

---

# Bioturbatie door het benthos in het Markermeer

---



P.F.M. Verdonschot

**Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research**

Maart 2020

**Auteurs**

P.F.M. Verdonschot (*correspondentie: piet.verdonschot@wur.nl*)

**Opdrachtgever**

Ruurd Noordhuis (Deltares)

**Projectgroep**

Geen

**Wijze van citeren**

Verdonschot P.F.M. (2020) Bioturbatie door het benthos in het Markermeer. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 26 pp.

**Trefwoorden**

Benthos, Markermeer, bioturbatie potentieel index, biogene mengdiepte, biomassa

**Beeldmateriaal**

P. Verdonschot

DOI: 10.18174/581221

*Dit project is uitgevoerd in opdracht van Deltares.*

© 2020 Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research

- Overname, vereenvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, vereenvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, vereenvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

**Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research**

Wageningen, maart 2020



# Inhoud

1	Inleiding en doel	2
1.1	Achtergrond	2
1.2	Doelen en producten	2
2	Werkwijze	3
2.1	Beschikbare gegevens	3
3	Resultaten	6
3.1	Totale aantallen en biomassa	6
3.2	Trofische groepen	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.3	Functionele voedingsgroepen	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.4	Voedselgroepen	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4	Conclusies	10
	Literatuur	12
	Referentielijst	13
	Gewicht	13
	Trofie	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	Bijlagen	17
	Bijlage 1: Trofische groepen	17
	Bijlage 2: Functionele voedingsgroepen	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
	Bijlage 3: Voedselgroepen	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

# 1 Inleiding en doel

## 1.1 Achtergrond

Het Markermeer is een sterk veranderd meer en vormt onderdeel van het IJsselmeergebied. De afgelopen decennia stond het meer onder grote menselijke druk door lozingen van onder andere nutriënten en gifstoffen en door de intensieve binnenvisserij. Tegelijkertijd ontwikkelde het Markermeer zich tot een belangrijke internationale broed- en rustplaats voor veel (migrerende) vogels. De hoge voedselrijkdom verliep parallel aan de hoge vogeldichtheid. De laatste jaren echter veranderde de vogelsamenstelling en -dichtheid, onder andere voor meerdere vogelsoorten met een instandhoudingsdoel volgens de Natura2000 (N2000) regelgeving. Daarom worden de laatste jaren verschillende maatregelen genomen om het Markermeer voor deze vogelsoorten weer aantrekkelijker te maken, onder andere met de aanleg van de Markerwadden, visserijbeperkingen, oeverontwikkelingen langs de Houtribdijk en de aanleg van vooroevers.

Het Markermeer was sinds de afsluiting van het IJsselmeer een ondiep meer (gemiddelde diepte 3.6m), met tot de helft van de tachtiger jaren van de vorige eeuw een toenemende mate van eutrofiëring. In de laatste decennia werd de toevoer van nutriënten echter beperkt, vooral door het saneren van de RWZI lozing uit Amsterdam, met als mogelijk gevolg een afname van biomassa en dus ook een vermindering van de hoeveelheid voedsel voor andere dieren (van Riel et al. 2017) en planten, vooral algen. Daarnaast was en is het Markermeer troebel, in de eutrofiëringsfase mede door algenbloeien en steeds ook door opwervelend, zogenaamd fluffy, slib. Dit fijne slib is mede een gevolg van de mariene kleibodem van het meer en de processen die zich in de bovenste laag van de bodem afspelen. Een belangrijk actor in deze processen is het benthos, de macroinvertebraten die de bodem omwerken. Hierdoor wordt de bodem lossier, kan zuurstof in de bodem indringen en veranderen microbiële, biochemische en chemische processen. Een hoge dichtheid van omwerkers zou mede kunnen bijdragen aan de mate van slibopwoeling en troebelheid. Over de samenstelling van het benthos waren slechts beperkt gegevens beschikbaar (MWTM-monitoring op 9 locaties), noch waren er gegevens over de beschikbare biomassa van het benthos in het Markermeer. Een groter dier heeft meer biomassa en kan meer omwerken. Deze studie heeft als doel een schatting van de bioturbatie door het benthos in het Markermeer.

## 1.2 Doelen en producten

Het hoofddoel van dit project is het bewerken van de data van de extensieve inventarisatie van de benthische macroinvertebraten uitgevoerd in 2016 om een schatting te krijgen van de bijdrage aan de bioturbatie.

## 2 Werkwijze

### 2.1 Beschikbare gegevens

#### **Macroinvertebraten**

In 2016 is een gebied dekkende inventarisatie uitgevoerd naar macroinvertebraten in het Markermeer. Er zijn op 88 locaties (Figuur 1) verspreid over het gehele areaal open water van het Markermeer macroinvertebraten monsters genomen met een Van Veen bodemhapper (bemonsterd oppervlak 460 cm<sup>2</sup>). Op iedere locatie zijn vijf replica monsters genomen. De monsters zijn gezeefd (maaswijdte 500 µm), geconserveerd (formaldehyde 4%) en in het laboratorium uitgewerkt. Voor dit onderzoek zijn drie van de vijf replica's gedetermineerd, waar mogelijk tot soortniveau, en betrokken in de verdere analyses.



