomass of *Macoma balthica* may be dependent of the degree of eutrophication of our coastal waters. In fact, the increase in abundance and biomass during the last two decades observed in the western Dutch Wadden Sea has been related to the discharge of nutrients from lake IJsselmeer.

In the eastern part of the Westerschelde pollution had a negative effect on the development of populations of *Macoma balthica*. Older specimens are hardly present here.

Dumping of dredged material will affect local populations of *Macoma balthica* only if more than ca. 10 cm of fine sediment is deposited. The animals then get buried and do not survive.



# 1. Autoecologie

## 1.1 Algemene verspreiding en biotoopvereisten

Het Nonnetje *Macoma balthica* vertoont een arctisch-boreale verspreiding langs de kusten van de Noordelijke IJszee en aan beide zijden van de noordelijke Atlantische Oceaan.

Mogelijk betreffen de Nonnetjes die voorkomen langs de Amerikaanse kusten een nauw verwante soort.

Nederlandse verspreiding, algemeen: Waddenzee, Noordzee, Westerschelde en Oosterschelde; in Grevelingen Meer en Veerse Meer minder algemeen (fig. 1).

**Figuur 1.**  
Verspreiding van het Nonnetje in Nederland.



De soort is typisch voor de ondiepe kustzones (tot 25 m diep) en intergetijdegebieden; in de Baltische Zee werd het Nonnetje tot op een diepte van 150 m aangetroffen. *Macoma balthica* leeft horizontaal of verticaal ingegraven in het sediment en houdt d.m.v. zijn siphons contact met het bovenstaande water. De lengte van de siphons en daarmee de maximale ingraafdiepte wordt bepaald door de leeftijd: kleine Nonnetjes zitten in de bovenste cm van het sediment, grotere exemplaren 3 tot 10 cm diep. Het Nonnetje lijkt hierbij de optimale groeitemperaturen te zoeken: bij te lage of te hoge temperaturen kruipen de diertjes dieper weg.

Ze komen in vrijwel alle sedimenttypes voor, maar vertonen een voorkeur voor de fijnere sedimenten.

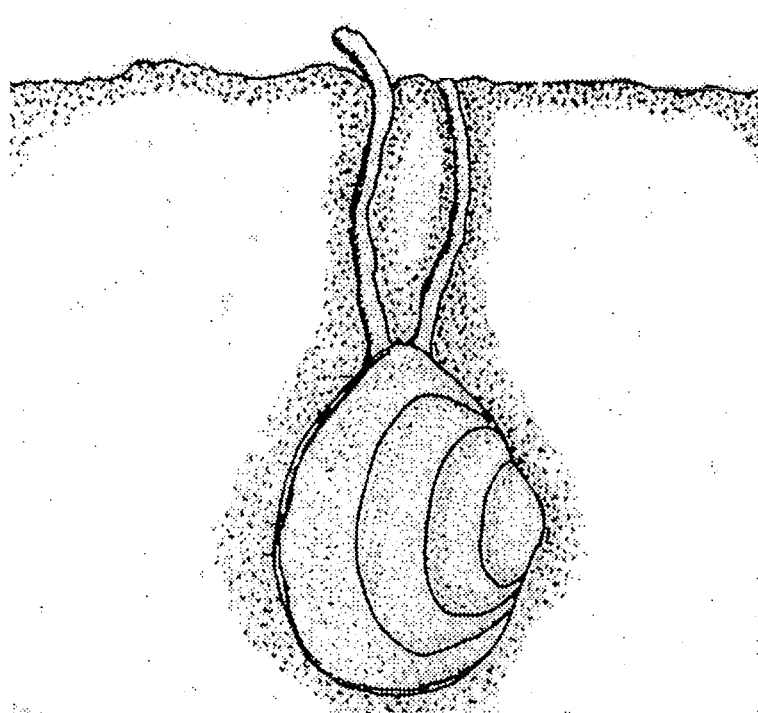
*Macoma balthica* is een euryhalie soort (van zeewater tot 2.7‰ S), zij het dat bij te lage zoutgehaltes de groei en het voorkomen beperkt zijn (+ dunne schelp).

## 1.2 Voedsel

Het voedsel van *Macoma* bestaat uit zowel planktonische als benthische microalgen. De soort is in staat om voedsel uit het bovenstaande water te filtreren door de (inhalerende) siphon net aan het oppervlak van het substraat te houden ("filter feeding" of "suspension feeding") (Hummel, 1985). Bij "deposit feeding" wordt de siphon rondom over het sediment uitgestrekt, waarbij materiaal (detritus) van het sediment wordt opgezogen. Tijdens deposit feeding zit het Nonnetje minder diep ingegraven, waardoor het gevoeliger is voor predatie (Zwarts & Wanink, 1989). Filter feeding is de voornaamste voedingswijze op dieper gelegen zandige lokaties, waar het (rijke) voedselaanbod uit het water vrij constant is. Op de platen wordt de meeste tijd gependeed aan deposit feeding, toch wordt ook hier het merendeel van het voedsel uit de waterkolom gehaald. Voedselopname vindt hoofdzakelijk plaats tijdens (het begin van) de overstromingsperiode. Filter feeding is dan het meest effectief, maar ook tijdens deposit feeding kan *Macoma* gesuspendeerde algen uit het bovenstaande water mee binnenkrijgen (Beukema & Cadée, 1991; Hummel, 1985; Thompson & Nichols, 1988).

In de loop van het jaar treedt een verschuiving op in de voedingswijze van *Macoma*. Bij voldoende voedselaanbod (april-juni) vindt voedselopname vooral plaats vanuit het water door middel van filter feeding. De voedselopname is in die periode dan ook hoog. In de zomer en het najaar, als de hoeveelheid voedsel in het water afneemt, zal *Macoma* actiever moeten overgaan op deposit feeding om in zijn voedselbehoefte te voorzien. In de winter is het Nonnetje vrijwel inactief. Ook kan de aanwezigheid van grote aantallen soortgenoten of andere soorten bivalven (*Mya arenaria*) het voedselaanbod zodanig verslechteren, dat (eerder) wordt overgegaan op deposit feeding (Lin & Hines, 1994; Kamermans, 1994).

Figuur 2.  
Nonnetje in sediment.



### 1.3 Natuurlijke vijanden

Nonnetjes van uiteenlopende grootte worden gegeten door verschillende soorten wadvogels zoals kanoetstrandloper, bonte strandloper, schol-ekster, tureluur en rosse grutto. Verder uit de kust is *Macoma* ook wel een prooi voor eidereenden en zeeëenden (van Moorsel, 1979).

In hoeverre de aanwezige *Macoma*'s ook daadwerkelijk door vogels worden geconsumeerd hangt onder meer af van de dichtheid, grootte, conditie en graafdiepte van *Macoma* en het al of niet aanwezig zijn van andere prooidieren (Beukema, 1993a; Zwarts & Wanink, 1993).

Aangezien *Macoma* zich in de herfst en winter dieper ingraaft en ook de conditie (biomassa) afneemt zal predatie vooral in de zomer plaatsvinden. Scholeksters geven de voorkeur aan kokkels en mossels als voedsel; bij afwezigheid van deze soorten neemt de predatie op *Macoma* toe, waardoor het *Macoma*-bestand plaatselijk sterk gereduceerd kan worden (Beukema, 1993a; Desprez *et al.*, 1992). Meestal zal de sterfte als gevolg van predatie door vogels echter beperkt zijn.

In de Noordzee komt de tepelhoren *Natica alderi* voor als predator van *Macoma* (de Bruyne, 1994; Duineveld, 1992; Duineveld & Belgers, 1993). Van de Baltische Zee is bekend, dat de zeester *Asterias rubens* grote hoeveelheden Nonnetjes kan consumeren (Bruegmann & Lange, 1988).

Siphons van grotere exemplaren en broed van *Macoma* dienen als voedsel voor garnalen, krabben, platvissen en grondels. De verminderde werking van de aangevreten siphons (regeneren) kan een verstoring van de voedselopname en daarmee van de groei veroorzaken (Kamermaans & Huitema, 1994). Bovendien kunnen de dieren zich tijdens het voedsel vergaren (deposit feeding) minder diep ingraven, waardoor de kans op predatie door vogels toeneemt. Vooral garnalen en krabben zouden wel eens grote invloed kunnen hebben op de overleving van *Macoma*. De vaak grotere broedval en betere groei van *Macoma* na koude winters kan wellicht voor een deel worden toegeschreven aan de verminderde predatiedruk door garnalen en krabben. Op de platen in de Waddenzee zijn de aantallen van deze predatoren relatief laag na koude winters, terwijl in de zomer een vertraagde vestiging van juvenielen optreedt (Beukema, 1991, 1992a).

*Macoma*-broed vormt ook een belangrijke prooi voor andere bodemfauna zoals het slakje *Retusa alba* en de worm *Nereis diversicolor*.

De larven van *Macoma* leven gedurende een korte periode planktonisch en worden door planktoneters gegeten. Vlak na het settlen treedt sterfte op als gevolg van predatie door meiofauna (Watzin, 1986).

Parasitaire infecties door trematoden komen vooral voor bij adulte *Macoma* en dat meer op de hoger dan op de lager gelegen platen. Een grotere blootstelling aan vogels (eindgastheer van trematoden) hoog in de getijdzone zou het voorkomen van deze parasieten bevorderen (Beukema & de Vlas, 1989; Lauckner, 1990; Lim & Green, 1991).

### 1.4 Populatie dynamica

#### *Reproductie en migratie*

De geslachten zijn gescheiden. De duur en het tijdstip van de reproductiegolven zijn afhankelijk van de watertemperatuur en het voedselaanbod. De belangrijkste voortplantingsperiode treedt op in het voorjaar (maart-mei), wanneer de watertemperatuur 10°C bereikt. In het zuidwestelijk deel van zijn areaal (Frankrijk) kan na een zomerperiode met lage temperaturen en bij hoge nutriënteniveaus een tweede reproductiegolf volgen in het najaar.

De pelagische larven blijven 2-5 weken in het plankton om bij een grootte van 250-300 µm te gaan settlen. Settling vindt in eerste instantie plaats in de dieper gelegen delen van de getijdezone op plaatsen met relatief fijn sediment en lage stroomsnelheden. In de weken daarna treedt redistributie op door passief transport met de getijdestromen naar de hoger gelegen platen, waar de larven minder last hebben van predatie (garnaal, krab) en waterbewegingen. Verstoring van de bovenste sedimentlaag door de wadpier *Arenicola marina* kan de vestiging van broed negatief beïnvloeden (Flach, 1992).