**Figuur 1:** De ligging van de monsternamen locaties.

Van het genus *Dreissena* zijn tijdens de monsternamen per monster biovolumes bepaald, die zijn omgerekend naar aantal individuen (formule relatie biovolume – aantal naar bij de Vaate & Jansen 2012).

Voor een uitgebreide analyse van de macrofauna gebaseerd op een serie monsters uit dit onderzoek wordt verwezen naar van Riel et al. (2018).

### **Biomassa**

Oorspronkelijk was het plan om het natte gewicht per taxon per monster te berekenen op basis van de informatie opgenomen in van der Hoek & Verdonchot (1994). Recente literatuur (Magnusson et al. 2003, Llopis-Belenguer et al. 2018) heeft echter aangetoond dat het met geometrische formules, die gebruik maken van de afmetingen van taxa, berekenen van het nat gewicht onnauwkeurig zijn. Daarom is in de literatuur gezocht naar alternatieve conversies van afmetingen van taxa naar drooggewicht. Dergelijk omrekeningen blijken voor veel taxonomische groepen beschikbaar en bruikbaar met de aanname dat het steeds generalisaties betreft die een veel grotere nauwkeurigheid leveren indien dergelijke conversie formules waterlichaam specifiek worden opgesteld.

### **Bioturbatie**

Voor de omwerking van het sediment door macroinvertebraten is de bioturbatie potentieel index (Solan et al. 2004) gebruikt.

$$BP_c = \sum BP_p = A_i * BP_i = B_i^{0.5} * M_i * R_i$$

$BP_i$  = Bioturbatie potentieel van taxon i

$B_i$  = Biomassa van taxon i

$M_i$  = Mobiliteit van taxon i

$R_i$  = Sedimentverplaatsing van taxon i

$A_i$  = Abundantie van taxon i

$BP_p$  = Bioturbatie potentieel van de populatie van taxon i

$BP_c$  = Bioturbatie potentieel van de populatie van taxon i

Deze index maakt gebruik van twee kenmerken van taxa, de mobiliteit en de sedimentverplaatsing (Tabel 1). Om de benodigde zoetwater taxon specifieke informatie over deze kenmerken te verzamelen is literatuurstudie verricht.

Daarnaast kan de bioturbatie potentieel index omgerekend worden naar een biogene mengdiepte (BMD).

**Tabel 1:** Mobiliteit en sedimentverplaatsing (bewerkt naar Solan et al. 2004).

<b>Mobiliteit</b>	<b>Score</b>
Vast kokertje (KO)	1
Sessiel, geen kokertje (SE)	2
Traag bewegend door sediment (TR)	3
Vrij bewegend door sediment (graver) (VB)	4
Vrij bewegend op het sediment (VO)	1

<b>Sedimentverplaatsing</b>	<b>Score</b>
Epifauna (omwoeling op grensvlak water-sediment) (EP)	1
Infauna ondiep <1-2 cm (IN)	2
Kop-laag/kop-hoog voeders (CO)	3
Omwoeler (constant random diffuse deeltjestransport over korte afstand) (BD)	4

**Berekeningen**

Voor de berekeningen is per taxon de geometrie in termen van maximale lengte, breedte en of hoogte gebruikt (naar van der Hoek & Verdonschot 1994) en waar gegevens ontbraken zijn deze aangevuld uit recente taxonomische beschrijvingen van het betreffend taxon.

De afmetingen per taxon zijn met een conversie formule geometrie-drooggewicht gepubliceerd in gerefereerde literatuur (zie referentielijst gewichten), per taxon omgerekend naar maximale biomassa in mg drooggewicht.

Vooraf aan deze berekening zijn de geometrische afmetingen met 0.5 vermenigvuldigd om te corrigeren voor de gemiddelde geometrische afmetingen van een individu uit een populatie.

Vervolgens zijn de aantallen macroinvertebraten per replica omgerekend naar mg drooggewicht.