De larven laten zich gedurende de eerste winter, gestimuleerd door lage wintertemperaturen, met behulp van slijmdraden opnieuw met de ebstromen meevoeren naar lagere delen van het slik en naar sublitorale gebieden (Noordzee). Deze wintermigratie speelt een belangrijk rol bij de verspreiding van de soort over een groter en meer gevarieerd gebied. Het broed (2-8 mm) kan zich op deze manier verplaatsen naar lokaties waar de leefomstandigheden voor de juveniele en adulte levensstadia gunstiger zijn (Armonies & Hellwig-Armonies, 1992; Beukema, 1993b; Beukema & de Vlas, 1989; Günther, 1991). Wintermigratie naar lager gelegen zones, zoals waargenomen in de Waddenzee, blijkt in andere gebieden soms achterwege te blijven.

#### *Groei en leeftijdsopbouw*

Het begin en de duur van de groei wordt bepaald door de geografische ligging (temperatuur); hoe noordelijker, hoe korter en later de groei-periode. Beukema *et al.* (1985) zagen in de Waddenzee groei optreden bij een watertemperatuur van 4-16° C.

In Nederland beginnen de Nonnetjes te groeien in het voorjaar en dit gedurende een viertal maanden (maart-juni). Lengte en gewicht nemen gelijktijdig toe; de groeisnelheid is relatief hoog in de maanden mei en juni (Thompson & Nichols, 1988; Zwarts, 1991). De mate van groei hangt sterk af van het aanbod aan diatomeeën, waardoor jaarlijks en plaatselijk (afhankelijk van de overstromingsduur) grote verschillen kunnen optreden (Beukema & Cadée, 1991; Beukema, 1993b). Adulte *Macoma*'s groeien sneller in de dieper gelegen delen van de getijdezone en in sublitorale gebieden; de groei van juveniele exemplaren (tot ca. 5 mm) is echter beter op de hoog gelegen slikkige platen (Beukema & de Vlas, 1989; Armonies & Hellwig-Armonies, 1992).

Intraspecifieke competitie komt vooral voor als *Macoma* is aangewezen op deposit feeding. Dit kan leiden tot groeibeperkingen als gevolg van voedsellimitatie in de meer slibrijke substraten (zowel litoraal als sublitoraal). Vooral de juvenielen zullen hier, gezien hun beperkte verspreidingsgebied, de dupe van zijn. (Kamermans *et al.*, 1992; Olafsson, 1989; Vincent *et al.*, 1994).

Door trematoden geïnfecteerde dieren zouden harder groeien dan gezonde exemplaren (Lim & Green, 1991; Zwarts, 1991).

Extra voedselaanbod kan in het najaar voor een tweede groeistoot zorgen vooral in de meer zuidelijke landen zoals Frankrijk (Beukema & Desprez, 1986). Meestal treedt in het najaar echter stilstand op in de lengtegroei, terwijl het (vlees)gewicht tot in de winter (november-maart) met ongeveer de helft afneemt. Deze afname is kleiner naarmate de wintertemperaturen lager zijn en de dieren minder actief worden (Beukema, 1992b; Zwarts, 1991).

In het eerste jaar groeien Nonnetjes uit tot een lengte van 4-10 mm, in het tweede jaar tot 10-15 mm en uiteindelijk kunnen ze 20-25 mm groot worden bij een leeftijd van 5-6 jaar.

#### *Mortaliteit*

In het eerste jaar is de sterfte onder het broed erg groot, naar schatting overleeft niet meer dan 0,1% het eerste jaar. Voor de oudere dieren is in de Waddenzee een gemiddelde mortaliteit van ca. 50% gevonden. De jaarlijkse mortaliteit is regelmatig, omdat er relatief weinig wintersterfte optreedt. De tolerantie voor lage temperaturen is immers groot, hetgeen de noordelijke verspreiding van de soort mogelijk maakt.

De belangrijkste oorzaken van de mortaliteit zijn predatie en wegspoeling door de stroming. Bij hevige stormen in Canada werden de densiteiten met een factor tien gereduceerd. Essink (pers. med.) vond in de Waddenzee geen verhoogde mortaliteit door stormen.

Parasitaire trematoden veroorzaken in de Duitse Waddenzee regelmatig massale sterfte onder *Macoma*. Vooral oudere dieren zijn hiervan het slachtoffer (Lauckner, 1990).

#### *Verspreidingspatronen*

In de zomer en het najaar kunnen meerdere duizenden broedjes per m<sup>2</sup> worden gevonden in de hoge delen van het intergetijdegebied. Dichtheden van adulten daarentegen, halen zelden meer dan enkele honderden exemplaren per m<sup>2</sup> en dit veelal in lager gelegen zones.

De jaarlijkse variatie in verspreiding en dichtheid is in vergelijking met andere estuariene organismen gering. Deze populatiestabiliteit wordt in de hand gewerkt door de vrij lange levensduur (o.a. als gevolg van herhaalde redistributie), het aanwenden van verschillende voedingsstrategieën en een zeer grote tolerantie voor de meeste abiotische factoren.

### **1.5 Bronnen**

Bronnen vermeld door Steur & Seys (1989):

Beukema *et al.* (1973, 1977, 1980, 1983 en 1986), Campbell (1977), Cranford (1985)\*, Dankers *et al.* (1981), Dereu (1982), Develter (1985), Hummel (1986), Madsen & Jensen (1987), Mc Lusky & Elliott (1981), Meire *et al.* (in prep.), de Vlas (1973 en 1985\*), Wolff (1973) en Yeo & Risk (1979).

\* niet opgenomen in literatuuroverzicht.





## 2. Referentiesituatie

---

### 2.1 Waddenzee

Er zijn geen cijfers bekend over het voorkomen van het Nonnetje in de Waddenzee uit het verleden. Ziegelmeier (1978) vond, van 1950 - 1974, gemiddeld ca. 30 ind./m<sup>2</sup> in de Duitse Bocht. Bij gebrek aan andere gegevens wordt deze waarde als referentie gekozen.

### 2.2 Westerschelde

Leloup & Konietzko (1956) voerden in de periode 1952-1953 een bemonstering uit in de Beneden-Schelde. Uit deze gegevens blijkt dat *Macoma balthica* hier vrij algemeen voorkwam. Betrouwbare en vergelijkbare dichtheitsgegevens, als ook leeftijdsverdeling van de gevonden exemplaren, zijn echter niet beschikbaar.

Wolff (1973) heeft in april 1965 en november 1968 de Westerschelde bemonsterd. Hij berekende uit deze gegevens een trefkans van 10 Nonnetjes per m<sup>2</sup> voor het oostelijke deel van de Westerschelde. Er worden hierbij geen gegevens over de leeftijdsopbouw gegeven.

### 2.3 Oosterschelde, Grevelingen, Veerse Gat

Vóór de uitvoering van de Deltawerken vinden we in de getijzone van deze wateren gemiddelde dichtheden van 14-50 volwassen Nonnetjes per m<sup>2</sup> (Fortuin, 1981; Mansfeld, 1978; Weeber, 1980; Wolff, 1973).

### 2.4 Voordelta

Wolff (1973) berekende voor de periode 1958-1969 een trefkans van 3 à 4 per m<sup>2</sup> (bij een monstergrootte van 0.1 m<sup>2</sup>).



## 3. Huidige situatie

### 3.1 Waddenzee

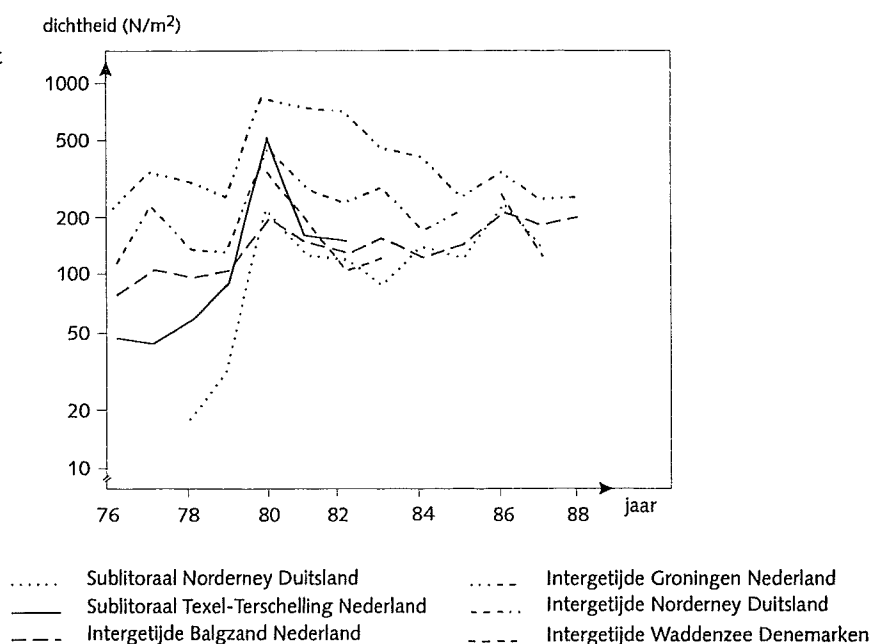
Beukema (1976) vond, over de periode 1970-1974, gemiddeld 113 Nonnetjes met een biomassa van 2,2 gADW (asvrijdrooggewicht) per m<sup>2</sup> op de getijdeplaten van de Nederlandse Waddenzee. De hoogste biomassa's van het Nonnetje komen voor in een zone tot 3 km van de kust van het vaste land, waar slibrijke sedimenten voorkomen.

In 1981/1982 werd in de westelijke Waddenzee sublitoraal een gemiddelde biomassa van 1,4 gADW/m<sup>2</sup> gevonden (gegevens R. Dekker, NIOZ). Op de mosselpercelen was de biomassa van het Nonnetje 0,8 gADW/m<sup>2</sup>. Als we er van uitgaan dat de helft van de Waddenzee uit getijdeplaten bestaat en de gemiddelde biomassa van de Nonnetjes onder de laagwaterlijn gelijk is aan die boven de laagwaterlijn, bedraagt de gemiddelde dichtheid voor de hele Waddenzee 95 Nonnetjes per m<sup>2</sup> en de biomassa 1,85 gADW/m<sup>2</sup>.