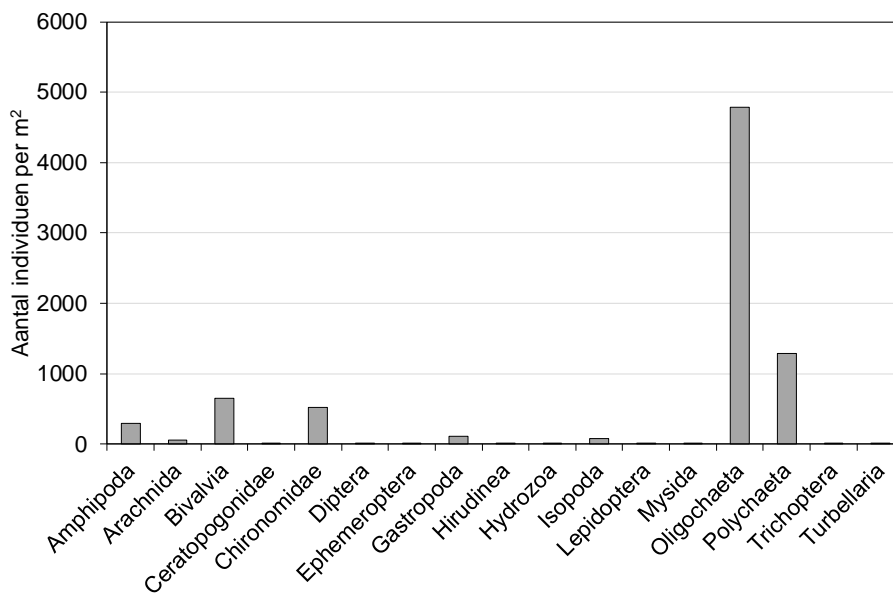
De drooggewichten per taxon zijn opgeteld naar drooggewicht per monster (lees bodemhap 460 cm<sup>2</sup>).



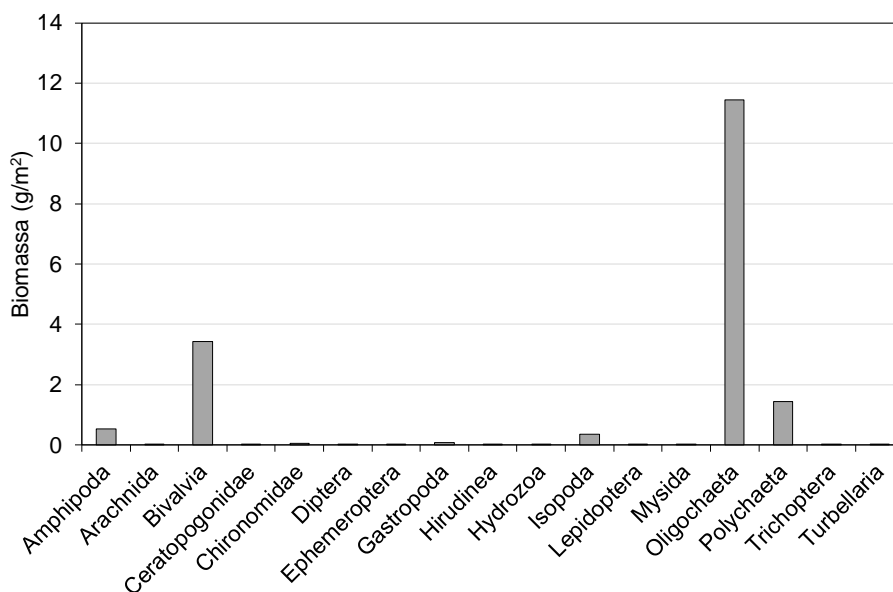
### 3 Resultaten

#### 3.1 Totale aantallen en biomassa

Het aantal individuen ( $\#/m^2$ ) en de gesommeerde biomassa ( $g$  drooggewicht/ $m^2$ ) per taxonomische hoofdgroep, gebaseerd op het gemiddelde over alle monsters, toont de dominantie van de Annelida, waarbij de Oligochaeta veel talrijker en meer biomassa vertegenwoordigen dan de Polychaeta (Figuur 2, 3). Van de wat hogere aantallen en Amphipoda, Chironomidae en Bivalvia bevat vooral de laatste groep een hogere biomassa.



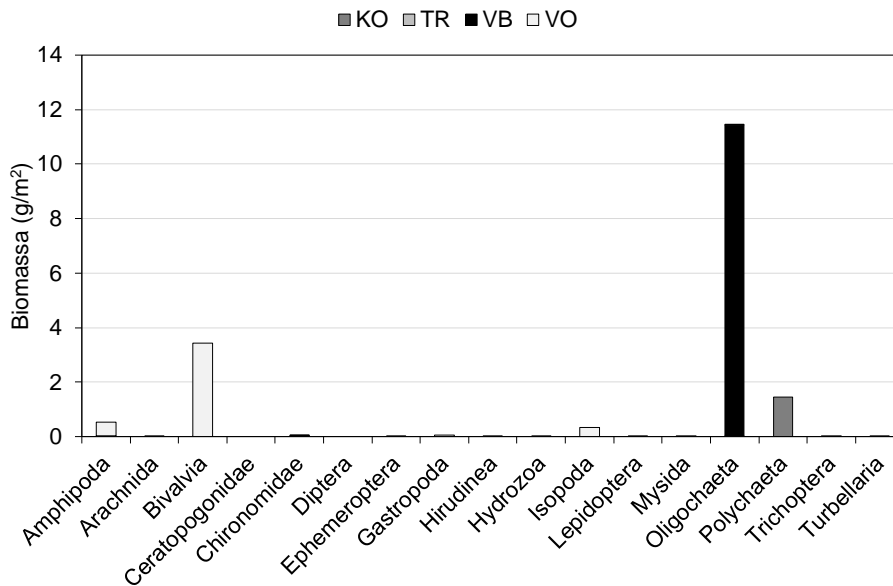
**Figuur 2:** Het gemiddeld aantal individuen per  $m^2$  per taxonomische groep.