Voor een aantalsverloop van het Nonnetje in verschillende delen van de Waddenzee over de periode 1976-1988 verwijzen we naar figuur 3.

**Figuur 3.**

Dichtheidsverloop van het Nonnetje van 1976 tot 1988 in het intergetijdegebied en in de sublitorale geulen van de Waddenzee en nabije Noordzee. Naar Essink & Beukema (1988).



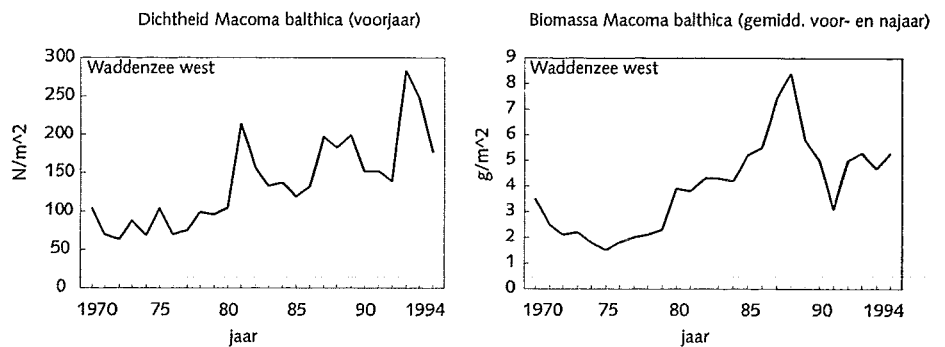
Samengevat kunnen we stellen: min of meer stabiele aantallen in de tweede helft van de zeventiger jaren, sterke stijging in 1979 en lichte daling in de eerste helft van de tachtiger jaren (tot op een niveau dat nog steeds hoger ligt dan in 1976!), zowel litoraal als sublitoraal. Zetten we deze gegevens naast die van Ziegelmeier (1978) uit de periode 1950-1974, dan kunnen we globaal spreken van een stijgende trend in het aantalsverloop van *Macoma balthica* in de Waddenzee.

#### *Waddenzee west*

Van 1989 tot 1994 wordt in het voorjaar op het Balgzand een gemiddelde dichtheid gevonden van 192 Nonnetjes per m<sup>2</sup>. De jaarlijkse biomassa is in

die periode gemiddeld 4,7 gADW/m<sup>2</sup>. Zowel de dichtheid als de biomassa blijven ongeveer op het niveau van dat in de jaren tachtig, doch hoger dan in de periode daarvoor (fig. 4).

**Figuur 4.**  
Dichtheid en biomassa van *Macoma balthica* in het litoraal van de westelijke Waddenzee (Balgzand). (gegevens J.J. Beukema, NIOZ).

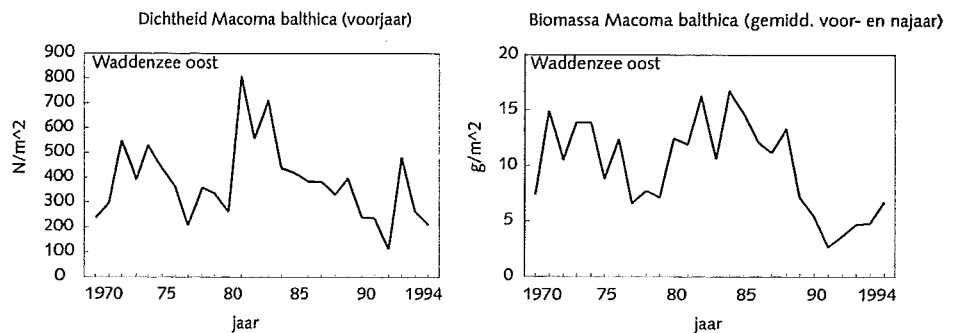


#### Waddenzee oost

De voorjaarsdichtheid van *Macoma* op het Groninger Wad vertoont een grillig verloop. De aantallen fluctueren ruim rond de ca. 400 ex. per m<sup>2</sup>. Hogere dichtheden vinden we vooral in het begin van de jaren zeventig en tachtig (tot 800 ind./m<sup>2</sup>). Lagere dichtheden - vanaf 100 individuen/m<sup>2</sup> - treffen we zowel in de periode daarvoor als daarna aan, zodat we niet van een bepaalde trend kunnen spreken (fig. 5).

De biomassa (gemiddelde voor- én najaar) vertoont echter een duidelijke afname: tot eind jaren tachtig fluctuaties rond de 11.5 gADW/m<sup>2</sup>, daarna rond de 5 gADW/m<sup>2</sup>.

**Figuur 5.**  
Dichtheid en biomassa van *Macoma balthica* in het litoraal van de oostelijke Waddenzee (Groninger Wad). (gegevens RIKZ).

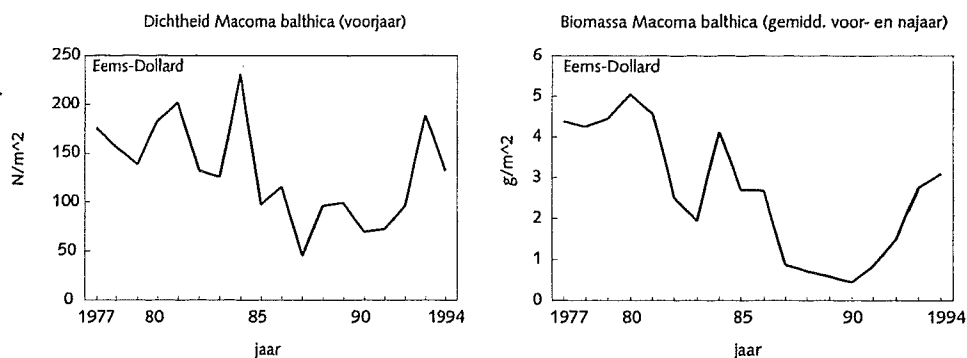


#### Eems-Dollard estuarium

Zowel de dichtheid als biomassa vertonen vanaf 1977 een min of meer neergaande lijn met in de jaren negentig een (beginnend) herstel (fig. 6). Op de Heringsplaat bedraagt de gemiddelde dichtheid in het voorjaar van 1977-1984 ca. 170 ex./m<sup>2</sup>. Vervolgens blijven de dichtheden schommelen rond de 90 ex./m<sup>2</sup>. Vanaf 1993 vinden we de oorspronkelijke dichtheid terug.

Het verloop in de jaarlijkse biomassa is meer trapsgewijs. Relatief hoge biomassawaarden vinden we in de beginperiode 1977-1981: 4-5 gADW/m<sup>2</sup>. In de jaren daarna fluctueert de biomassa rond de 3 gADW/m<sup>2</sup>. Van 1987 tot 1991 is de biomassa zeer laag (<1 gADW/m<sup>2</sup>), waarna er weer een geleidelijke stijging optreedt tot 3 gADW/m<sup>2</sup> in 1994.

**Figuur 6.**  
Dichtheid en biomassa van *Macoma balthica* in het litoraal van het Eems-Dollard estuarium (Heringsplaat). (gegevens RIKZ).



### 3.2 Westerschelde

Vermeulen (1980) vond in 1978 gemiddeld 176 Nonnetjes per  $m^2$  in het oostelijke deel van de Westerschelde. Het betreft echter voornamelijk kleine exemplaren. Tydeman & Kleef (1981) vonden in 1981, ter hoogte van het Verdronken land van Saeftinge bijna alleen juveniele exemplaren. Ook Lewis & Haas (1983) vonden in 1982, in de slikken bij Saeftinge veel Nonnetjes (gemiddeld 120-340/ $m^2$ ); of er ook volwassen Nonnetjes bij waren is niet bekend. Meire & Develter (1988) maken in 1987 voor de ganse Westerschelde melding van gemiddeld 1501 Nonnetjes per  $m^2$ . Ook dit waren nagenoeg allemaal juveniele exemplaren. Er vindt dus volop broedval plaats, ook in het oostelijke deel van de Westerschelde; volwassen Nonnetjes worden echter zelden aangetroffen. De dichtheid van volwassen Nonnetjes is  $< 1$  ind./ $m^2$ .

Gezien het ontbreken van accurate oude gegevens is het niet mogelijk om voor de Westerschelde uitspraken te doen over lange-termijn ontwikkelingen.

Wel is het vrijwel ontbreken van volwassen individuen in het oostelijk deel een aanwijzing dat daar de milieuomstandigheden zodanig verstoord zijn dat groeiremming en verhoogde mortaliteit optreedt.

Iedema (1990) trof in 1989 in het oostelijk deel van de Westerschelde dichtheden (zonder broed) aan van 20-90 ex. per  $m^2$ . Dit waren *Macoma*'s van één tot (meer dan) drie jaar oud met een maximale lengte van 2 cm. In het voorjaar van 1990-1994 werden gemiddelde dichtheden gevonden van 250 ex./ $m^2$  in het litoraal en 6 ex./ $m^2$  in het sublitoraal. De biomassa bedroeg in het voorjaar resp. 1.0 en  $< 0.1$  gADW/ $m^2$ , zodat we kunnen concluderen, dat het ook in deze jaren om voornamelijk kleine exemplaren ging. De jaargemiddelde biomassa (gemiddelde voor- én najaar) was niet veel hoger: tot 1.6 gADW/ $m^2$  op de platen (gegevens RIKZ).

### 3.3 Oosterschelde

De dichtheden en biomassa's van *Macoma balthica* in de Oosterschelde zijn globaal gezien weinig of niet veranderd na de uitvoering van de Delta-werken. We vinden gemiddeld tot 30-70 adulten per  $m^2$  (Craeymeersch *et al.*, 1988).

Vanaf 1990 treffen we in het voorjaar op de platen gemiddeld 15-60 ex. per  $m^2$  aan; in het sublitoraal enkele per  $m^2$ . De jaargemiddelde biomassa bedraagt nog geen 1 gADW per  $m^2$  (gegevens RIKZ).

### 3.4 Grevelingen Meer en Veerse Meer

Hier is het Nonnetje nagenoeg verdwenen t.g.v. de afsluitingen: de Grevelingen in 1971 (Lambeck *et al.*, 1985, 1986 en 1987) en het Veerse Meer in 1961 (Seys & Meire, 1988).