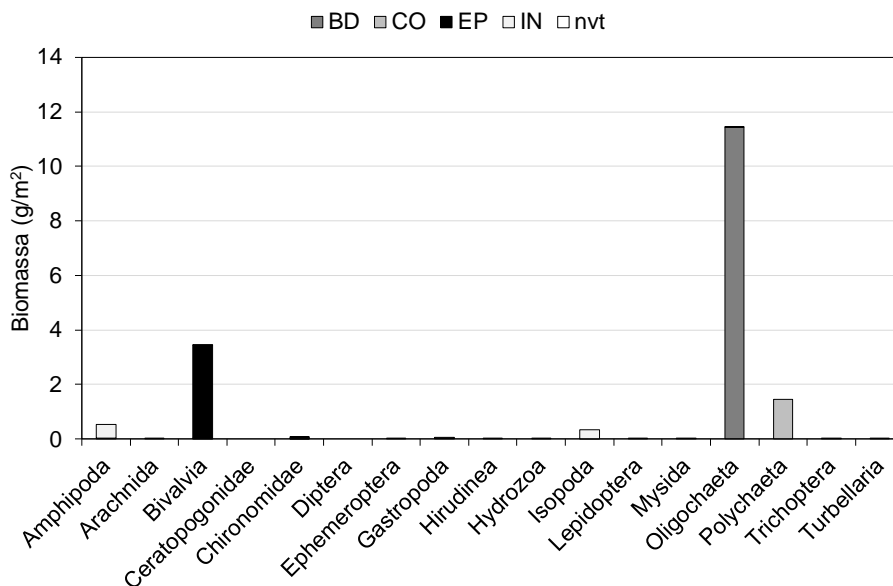
**Figuur 3:** De gemiddelde biomassa ( $g/m^2$ ) per taxonomische hoofdgroep.

### 3.2 Bioturbatie en biogene mengdiepte

Van de aanwezig macroinvertebraten is het grootste aandeel vrij bewegend (Oligochaeta) of traag bewegend (Polychaeta) door het sediment. De Bivalvia, Amphipoda en Isopoda bewegen op het sediment, waarbij de eerste groep verreweg het grootste aandeel inneemt (Figuur 4).



**Figuur 4:** De gemiddelde biomassa ( $g/m^2$ ) per mobiliteitsklasse per taxonomische hoofdgroep (voor verklaring van de codes zie paragraaf 2.1).



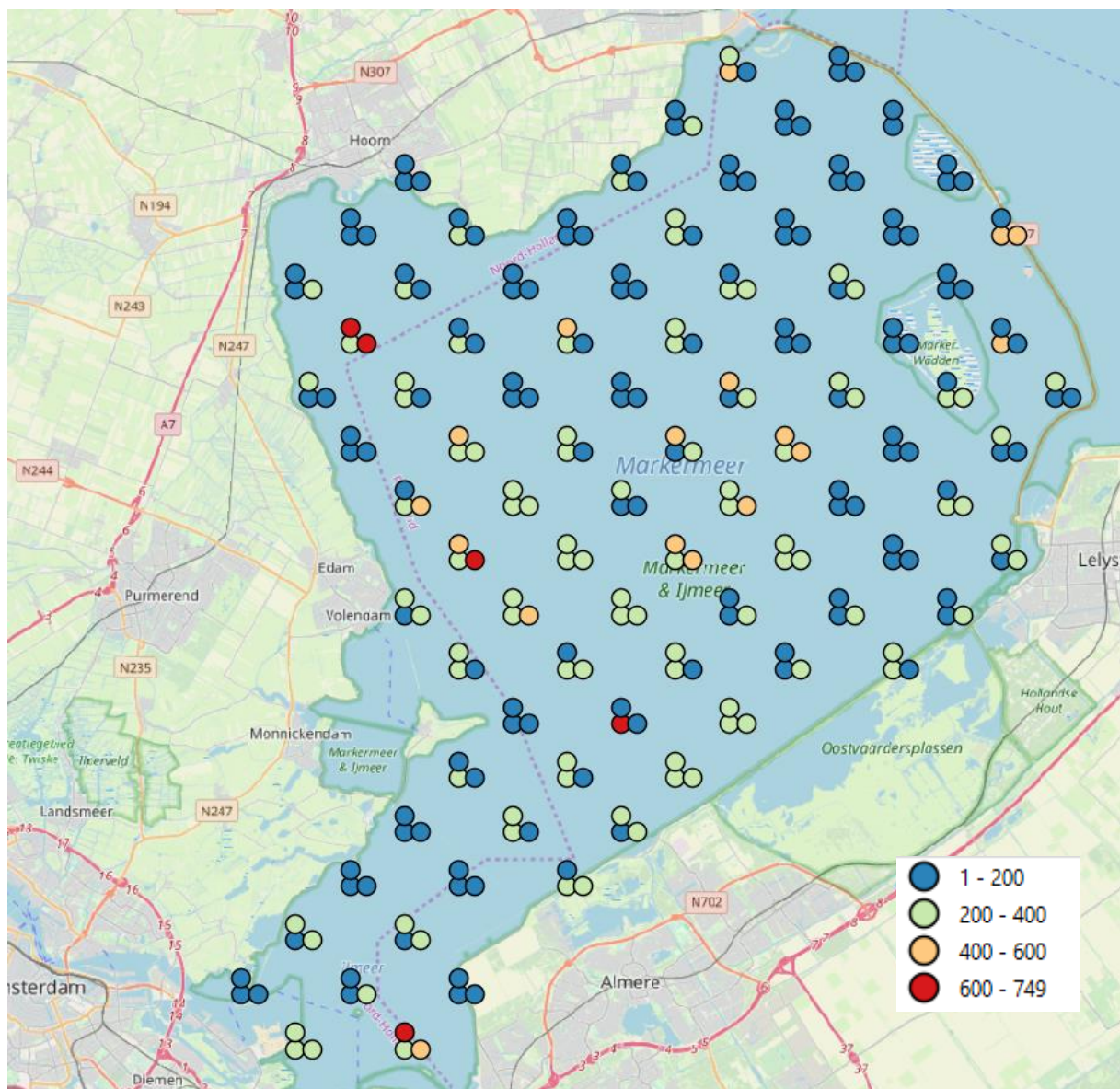
**Figuur 5:** De gemiddelde biomassa ( $g/m^2$ ) per sedimentverplaatsingsklasse per taxonomische hoofdgroep (voor verklaring van de codes zie paragraaf 2.1).

Van de aanwezig macroinvertebraten is het grootste aandeel omwoelers (Oligochaeta) die gangenstelsels in het sediment graven. De Polychaeta behoren tot de kop-laag cq. kop-hoog voeders. De Bivalvia behoren tot de epifauna. De Amphipoda en Isopoda bewegen op het sediment of in de bovenste minder dan 1 tot twee centimeters (Figuur 5).