Als er nog Nonnetjes voorkomen, dan is dat meestal in het najaar; hooguit enkele exemplaren per m<sup>2</sup> met een te verwaarlozen biomassa (<0.1 gADW/m<sup>2</sup>) (gegevens RIKZ).

### 3.5 Noordzeekust <20 m lijn

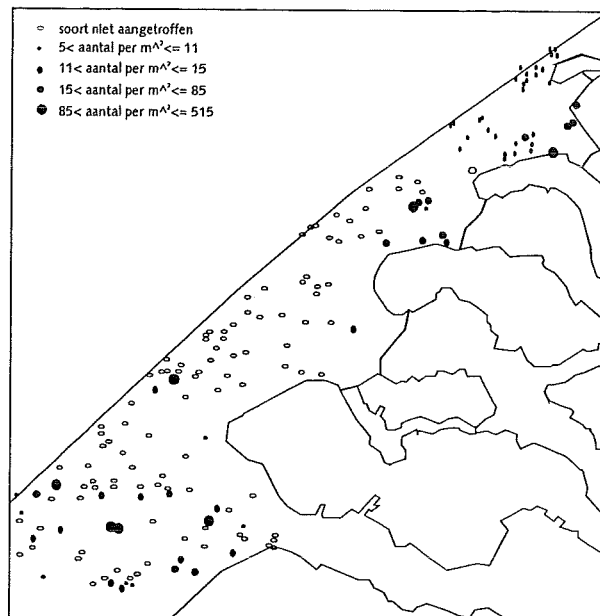
#### Voordelta

Seip & Brand (1987) vonden in 1984-1985 een gemiddelde dichtheid van 0.8-1 exemplaren per m<sup>2</sup>. Deze achteruitgang schrijven ze toe aan een meer marien worden van het gebied ten gevolge van de Deltawerken. Plaatselijk worden nog steeds hogere dichtheden (gemiddeld 50 per m<sup>2</sup>) gevonden in de meer slibrijke zones voor het Haringvliet, voor de Grevelingen en voor de Westerschelde (fig. 7)

**Figuur 7.**

Voorkomen (aantal per m<sup>2</sup>) van het Nonnetje in de Voordelta.

Naar Seip & Brand, 1987.



Tijdens najaarsbemonsteringen in 1985/86 werd voor de gehele Voordelta een gemiddelde dichtheid vastgesteld van 12 ex. per m<sup>2</sup> en een biomassa van 0.5 gADW/m<sup>2</sup> (Buijs *et al.*, 1989). Craeymeersch (1992) trof in het najaar van 1989 *Macoma* aan op de platen voor het Haringvliet. In het voorjaar van 1991-1993 werden ter hoogte van de Grevelingen dichtheden gevonden van 5-30 ex. per m<sup>2</sup> (biomassa < 1 gADW/m<sup>2</sup>); op de overige bemonsterde lokaties kwamen tot op een diepte van 20 m geen Nonnetjes voor (Duineveld, 1992; Duineveld & Belgers, 1993, 1994).

#### Hollandse kust

Voor zover bekend komen plaatselijk langs de kust van Rottum tot Hoek van Holland (voorjaars)dichtheden voor van maximaal ca. 50 *Macoma*'s per m<sup>2</sup> met een biomassa tot 2 gADW/m<sup>2</sup> (Duineveld, 1992; Duineveld & Belgers, 1993, 1994; Holtmann *et al.*, 1992). In het voorjaar van 1987 en 1988 werd tussen Den Helder en Hoek van Holland een gemiddelde dichtheid aangetroffen van resp. 3 en 53 ex. per m<sup>2</sup>. De biomassa was in 1988 0.7 g/m<sup>2</sup> (Groenewold & van Scheppingen, 1989). Hoewel het hier waarschijnlijk ook om dieper gelegen lokaties ging, komen de aantallen redelijk overeen.

## 4. Ingreep-effect relaties

In vergelijking met andere tweekleppigen neemt het Nonnetje de meeste stoffen vrij langzaam op uit het milieu. Daar staat tegenover dat het Nonnetje de meeste stoffen ook maar heel langzaam uitscheidt, zodat de uiteindelijke lichaamsconcentraties hoog op kunnen lopen. Dergelijke voor andere bivalven soms dodelijke lichaamsconcentraties hoeven bij *Macoma* echter niet tot extra sterfte te leiden (Kaag *et al.*, 1992).

### 4.1 Olieverontreiniging

Bronnen vermeld door Steur & Seys (1989): Bergman, 1982; Broman & Ganning, 1986 en Kuiper *et al.*, 1986.

Over effecten van olieverontreiniging op het Nonnetje zijn weinig gegevens bekend. Bij bivalven treedt er sterfte op vanaf concentraties van 5-50 ppm oplosbare aromatische koolwaterstoffen. Voor larven is dit 0.1-1.0 ppm. Subletale effecten treden al bij lagere concentraties op: vanaf 0.01-1 ppm. Bij het Nonnetje is waargenomen dat de graafcapaciteit wordt gemerd. Na opname van olieproducten kan ook eliminatie optreden. Dit proces verloopt bij het Nonnetje vrij traag.

Het Nonnetje wordt als deposit feeder ook beïnvloed door olie in het sediment. Bij een concentratie > 530 ppm olie in droog zand begint mortaliteit op te treden. Bij hogere concentraties neemt de mortaliteit toe.

Van het Nonnetje is waargenomen dat ze op het sediment kruipen als dit met olie verontreinigd wordt. Ze zijn dan extra kwetsbaar voor predatie. Van indirect-letale effecten zijn geen gegevens bekend.

### 4.2 Anorganische microverontreiniging

#### Letale effecten

In onderstaande tabel zijn voor het Nonnetje de letale concentraties van een aantal zware metalen (opgelost in water) samengebracht.

**Tabel 1.**  
Letale effecten van zware metalen op *Macoma balthica* bij een temperatuur van 10°C.  
Naar Bryant *et al.*, 1984, 1985a en b; Eldon *et al.*, 1980; Langston & Mingjiang Zhou, 1987.

| Metaal           | letaal effect | duur (uur) | saliniteit (% S) | concentratie (ppm) |
|------------------|---------------|------------|------------------|--------------------|
| Hg <sup>1)</sup> | LC 70         | 1056       | 6                | 1                  |
| Cd <sup>1)</sup> | LC 50         | 576        | 35               | 0.5-1              |
| Zn               | LC 50         | 48         | 15-35            | 1000-2100          |
|                  | LC 50         | 96         | 15-35            | 210-950            |
| Cr               | LC 50         | 192        | 35               | 190                |
|                  | LC 50         | 96         | 15-30            | 70-320             |
| As               | LC 50         | 192        | 15-30            | 20-68              |
|                  | LC 50         | 48         | 15-35            | meer dan 1000      |
| Ni               | LC 50         | 96         | 15-35            | 680-800            |
|                  | LC 50         | 192        | 15-35            | 60-80              |
|                  | LC 50         | 48         | 15-35            | 260-meer dan 2000  |
|                  | LC 50         | 96         | 15-35            | 95-1100            |
|                  | LC 50         | 192        | 15-35            | 36-450             |

<sup>1)</sup> bij 12°C i.p.v. 10°C

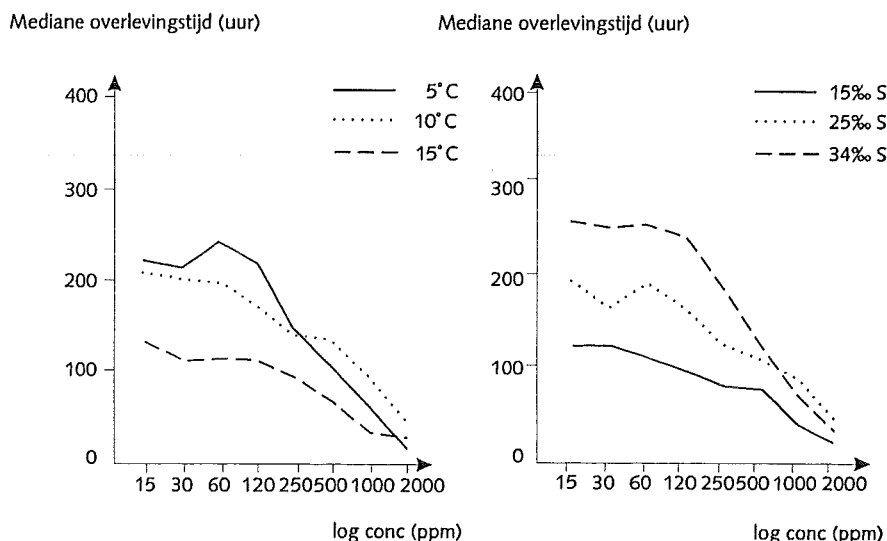
Uit deze gegevens en uit Bryant *et al.* (1984, 1985a en b) blijkt dat naarmate de expositie duur verlengt de 50% sterfte optreedt bij lagere concentraties.

Tevens is er een duidelijk temperatuur- en saliniteiteffect: bij lage zoutgehaltenes (15‰ S) en hoge temperatuur (15° C) treedt grotere sterfte op. Dit wordt voor Zn nader geïllustreerd aan de hand van figuur 8.

**Figuur 8.**

Effect van temperatuur en saliniteit op de toxiciteit van Zn voor *Macoma balthica*.

Naar Bryant *et al.*, 1985b.



#### Subletale effecten

Reeds bij concentraties lager dan hierboven genoemd, komen belangrijke effecten naar voren. In vele gevallen treedt beschadiging van de siphons op (insnoeringen en zwellingen) en wordt het graafvermogen aangetast (Eldon *et al.*, 1980). Tabel 2 geeft de belangrijkste resultaten aan van de experimenten van Eldon.

Bij deze tabel dient nog opgemerkt te worden dat de concentraties die het graafvermogen volledig verstoren ook al letale effecten hadden op een deel van de proefdieren.

**Tabel 2.**

Subletale effecten van zware metalen op *Macoma balthica*. Kleine exemplaren (8-12 mm) werden gedurende 24 uur blootgesteld aan verschillende zware metalen opgelost in water bij 12° C en 6‰ S; daarna werden de diertjes gedurende 15 dagen bestudeerd in schoon water.