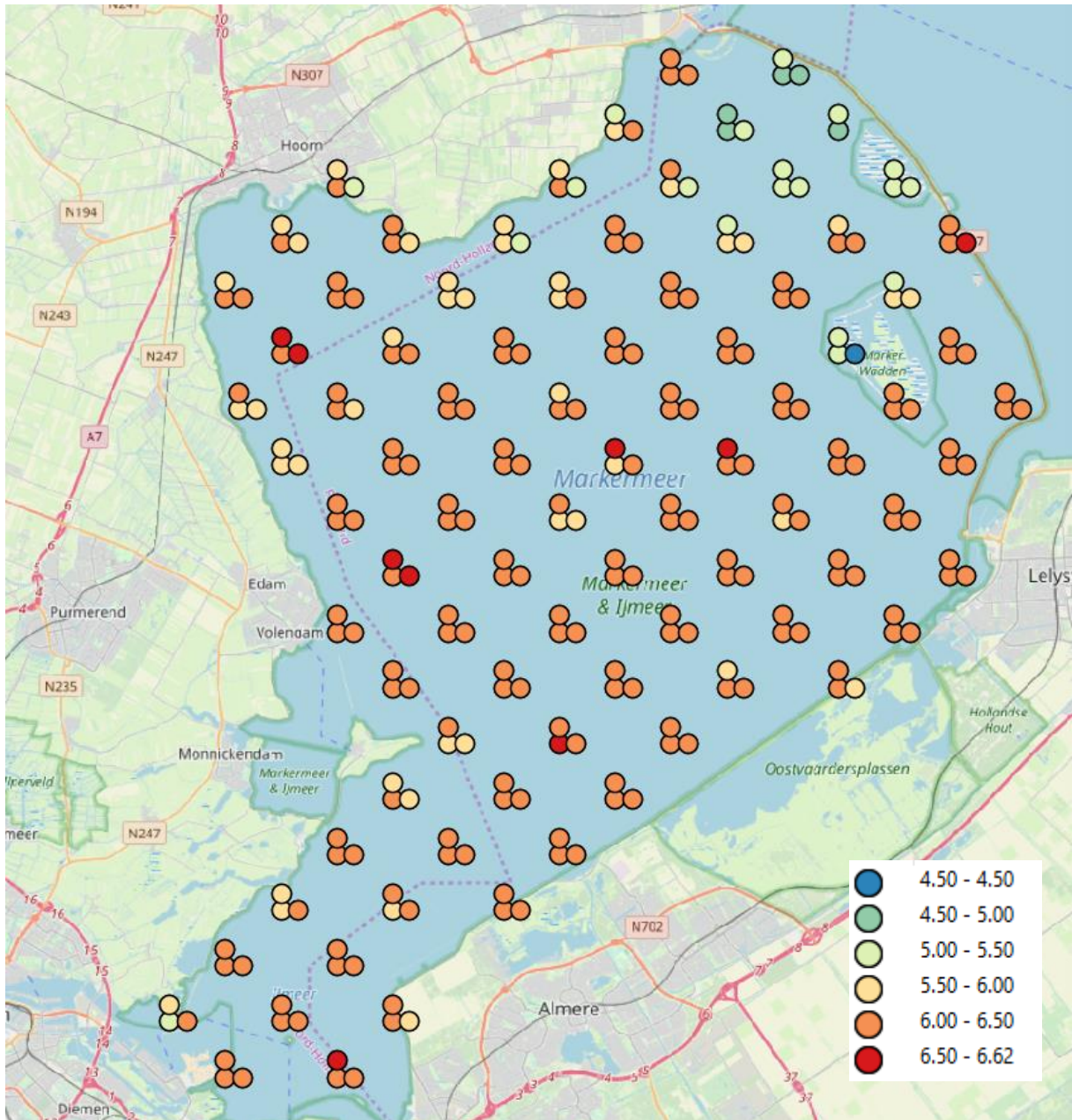
De bioturbatie potentieel index vertoont grote schommeling tussen de locaties (Tabel 2; Figuur 6). De biogene mengdiepte verschilt tussen 4.5 en 6.6 cm (Tabel 2; Figuur 7).

**Tabel 2:** Algemene kenmerken van het bioturbatie potentieel en de biogene mengdiepte.

	Bioturbatie potentieel index	Biogene mengdiepte
Gemiddeld	181.5	6.08
Standaardafwijking	129.5	0.36
Minimum	0.00	4.50
Maximum	670.9	6.62



**Figuur 6:** De bioturbatie potentieel index per monster.

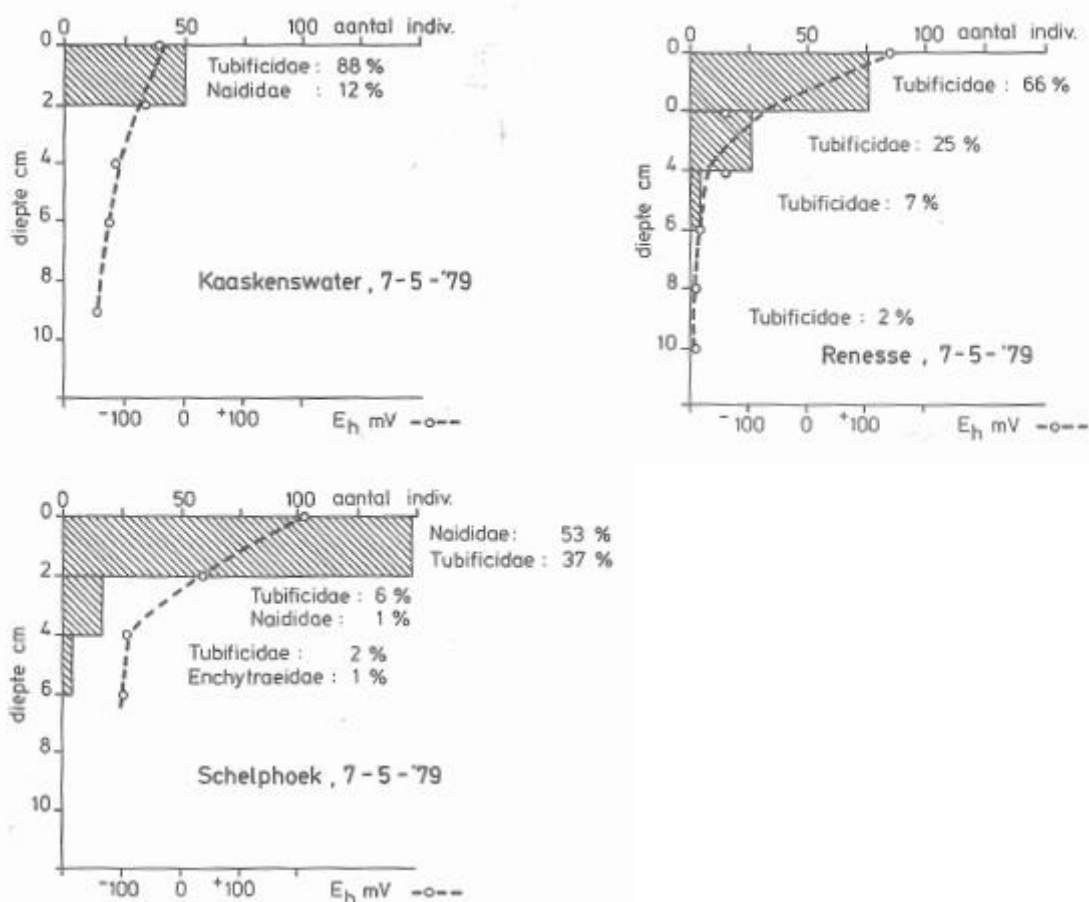


**Figuur 7:** De biogene mengdiepte per monster.

## 4 Discussie en conclusies

De hoogste biomassa wordt ingenomen door de Annelida (vooral de Oligochaeta en in mindere hoeveelheid de Polychaeta). Ten opzichte van de Annelida nemen de Bivalvia maar een zesde van de totale biomassa in. De overige groepen zijn wat biomassa betreft vrij verwaarloosbaar. Dit duidt erop dat de bodem van het Markermeer een vrij scheve verdeling van soorten heeft met enkele soorten die zeer dominant zijn. Een dergelijke verdeling is typisch voor een verstoord ecosysteem.

Het grootste deel van de Annelida leeft in de bodem en woelt die om door het graven van gangetjes tot 5-20 cm diepte steeds. De diepte is echter sterk afhankelijk van de bodemdichtheid en het voedselaanbod. De Annelida hebben daarmee de grootste invloed op de bioturbatie. Op basis van de berekende biogene mengdiepte zou een laag tussen de 4.5 en 6.6 cm omgewoeld worden. Het is echter de vraag of dit ook daadwerkelijk gebeurt. In onderzoek naar de diepteverspreiding van Oligochaeta in Zeeuwse binnenwateren kwam het beeld naar voren dat minstens de helft van de individuen zich ophielen in de bovenste 2 centimeters van het kleisubstraat en slechts een klein deel tot 6 cm verspreidde (Figuur 8; Verdonschot 1980).



**Figuur 8:** Relatie redoxpotentiaal en verticale verspreiding van Tubificidae en Naididae in Enkele Zeeuwse binnenwateren (Verdonschot 1980).

Om vast te stellen hoe de werkelijke diepteverspreiding van Annelida in het Markermeer is dienen steekproefsgewijs steekbuisbemonsteringen te worden uitgevoerd. Daarnaast is het gewenst om drooggewichten van de aanwezige populaties van de dominante taxa te steekproefsgewijs vast te stellen om tot een meer nauwkeurige berekening van de biomassa's te komen.

## Literatuur

- Bij de Vaate A. en E.A. Jansen (2012) Driehoeks- en quaggamosselen in Marker- en IJsselmeer: resultaten van onderzoek uitgevoerd in de periode juni 2009 t/m juni 2012. Waterfauna Hydrobiologisch Adviesbureau, Lelystad, rapportnummer 2012/02.
- Llopis-Belenguer, C., Blasco-Costa, I., & Balbuena, J. A. (2018). Evaluation of three methods for biomass estimation in small invertebrates, using three large disparate parasite species as model organisms. *Scientific reports*, 8(1), 1-9.
- Magnusson, W. E., Lima, A. P., Alves da Silva, W., & Carmozina de Araújo, M. (2003). Use of geometric forms to estimate volume of invertebrates in ecological studies of dietary overlap. *Copeia*, 2003(1), 13-19.
- Solan, M., Cardinale, B. J., Downing, A. L., Engelhardt, K. A., Ruesink, J. L., & Srivastava, D. S. (2004). Extinction and ecosystem function in the marine benthos. *Science*, 306(5699), 1177-1180.
- Van der Hoek, W. F., & Verdonschot, P. F. M. (1994). Functionele karakterisering van aquatische ecotooptypen (No. 072). IBN.
- van Riel M.C., Verdonschot P.F.M & Dekkers D.D. (2018) Markermeer bodemfaunakartering 2016 en MWTL-analyse MWTL data. Notitie Zoetwaterecosystemen, Wageningen Environmental Research, Wageningen UR, Wageningen. 48 pp.
- Verdonschot, P.F.M. (1980): Aquatische Oligochaeta. II. Brakke binnenwateren. DIHO, Yerseke. Rapp. Versl. 1980-11: 1-128.