Naar Eldon *et al.*, 1980.

| Metaal | subletaal effect-concentratie (ppm) |                    |                      |
|--------|-------------------------------------|--------------------|----------------------|
|        | begin remming graafvermogen         | stop graafvermogen | beschadiging siphons |
| Cd     | 1                                   | 2                  | 1                    |
| Hg     | 0.05                                | 1                  | 0.05                 |
| Cu     | 0.2                                 | 2                  | 0.5                  |
| Zn     | 2                                   | 50                 | 5                    |
| Pb     | 0.5                                 | meer dan 20        | 5                    |
| Ni     | 5                                   | 20                 | 1                    |
| Co     | 20                                  | 100                | 30                   |

#### Overige effecten

Wellicht treden bij *Macoma* genetische veranderingen op, waarbij door selectie de beter aangepaste exemplaren overleven. Dergelijke veranderingen werden waargenomen bij experimentele blootstelling aan koper; nader onderzoek is echter noodzakelijk (Hummel & Patarnello, 1994).



*Situatie Westerschelde*

Om te kunnen nagaan of het nagenoeg ontbreken van volwassen Nonnetjes in het oostelijke deel van de Westerschelde (mede) veroorzaakt wordt door de anorganische microverontreiniging, zullen de hierboven genoemde getallen vergeleken worden met de concentraties van deze metalen in het water van de Westerschelde. In de tabel hieronder staan achtereenvolgens de maximale concentraties van cadmium, kwik en koper zoals deze in de periode 1981 tot 1986 door Rijkswaterstaat (ongepubl.) zijn gemeten in het oostelijke deel van de Westerschelde, en de concentraties waarbij subletale en letale effecten optreden zoals deze hierboven vermeld staan.

**Tabel 3.**

Concentraties van Cd, Hg en Cu (ppm) in het oostelijk deel van de Westerschelde (waterfase), vergeleken met de subletale en letale concentraties voor *Macoma balthica*.

| Metaal | Westerschelde | subletale concentratie | letale concentratie |
|--------|---------------|------------------------|---------------------|
| Cd     | 0.003         | 1                      | 0.5-1               |
| Hg     | 0.00012       | 0.05                   | 1                   |
| Cu     | 0.01          | 0.20                   | meer dan 2          |

Hieruit blijkt dat de concentraties in het oostelijke deel van de Westerschelde veel lager liggen dan de gevonden letale en subletale concentraties.

Gezien de geleidelijke afname van de concentraties aan zware metalen in de jaren tachtig, zou men ook in de toekomst niet direct (sub)letale concentraties verwachten (Herman *et al.*, 1991; Zwolsman & van Eck, 1993). Zoals hierna zal blijken laten omgevingsconcentraties echter lang niet altijd zien hoeveel er werkelijk door mollusken wordt opgenomen en wat de biobeschikbaarheid van de verontreinigende stof is (Hummel & van Urk, 1991).

De concentraties aan pollutanten zijn vaak veel hoger in het sediment (vooral in slibrijk sediment) dan in het bovenstaande water. Vooral deposit feeders zouden op die wijze wel eens aan veel hogere concentraties kunnen zijn blootgesteld, om deze vervolgens te accumuleren in hun weefsels. Zodoende kan over het al of niet limiterend werken van zware metalen als Cd, Hg en Cu in de Westerschelde op het Nonnetje geen uitsluitsel worden gegeven.

Wat cadmium en koper betreft is de biobeschikbaarheid in slibrijk sediment veel lager dan in zandig substraat. Bovendien lijken Nonnetjes in zandig sediment deze metalen vooral op te nemen via het water of uit het voedsel (zwevende stof), hetgeen een aanzienlijk aandeel kan zijn. Lage zuurstofgehalten in sediment maken metalen minder geschikt voor opname door *Macoma* (slaan neer als metaalsulfides) (Absil, 1993; Decho & Luoma, 1994). Een laag zoutgehalte vermindert wellicht de biobeschikbaarheid van cadmium (Hummel *et al.*, 1989).

In 1987 zijn door Rijkswaterstaat (1989) op een groot aantal plaatsen in het brakwater-, overgangs- en mariene gebied van de Westerschelde de gehalten van een aantal microverontreinigingen bepaald in o.a. het Nonnetje (tabel 4). Hieruit blijkt dat de Nonnetjes uit het brakke (=oostelijke) deel van de Westerschelde aanmerkelijk hogere concentraties aan Cd (3x) en Cr (2x) bevatten dan die uit het mariene deel.

In 1989-1991 werd geen verschil gevonden in de concentraties Cu, Zn (en Fe) in *Macoma* tussen westelijke en oostelijke Westerschelde. De cadmiumconcentratie was echter bijna vier keer zo hoog in de oostelijke

**Tabel 4.**

Gehaltes aan Cd, Cr, Cu en Zn (in mg/kg ADW) in Nonnetjes uit drie verschillende zones van de Westerschelde.

| Metaal | brak | overgangsgebied | marien |
|--------|------|-----------------|--------|
| Cd     | 1.09 | 0.52            | 0.34   |
| Cr     | 5.84 | 3.09            | 2.54   |
| Cu     | 23   | 22              | 20     |
| Zn     | 487  | 453             | 443    |

Westerschelde. Voor alle vier metalen waren de concentraties relatief hoog in de winter en laag in de zomer. Waar echter de opname van Cu, Zn en Fe grotendeels door biologische processen gereguleerd lijkt te worden, blijkt *Macoma* zeer gevoelig voor blootstelling aan cadmium (Absil, 1993; Bordin *et al.*, 1992, 1994).

Dat er voor koper geen grote verschillen worden gevonden heeft wellicht ook met andere factoren te maken. Door de hogere concentraties organisch materiaal in de (oostelijke) Westerschelde wordt koper dusdanig gebonden, dat het minder beschikbaar is voor opname door *Macoma*. Deze complexe koperbindingen komen in de Westerschelde vooral voor in de winter. In de zomer zou het lage zoutgehalte wel eens een grotere rol kunnen spelen; een onverwacht hoge opname van koper door het Nonnetje werd geconstateerd bij experimenteel onderzoek in april 1992 (Absil *et al.*, 1993).

Dit fenomeen zou (mede) de verschillen verklaren tussen Oosterschelde en Westerschelde. Het organisch stofgehalte en dus ook de complexerende capaciteit in de Oosterschelde is lager dan in de Westerschelde. Op een aantal plaatsen in de Oosterschelde werden in *Macoma* hogere kopergehalten aangetroffen dan in de Westerschelde ondanks het feit dat de gehalten in sediment en water lager waren. Ook bleef de groei van deze dieren ver achter. Blijkbaar is er in de Oosterschelde relatief meer koper in beschikbare (ionische) vorm aanwezig (Goossen, 1989; Hummel & van Urk, 1991).

Al met al zou een (verdere) reductie van de afvalstroom uit België en de daarmee gepaard gaande zuurstoftoename (waardoor organisch materiaal wordt afgebroken en metaalsulfides oxyderen) in de oostelijke Westerschelde wel eens grote gevolgen kunnen hebben voor de concentraties aan *biologisch beschikbaar* koper en andere metalen (Absil, 1993; van Eck & de Rooij, 1993).

#### 4.3 Organische microverontreiniging

Organische microverontreinigingen kunnen worden geaccumuleerd door het Nonnetje. Door Rijkswaterstaat (1989) zijn in 1987 in de Westerschelde een aantal organische microverontreinigingen bepaald in het vet van het Nonnetje. In het oostelijke deel zijn de gehalten het hoogst. Zie tabel 5.

**Tabel 5.**

Organische microverontreinigingen in het vet van Nonnetjes uit de verschillende deelgebieden van de Westerschelde (mg/kg vet). Naar RWS, 1989.

| Polluent          | brak | overgangsgebied | marien |
|-------------------|------|-----------------|--------|
| PCB-153           | 2.36 | 1.38            | 1.65   |
| PCB-138           | 1.84 | 1.02            | 1.15   |
| Pyreen            | 4.92 | 2.25            | 2.06   |
| Benz(a)anthraceen | 1.08 | 0.75            | 0.85   |

Het is niet precies bekend in welke mate accumulatie van de pollutanten plaatsvindt vanuit het water, het voedsel of het sediment. Voor de meeste organische verbindingen is directe opname vanuit het water de belangrijkste route. De concentraties in voedsel en sediment zijn echter vaak vele malen groter. Bovendien is een aantal van deze stoffen zo hydrofoob, dat ze voornamelijk aan sediment gebonden zijn (Opperhuizen, 1993). De biologische beschikbaarheid van deze stoffen in sediment is vaak laag, toch blijkt bij een aantal deposit feeders (additionele) opname uit sediment plaats te vinden (Loonen *et al.*, 1993). Foster & Wright (1988) vonden een direct verband tussen concentraties PAK's in vet van *Macoma* en de aanwezigheid daarvan in slibrijk sediment (bij concentraties >5%). Bij lagere concentraties (zoals in zandig substraat) werd dit verband niet meer gevonden; blijkbaar vindt accumulatie dan plaats vanuit andere bronnen (via het water of voedsel).

In de Westerschelde is de vervuiling met organische microverontreinigingen aanzienlijk (Ysebaert *et al.*, 1993), hoewel de aanvoer van deze stoffen in de tachtiger jaren behoorlijk is afgenomen. De concentraties aan PCB's en PAK's zijn waarschijnlijk zo'n 2-3 keer lager dan twintig jaar geleden; deze componenten kunnen echter nog tientallen jaren in het ecosysteem achterblijven. Vooral in het brakke oostelijke deel van de Westerschelde zijn de concentraties hoog; bij toenemende saliniteit nemen de concentraties over het algemeen af (Herman *et al.*, 1991; van Zoest & van Eck, 1993).

Binding met opgelost en/of particulier organisch materiaal (met name in het oostelijk deel) kan de biobeschikbaarheid van organische microverontreinigingen echter doen afnemen (Burgess *et al.*, 1993).

#### 4.4 Eutrofiëring

Voor het Nonnetje zijn er duidelijke aanwijzingen voor een toename in aantal en biomassa als gevolg van eutrofiëring.

In de Nederlandse Waddenzee is er op het Balgzand een significante toename van het Nonnetje geconstateerd (Essink & Beukema, 1988; Dankers, 1984) in de periode 1970 tot 1988 (figuur 3).

In de Deense Waddenzee (Madsen & Jensen, 1987) werd een hoger aantal Nonnetjes en een hogere biomassa gevonden in een organisch verrijkt gebied ten opzichte van een vergelijkbaar gebied zonder verrijking. Dicht bij de verontreinigingsbron verdween alle broedval van het Nonnetje tussen november en januari. In beide onderzoeken werd ook een toename van de groei en reproductie gevonden bij het Nonnetje.

Na 1988 blijven de aantallen en biomassa in de westelijke Waddenzee op hetzelfde niveau. In de oostelijke Waddenzee vinden we echter dezelfde dichtheden terug als in de jaren zeventig, terwijl de biomassa sterk afneemt. De mate van eutrofiëring is hier (evenals in de Dollard) veel minder dan in de westelijke Waddenzee, waar de nutriëntenaanvoer vanuit het IJsselmeer van doorslaggevende betekenis is (de Jonge & Essink, 1992). Eutrofiëring kan indirect ook negatieve gevolgen hebben voor *Macoma*. Bonsdorff (1992) en Olafsson (1988) namen waar, dat settling van *Macoma* werd tegengehouden door samengepakte algenmassa's op het sediment. In de algenmassa werden grote aantallen dode schelpen aangetroffen. Blijkbaar fungeerde de laag algen als filter, waardoor het broed het sediment niet kon bereiken.

#### 4.5 Visserij

Referenties vermeld door Steur & Seys (1989); de Groot, 1983; van den Heiligenberg, 1982, 1984; RIN, 1987; de Vlas, 1982.

##### *Kokkelvisserij*

Op de door de kokkelvisserij beviste plaatsen vindt een sterfte plaats van 5-30% van de jonge Nonnetjes (jonger dan 1 jaar) en 0-25% van de oudere Nonnetjes. Beide sterftepercentages zijn afhankelijk van de vis-intensiteit. Deze is weer afhankelijk van de kokkeldichtheid: hoe hoger de dichtheid hoe intensiever het vissen. Het sterftepercentage van de oudere Nonnetjes is bovendien afhankelijk van het seizoen. In de herfst en winter zitten ze dieper en zijn ze minder kwetsbaar.

##### *Zeeaswinning*

Het machinale pieren 'spitten' veroorzaakt een sterfte onder de oudere Nonnetjes van 20-70%. Als er na de broedval wordt 'gespit' is dit fataal voor nagenoeg alle broedval.

Binnen zes maanden na beëindiging van de werkzaamheden kan een populatie zich door hernieuwde broedval en immigratie herstellen (van den Heiligenberg, 1987). Overigens is het effect niet altijd negatief, zoals werd waargenomen op het Balgzand. Zowel het overlevingspercentage als de biomassa van *Macoma* namen toe tijdens een periode van mechanisch pierenspitten (Beukema, 1995).

Het handspitten heeft een geringere invloed op het Nonnetje. Mc Lusky *et al.* (1983) vermelden een volledig herstel op de plaats van de oorspronkelijke spitplaats na ca. 2 weken.

#### 4.6 Grondstoffenwinning/baggeren

Ecologische effecten van baggeren en storten zijn in drie groepen onder te verdelen (Iedema, 1990):

- a) Directe effecten gedurende het baggeren en storten op en in de naaste omgeving van de lokatie, inclusief de gevolgen van een langdurige verhoging van de sedimentatie.  
Het Nonnetje is een uitstekende graver en kan een éénmalige begraving onder 40 cm fijn zand nog overleven. Voor slib is dit 10 cm. Een voortdurende, geleidelijke sedimentatie kan worden overleefd tot 25 cm/maand voor zand en 14 cm/maand voor slib (Bijkerk, 1988).
- b) De gevolgen van veranderingen van bodemligging en waterbeweging. Vooral in het oostelijk deel van de Westerschelde is al zo'n 15 jaar geen sprake meer van een natuurlijke ontwikkeling; door de toenemende omvang van baggerwerken is de morfologische structuur en dynamiek van de geulen-, platen- en slikkenstelsels ingrijpend veranderd. Zo zijn de getijdeamplitude en lokaal de stroomsnelheden groter geworden. Verstoring in het evenwicht tussen doorstroomprofiel en waterdebiet hebben geleid tot verzanding en opslibbing van slikken en platen. Duidelijk is dat al deze veranderingen een negatieve invloed zullen hebben op het voorkomen en instandhouden van levensgemeenschappen, waar *Macoma balthica* deel van uitmaakt (Iedema, 1990).
- c) De gevolgen van het in suspensie brengen en verspreiden van de fijne fractie, het slib.  
Hoge zwevende stofgehaltenes als gevolg van baggeractiviteiten komen voor in het oostelijk deel van de Westerschelde. Als deposit feeder zal *Macoma* hier minder last van hebben. Wél worden de aan slib gebonden microverontreinigingen in suspensie gebracht, hetgeen de biologische beschikbaarheid van deze stoffen verhoogt (Burgess *et al.*, 1993). Verhoogde troebelheid, en daardoor minder doorzicht, kan de primaire

productie en dus het voedselaanbod verminderen. Bovenstaande factoren zouden een negatief effect kunnen hebben op het voorkomen van (volwassen) *Macoma* in dit deel van het estuarium.

Met betrekking tot baggerspeciéstortingen in het Eems-Dollard estuarium is geschat dat 0.05% van de *totale* bodemfauna nadelig zou kunnen worden beïnvloed, waarbij vooral gedacht moet worden aan het onder slib bedolven raken van organismen (de Vlas & van den Bergs, 1993). Bagger-specie-stortingen in "de Slufter" hadden (nog) geen noemenswaardig effect op de bodemfaunasamenstelling in de monding van het Haringvliet (Craeymeersch, 1992).

De effecten van baggerwerkzaamheden worden mede bepaald door de intensiteit ervan en het seizoen waarin ze plaatsvinden. Aanbevolen wordt om een herstelperiode van twee jaar in acht te nemen en, in verband met migratie van broed, in de winter geen baggerspecie te storten (Essink, 1993; Kleef *et al.*, 1992).



## Literatuur

---

**Absil, M.C.P. 1993.** Biologische beschikbaarheid van zware metalen voor de depositfeeder *Macoma balthica*. *Kontaminanten in bodems en sediment - sorptie en biologische beschikbaarheid (symposiumverslag)*; p 101-106.

**Absil, M.C.P. & L.J.A. Gerringa & B.Th. Wolterbeek 1993.** The relation between salinity and copper complexing capacity of natural estuarine waters and the uptake of dissolved <sup>64</sup>Cu by *Macoma balthica*. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 5(4); p 119-128.

**Armonies, W. & M. Hellwig-Armonies 1992.** Passive settlement of *Macoma balthica* spat on tidal flats of the Wadden Sea and subsequent migration of juveniles. *Neth. J. Sea Res.* 29(4); p 371-378.

**Bergman, M. 1982.** Gedrag, bestrijding en biologische effecten van olie in estuariene gebieden, literatuuroverzicht. *RIN-rapport 82/18*.

**Beukema, J.J. 1973.** Migration and secondary spatfall of *Macoma balthica* (L.) in the western part of the Wadden Sea. *Neth. J. Zool.* 23; p 356-357.

**Beukema, J.J. 1976.** Biomass and species richness of the macrobenthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 10 (2); p 236-261.

**Beukema, J.J. 1980.** Calcimass and carbonate production by molluscs on the tidal flats in the Dutch Wadden Sea: the tellinid bivalve *Macoma balthica*. *Neth. J. Sea Res.* 14 (3/4); p 323-338.

**Beukema, J.J. 1983.** The balthic tellin *Macoma balthica*. Life histories of some important Wadden Sea invertebrates 5.7. In: *W.J. Wolff: Ecology of the Wadden Sea. Vol. 4*; p 116-118.

**Beukema, J.J. 1991.** The abundance of shore crabs *Carcinus maenas* (L.) on a tidal flat in the Wadden Sea after cold and mild winters. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 153; p 96-113.

**Beukema, J.J. 1992a.** Dynamics of juvenile shrimp *Crangon crangon* in a tidal-flat nursery of the Wadden Sea after mild and cold winters. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 83; p 157-165.

**Beukema, J.J. 1992b.** Expected changes in the Wadden Sea benthos in a warmer world: lessons from periods with mild winters. *Neth. J. Sea Res.* 30; p 73-89.

**Beukema, J.J. 1993a.** Increased mortality in alternative bivalve prey during a period when the tidal flats of the Dutch Wadden Sea were devoid of mussels. *Neth. J. Sea Res.* 31(4); p 395-406.

**Beukema, J.J. 1993b.** Successive changes in distribution patterns as an adaptive strategy in the bivalve *Macoma balthica* (L.) in the Wadden Sea. *Helgoländer Meeresunters.* 47; p 287-304.

**Beukema, J.J. 1995.** Long-term effects of mechanical harvesting of lugworms *Arenicola marina* on the zoobenthic community of a tidal flat in the Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 33(2); p 219-227.

- Beukema, J.J. & G.C. Cadée 1991. Growth rates of the bivalve *Macoma balthica* in the Wadden Sea during a period of eutrophication: relationships with concentrations of pelagic diatoms and flagellates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 68; p 249-256.
- Beukema, J.J. & G.C. Cadée & J.J.M. Jansen 1977. Variability of growth rate of *Macoma balthica* in the Wadden Sea in relation to availability of food. *Proc. 11-th EMBS, Galway, Ireland*.
- Beukema, J.J. & M. Desprez 1986. Single and dual annual growing seasons in the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 102; p 35-45.
- Beukema, J.J. & K. Essink 1986. Common patterns in the fluctuations of macrozoobenthic species living at different places on tidal flats in the Wadden Sea. *Hydrobiologia* 142; p 199-207.
- Beukema, J.J. & E. Knol & G.C. Cadée 1985. Effects of temperature on length of the annual growing season in the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.) living on tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 90; p 129-144.
- Beukema, J.J. & J. de Vlas 1989. Tidal-current transport of thread-drifting postlarval juveniles of the bivalve *Macoma balthica* from the Wadden Sea to the North Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 52; p 193-200.
- Bonsdorff, E. 1992. Drifting algae and zoobenthos - effects on settling and community structure. *Neth. J. Sea Res.* 30; p 57-62.
- Bordin, G. & J. McCourt & A. Rodriguez 1992. Trace metals in the marine bivalve *Macoma balthica* in the Westerschelde Estuary (The Netherlands). Part 1: Analysis of total copper, cadmium, zinc and iron concentrations - locational and seasonal variations. *The Science of the Total Environment*, 127; p 255-280.
- Bordin, G. & J. McCourt & A. Rodriguez 1994. Trace metals in the marine bivalve *Macoma balthica* in the Westerschelde Estuary, The Netherlands. Part 2: Intracellular partitioning of copper, cadmium, zinc and iron - variations of the cytoplasmic metal concentrations in natural and in vitro contaminated clams. *The Science of the Total Environment*, 151; p 113-124.
- Broman, D. & B. Ganning 1986. Uptake and release of petroleum hydrocarbons by two brackish water bivalves, *Mytilus edulis* (L.) and *Macoma balthica* (L.). *Ophelia* 25; p 49-57.
- Bruegmann, L. & D. Lange 1988. Trace metal studies on the starfish *Asterias rubens* L. from the western Baltic Sea. *Chem. Ecol.*, Vol. 3, no. 4; p 295-311.
- Bruyne, R.H. de 1994. Schelpen van de Nederlandse kust. *KNNV-veldgids* no. 6.
- Bryant, V. & D.S. Mc Lusky & K. Roddie & D.M. Newbery 1984. Effect of temperature and salinity on the toxicity of chromium to three estuarine invertebrates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 20; p 137-149.
- Bryant, V. & D.M. Newbery & D.S. Mc Lusky & R. Campbell 1985a. Effect of temperature and salinity on the toxicity of arsenic to three estuarine invertebrates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 24; p 129-137.
- Bryant, V. & D.M. Newbery & D.S. Mc Lusky & R. Campbell 1985b. Effect of temperature and salinity on the toxicity of nickel and zinc in two estuarine invertebrates. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 24; p 139-153.



- Burgess, R.M. & K.A. Schweitzer & R.A. McKinney & D.K. Phelps 1993.** Contaminated marine sediments: water column and interstitial toxic effects. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 12; p 127-138.
- Buijs, J. & J.A. Craeymeersch & R. Brand & J. van der Meer & A. Pouwer & A. Smaal 1989.** Macrobenthosgemeenschappen in de Voordelta: een analyse van de dichtheden en biomassa's van de najaarsbemonsteringen 1985-1986. *Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek, Rapporten en verslagen 1989-6.*
- Bijkerk, R. 1988.** Ontsnappen of begraven blijven: de effecten op bodemdieren van een verhoogde sedimentatie als gevolg van baggerwerkzaamheden. *R.D.D. Aquatic Ecosystems, Groningen.*
- Campbell, A.C. 1977.** Elseviers gids van strand en kust.. *Elsevier, Amsterdam-Brussel.*
- Craeymeersch, J.A. 1992.** Het macrobenthos in de Haringvlietbuitendelta - Onderzoek naar de effecten van de aanleg van de grootschalige lokatie voor de berging van baggerspecie 1986-1990. *Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Rapporten en verslagen 1992-01.*
- Craeymeersch, J. & J. Coosen & A. van den Dool 1988.** Trendanalyse van densiteits- en biomassawaarden van bodemdieren in het getijdengebied van de Oosterschelde (1983-86). *DIHO Rapp. & Versl. nr. 1986-7; 55 p.*
- Dankers, N. 1984.** De milieu-effecten van lozing van ongezuiverd veenkoloniaal afvalwater in de Dollard via een persleiding. *RIN-rapport 84/2.*
- Dankers, N. & H. Kuhl & W.J. Wolff (ed.) 1981.** Invertebrates in the Wadden Sea. In 'Ecology of the Wadden Sea', final report of the section marine zoology of the Wadden Sea working group nr. 4.
- Decho, A.W. & S.N. Luoma 1994.** Humic and fulvic acids: sink or source in the availability of metals to the marine bivalves *Macoma balthica* and *Potamocorbula amurensis*? *Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 108; p 133-145.*
- Dereu, J. 1982.** Ruimtelijke distributie van het macrozoobenthos op de slikken van Vianen (Oosterschelde, NL). *Licentiaatsverhandeling R.U. Gent.*
- Desprez, M. & H. Rybarczyk & J.G. Wilson & J.P. Ducrotot & F. Sueur & R. Olivesi & B. Elkaim 1992.** Biological impact of eutrophication in the Bay of Somme and the induction and impact of anoxia. *Neth. J. Sea Res. 30; p 149-159.*
- Develter, D. 1985.** Ecologische studie van het macrozoobenthos op de slikken van Vianen. *Licentiaatsverhandeling R.U. Gent.*
- Duineveld, G.C.A. 1992.** The macrobenthic fauna in the Dutch sector of the North Sea in 1991. *Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, NIOZ-Rapport 1992-6.*
- Duineveld, G.C.A. & J.J.M. Belgers 1993.** The macrobenthic fauna in the Dutch sector of the North Sea in 1992. *Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, NIOZ-Rapport 1993-11.*
- Duineveld, G.C.A. & J.J.M. Belgers 1994.** The macrobenthic fauna in the Dutch sector of the North Sea in 1993 and a comparison with previous data. *Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, NIOZ-Rapport 1994-12.*

- Eck, G.T.M. van & N.M. de Rooij 1993. Potential chemical time bombs in the Schelde estuary. *Landdegradation & rehabilitation*, Vol. 4; p 317-332.
- Eldon, J. & M. Pekkarinen & R. Kristoffersson 1980. Effects of low concentrations of heavy metals on the bivalve *Macoma balthica*. *Ann. Zool. Fennici* 17; p 233-242.
- Essink, K. 1993. Ecologische effecten van baggeren en storten van baggerspecie in het Eems-Dollard estuarium en de Waddenzee. *Rijkswaterstaat, Rapport DGW-93.020*.
- Essink, K. & J.J. Beukema 1988. Long-term changes in intertidal and shallow-subtidal sedimentary zoobenthos. *Progress Report of work carried out within the framework of Cost-647*; 17 p.
- Flach, E.C. 1992. Disturbance of benthic in fauna by sediment - reworking activities of the lugworm *Arenicola marina*. *Neth. J. Sea Res.* 30; p 81-89.
- Fortuin, A.W. 1981. Samenstelling, verspreiding, aantallen en biomassa van het macrozoobenthos in het Volkerak-Oosterschelde estuarium in de periode 1959 t/m 1976. *DIHO Rapp. & Versl. nr.* 1981-6; 237 p.
- Foster, G.D. & D.A. Wright 1988. Unsubstituted polynuclear aromatic hydrocarbons in sediments, clams, and clam worms from Chesapeake Bay. *Marine Pollution Bulletin*, Vol. 19, no. 9; p 459-465.
- Goossen, W- J. 1989. Groei en stressparameters bij het nonnetje (*Macoma balthica*) in de Ooster- en Westerschelde. *DIHO, Studentenverslagen D4-1989*.
- Groenewold, A. & Y.C.M. van Scheppingen 1989. De ruimtelijke verspreiding van het benthos in de zuidelijke Noordzee - voorjaar 1988. *Rijkswaterstaat, MILZON-benthos rapport nr. 89-05 (MILZON 89-010): oktober 1989*.
- Groot, S.J. de 1983. Een overzicht van onderzoek betrekking hebbende op de invloed van menselijke activiteiten op het bodemleven, met name bodemvistuigen, baggeren, winning bodemmateriale, storten specie, het leggen van pijpleidingen en telefoonkabels. *RIVO-rapport Ca 83-05a*.
- Günther, C- P. 1991. Settlement of *Macoma balthica* on an intertidal sandflat in the Wadden Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 76; p 73-79.
- Heiligenberg, T. van den 1982. De pierenspitterij en de gevolgen ervan voor de bodemdieren in de Waddenzee. *RIN-rapport 82/1*.
- Heiligenberg, T. van den 1984. De ecologische gevolgen van winning van wadpiere en andere bodemdieren in het intergetijdegebied. *RIN-rapport 84/3*.
- Heiligenberg, T. van den 1987. Effects of mechanical and manual harvesting of lugworms *Arenicola marina* L. on the benthic fauna of tidal flats in the Dutch Wadden Sea. *Biol. Conserv.* 39; p 165-177.
- Herman, P.M.J. & H. Hummel & M. Bokhorst & A.G.A. Merks 1991. The Westerschelde: interaction between eutrophication and chemical pollution? *Estuaries and Coasts: Spatial and Temporal Intercomparisons (ECSA 19 Symposium 4-8 September 1989)*; p 359-464.

**Holtmann, S.E. & Y.C.M. van Scheppingen & A. Groenewold 1992.** Biomonitoring van het zoëbenthos in de zuidelijke Noordzee - voorjaar 1990. *Rijkswaterstaat, deelrapport MILZON-BENTHOS\*2*.

**Hummel, H. 1985.** Food intake of *Macoma balthica* (Mollusca) in relation to seasonal changes in its potential food on a tidal flat in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 19(1); p 52-76.

**Hummel, H. 1986.** De voedselopname en groei van *Macoma balthica*. *Vakbl. Biol.* 66 (8); p. 161-164.

**Hummel, H. & R.H. Bogaards & L. de Wolf & W-J. Goossen 1989.** Spatial and temporal differences in the ecophysiology of bivalves from polluted and unpolluted areas of the Dutch Delta areas. *J. Shellfish Res.*, Vol. 8, no. 2; p 484.

**Hummel, H & T. Patarnello 1994.** Genetic effects of pollutants on marine and estuarine invertebrates. *Genetics and Evolution of Aquatic Organisms*; p 425-434.

**Hummel, H. & G. van Urk 1991.** Aquatische mollusken chemisch onder druk. *Flora en fauna chemisch onder druk*; p 103-109.

**Iedema, A. 1990.** Voorkomen en verspreiding van het nonnetje *Macoma balthica* en de strandgaper *Mya arenaria* in het oostelijk deel van de Westerschelde in 1989. *Rijksuniversiteit Groningen, Stageverslag Dienst Getijdewateren (RWS) te Middelburg*.

**Jonge, V.N. de & K. Essink 1992.** Lange-termijn veranderingen in nutriëntenbelasting en daarmee gepaard gaande primaire en secundaire productie in de Nederlandse Waddenzee. *Dienst Getijdewateren, Rapport nr. DGW-92.002*.

**Kaag, N.H.B.M. & H.P.M. Schobben & R.G. Jak & M.C.Th. Scholten 1992.** Ecotoxicologische profielen van AMOEBE-soorten. *RAM-TNO rapport nr. 3 (TNO-rapport R 92/115)*.

**Kamermans, P. 1994.** Similarity in food source and timing of feeding in deposit- and suspension-feeding bivalves. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 104; p 63-75.

**Kamermans, P. & H.J. Huitema 1994.** Shrimp (*Crangon crangon* L.) browsing upon siphon tips inhibits feeding and growth in the bivalve *Macoma balthica* (L.). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol 175; p 59-75.

**Kamermans, P. & H.W. van der Veer & L. Karczmarski & G.W. Doeglas 1992.** Competition in deposit- and suspension-feeding bivalves: experiments in controlled outdoor environments. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 162; p 113-135.

**Kleef, H.L. & K. Essink & E.E. Welling 1992.** Het effect van het storten van baggerspecie op de bodemfauna in de Oude Westereems in de jaren 1989 en 1990. *Rijkswaterstaat, Rapport DGW-92.018*.

**Kuiper, J. & H. van het Groenewoud & N. Admiraal & M. Scholten & P.A.W.J. de Wilde & G. van Moorsel & R. Dekker & W.J. Wolff & C. Brouwer 1986.** The influence of dispersants on the fate and effects of oil in Model Tidal Flat Ecosystems. Final report Oil Pollution Experiments with special reference to the use of Finasol OSR 5 (OPEX 1984-1986). *TNO report no. R 86/182: 1-94*.

**Lambeck, R.H.D. & E.B.M. Brummelhuys 1985.** Een bestandsopname in voorjaar 1984 van het macrozoëbenthos in het Grevelingenmeer. *DIHO-rapport 1985-4*.

- Lambeck, R.H.D. & R. Pouwer 1986. Een bestandsopname in voorjaar 1985 van het macrozoobenthos in het Grevelingenmeer, en enige notities over lange-termijnontwikkelingen. *DIHO-rapport 1986-5*.
- Lambeck, R.H.D. & G. de Smet 1987. Een bestandsopname in voorjaar 1986 van het macrozoobenthos in het Grevelingenmeer. *DIHO-rapport*.
- Langston, W.J. & Mingjiang Zhou 1987. Cadmium accumulation, distribution and elimination in the bivalve *Macoma balthica*: neither metallothionein nor metallothionein-like proteins are involved. *Mar. Envir. Res.* 21; p. 225-237.
- Lauckner, G. 1990. Parasiten - ihr Einfluss im Ökosystem Wattenmeer. *Warnsignale aus der Nordsee. Parey, Berlin*; p 219-230.
- Leewis, R.J. & H.A. Haas 1983. Bodemdieren Saeftinge. *Rijkswaterstaat notitie DDMI-83.715*.
- Leloup, E. & B. Konietzko 1956. Recherches biologiques sur les eaux saumâtres du Bas-Escaut. *Verh. K.B.I.N.* 132; 96 p.
- Lim, S.S.L. & R.H. Green 1991. The relationship between parasite load, crawling behaviour, and growth rate of *Macoma balthica* (L.) (Mollusca, Pelecypoda) from Hudson Bay, Canada. *Can. J. Zool.*, Vol. 69, no. 8; p 2202-2208.
- Lin, J. & A.H. Hines 1994. Effects of suspended food availability on the feeding mode and burial depth of the Baltic clam, *Macoma balthica*. *Oikos* 69; p 28-36.
- Loonen, H. & D. Muir & J. Parsons & H. Govers 1993. Invloed van sediment op de bioaccumulatie van dioxinen in waterbodembodems organismen. *Kontaminanten in bodems en sediment - sorptie en biologische beschikbaarheid (symposium-verslag)*; p 45-52.
- Madsen, P.B. & K. Jensen 1987. Population dynamics of *Macoma balthica* in the Danish Wadden Sea in an organically enriched area. *Ophelia* 27 (3); . 197-208.
- Mansfeld, M.J.M. van 1978. Verandering in de samenstelling van het zoöbenthos van het zachte substraat in het Veerse Meer sinds 1959. *DIHO Studentenverslagen D2-1978*; 67 p.
- Mc Lusky, D.S. & F.E. Anderson & S. Wolfe-Murphy 1983. Distribution and population recovery of *Arenicola marina* and other benthic fauna after bait digging. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 11; p 173-179
- Mc Lusky, D.S. & M. Elliott 1981. The feeding and survival strategies of estuarine molluscs. In: *Feeding and Survival Strategies of Estuarine Organisms* (eds.: N.V. Jones & W.J. Wolff 1981). *Plenum Press - N.Y., London*; p 109-121.
- Meire, P. & D. Develter 1988. Macrozoobenthos van de Westerschelde: eerste overzicht van de resultaten van de macrozoobenthos-bemonstering najaar 1987 in het kader van het project SAWES. *Rapp. R.U.G.*; 24 p.
- Moorsel, G.W.N.M. van 1979. Overleving van *Macoma balthica* op het Balgzand. *Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee, Interne Verslagen No. 1979-1*.
- Olafsson, E.B. 1988. Inhibition of larval settlement to a soft bottom benthic community by drifting algal mats: an experimental test. *Mar. Biol.* 97; p 571-574.

**Olafsson, E.B. 1989.** Contrasting influences of suspension-feeding and deposit-feeding populations of *Macoma balthica* on infaunal recruitment. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, Vol. 55(2-3); p 171-179.

**Opperhuizen, A. 1993.** Opname en bioaccumulatie van organische microverontreinigingen in aquatische ecosystemen uit water, voedsel en sedimenten. *Kontaminanten in bodems en sediment - sorptie en biologische beschikbaarheid (symposiumverslag)*; p 33-43.

**RIN-Texel 1987.** Effecten van kokkelvisserij in de Waddenzee. *RIN-rapport 87/18*.

**Rijkswaterstaat, Werkgroep Waterbeheer Westerschelde 1989.** De ecologische ontwikkeling van de Westerschelde Deelrapport 2: Microverontreinigingen. *Dienst Getijdewateren & Directie Zeeland*.

**Seip, P. & R. Brand 1987.** Inventarisatie van macrozoobenthos in de Voordelta. *NIOZ-rapport 1987-1*.

**Seys, J. & P. Meire 1988.** Macro-zoöbenthos van het Veerse Meer. Synthese van de bestaande gegevens en studie naar de mogelijke effecten van verschillende peil- en waterkwaliteits-beheersalternatieven op de verspreiding van het benthos in het Veerse Meer. *Rapport R.U.G.*; 58 p.

**Steur, C. & J. Seys 1989.** Ecologisch profiel bodemdieren. *Rijkswaterstaat, Dienst Getijdewateren, Den Haag*

**Thompson, J.K. & F.H. Nichols 1988.** Food availability controls seasonal cycle of growth in *Macoma balthica* (L.) in San Francisco Bay, California. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 116; p 43-61.

**Tydeman, P. & H.L. Kleef 1981.** Kwalitatieve bemonstering van de bodemfauna in de Westerschelde ter hoogte van het Verdrongen Land van Saeftinge. *RIZA rapport Bi-Mv 81.07*.

**Vermeulen, Y. 1980.** Studie van het makrobenthos van het Westerschelde-estuarium. *Licentiaatsverhandeling R.U. Gent*.

**Vincent, B. & D. Joly & M. Harvey 1994.** Spatial variation in growth of the bivalve *Macoma balthica* (L.) on a tidal flat: effects of environmental factors and intraspecific competition. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 181; p 223-238.

**Vlas, J. de 1973.** Migratie via getijstroom van jonge nonnetjes *Macoma balthica* (L.), op en rond het Balgzand. *NIOZ-rapport 1979-15*.

**Vlas, J. de 1982.** De effecten van de kokkelvisserij op de bodemfauna van de Waddenzee en Oosterschelde. *RIN-rapport 82/19*.

**Vlas, J. de & J. van den Bergs 1993.** De invloed van baggerspeciéstortingen op het ecosysteem van het Eems-Dollard estuarium. *Directie Natuur, Bos, Landschap en Fauna / Rijkswaterstaat Directie Groningen, Nota: GRAN 1993-2006*.

**Watzin, M.C. 1986.** Larval settlement into marine soft sediment systems: interactions with the meiofauna. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, Vol. 98; p 65-113.

**Weeber, I.J. 1980.** Samenstelling en verspreiding van het macrozoobenthos in de Grevelingen voor de afsluiting van de Noordzee. I. De periode 1960-1963. *DIHO Rapp. & Versl. nr. 1980-5*; 75 p.

- Wolff, W.J. 1973.** The estuary as a habitat, an analysis of data on the soft-bottom macrofauna of the estuarine area of the rivers Rhine, Meuse and Scheldt. *Zool. Verh. Leiden* 126; p.1-242.
- Yeo, R.K. & M.J. Risk 1979.** Intertidal catastrophes: effect of storms and hurricanes on intertidal benthos of the Minas Basin, Bay of Fundy. *J. Fish. Res. Board Can.* 36; p. 667-669.
- Ysebaert, T. & P. Meire & D. Maes & J. Buijs 1993.** The benthic macrofauna along the estuarine gradient of the Schelde estuary. *Neth. J. of Aquat. Ecol* 27(2- 4); p 327-341.
- Ziegelmeier, E. 1978.** Macrobenthos investigations in the eastern part of the German Bight from 1950 to 1974. *Rapp. P. v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 172; p. 432-444.
- Zoest, R. van & G.T.M. van Eck 1993.** Behaviour of selected PCBs, PAHs and  $\gamma$ -HCH in the Scheldt estuary, S.W. Netherlands. *Neth. J. of Aquat. Ecol.* 27(2- 4); p 301-308.
- Zwarts, L. 1991.** Seasonal variation in body weight of the bivalves *Macoma balthica*, *Scrobicularia plana*, *Mya arenaria* and *Cerastoderma edule* in the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 28(3); p 231-245.
- Zwarts, L. & J.H. Wanink 1989.** Siphon size and burying depth in deposit- and suspension-feeding benthic bivalves. *Marine Biology* 100; p 227- 240.
- Zwarts, L. & J.H. Wanink 1993.** How the food supply harvestable by waders in the Wadden Sea depends on the variation in energy density, body weight, biomass, burying depth and behaviour of tidal-flat invertebrates. *Neth. J. Sea Res.* 31(4); p 441-476.
- Zwolsman, J.J.G. & G.T.M. van Eck 1993.** Dissolved and particulate trace metal geochemistry in the Scheldt Estuary, S.W. Netherlands (watercolumn and sediments). *Neth. J. of Aquat. Ecol.* 27(2- 4); p 287-300.