## Referentielijst

### Gewicht

- Armendáriz, L. C. (2000). Population dynamics of *Stylaria lacustris* (Linnaeus, 1767)(Oligochaeta, Naididae) in Los Talas, Argentina. *Hydrobiologia*, 438(1-3), 217-226.
- Baumgärtner, D., & Rothhaupt, K. O. (2003). Predictive length–dry mass regressions for freshwater invertebrates in a pre-alpine lake littoral. *International Review of Hydrobiology: A Journal Covering all Aspects of Limnology and Marine Biology*, 88(5), 453-463.
- Benke, A. C., Huryn, A. D., Smock, L. A., & Wallace, J. B. (1999). Length-mass relationships for freshwater macroinvertebrates in North America with particular reference to the southeastern United States. *Journal of the North American Benthological Society*, 18(3), 308-343.
- Boates, J. S., & Smith, P. C. (1979). Length-weight relationships, energy content and the effects of predation on *Corophium volutator* (Pallas)(Crustacea: amphipoda). *Proceedings of the Nova Scotian Institute of Science*, 29.
- Bruijs M. C. M., B. Kelleher, G. van der Velde & A. bij de Vaate (2001). Oxygen consumption, temperature and salinity tolerance of the invasive amphipod *Dikerogammarus villosus*: indicators of further dispersal via ballast water transport. *Arch. Hydrobiol*, 152, 633-646.
- Burgherr, P., & Meyer, E. I. (1997). Regression analysis of linear body dimensions vs. dry mass in stream macroinvertebrates. *Archiv für Hydrobiologie*, 139(1), 101-112.
- Cuker, B. E., & Mozley, S. C. (1981). Summer population fluctuations, feeding, and growth of *Hydra* in an arctic lake 1. *Limnology and Oceanography*, 26(4), 697-708.
- Daborn, G. R. (1974). Length–weight allometric relationships in four crustaceans from Alberta lakes and ponds. *Canadian Journal of Zoology*, 52(11), 1303-1310.
- Edwards, F. K., Lauridsen, R. B., Armand, L., Vincent, H. M., & Jones, I. J. (2009). The relationship between length, mass and preservation time for three species of freshwater leeches (Hirudinea). *Fundamental and Applied Limnology/Archiv für Hydrobiologie*, 173(4), 321-327.
- Finogenova, N. P. (1984). Growth of *Stylaria lacustris* (L.) (Oligochaeta, Naididae). *Hydrobiologia*, 115(1), 105-107.
- Finogenova, N. P., & Lobasheva, T. M. (1987). Growth of *Tubifex tubifex* Müller (Oligochaeta, Tubificidae) under various trophic conditions. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie und Hydrographie*, 72(6), 709-726.
- Gibson, R., & Wang, H. (2002). A new genus and species of freshwater monostiliferous hoplonemertean (Nemertea, Enopla) from the People's Republic of China. *Hydrobiologia*, 489(1-3), 185-196.
- Heip, C., & Herman, R. (1979). Production of *Nereis diversicolor* OF Müller (Polychaeta) in a shallow brackish-water pond. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 8(4), 297-305.
- Johnson, M. G., & Brinkhurst, R. O. (1971). Production of benthic macroinvertebrates of Bay of Quinte and Lake Ontario. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, 28(11), 1699-1714.



- Löhlein, B. (1996). Seasonal dynamics of aufwuchs Naididae (Oligochaeta) on *Phragmites australis* in a eutrophic lake. In *Aquatic Oligochaete Biology VI* (pp. 115-123). Springer, Dordrecht.
- Mährlein, M., Pätzig, M., Brauns, M., & Dolman, A. M. (2016). Length-mass relationships for lake macroinvertebrates corrected for back-transformation and preservation effects. *Hydrobiologia*, 768(1), 37-50.
- Mann, K. H. (1957). A study of a population of the leech *Glossiphonia complanata* (L.). *The Journal of Animal Ecology*, 99-111.
- Méthot, G., Hudon, C., Gagnon, P., Pinel-Alloul, B., Armellin, A., & Poirier, A. M. T. (2012). Macroinvertebrate size-mass relationships: how specific should they be?. *Freshwater Science*, 31(3), 750-764.
- Meyer, E. (1989). The relationship between body length parameters and dry mass in running water invertebrates. *Archiv für Hydrobiologie*, 117(2), 191-203.
- Miserendino, M. L. (2001). Length-mass relationships for macroinvertebrates in freshwater environments of Patagonia (Argentina). *Ecología Austral*, 11(01), 003-008.
- Miyasaka, H., Genkai-Kato, M., Miyake, Y., Kishi, D., Katano, I., Doi, H., ... & Kuhara, N. (2008). Relationships between length and weight of freshwater macroinvertebrates in Japan. *Limnology*, 9(1), 75-80.
- Nalepa, T. F. (1989). Estimates of macroinvertebrate biomass in Lake Michigan. *Journal of Great Lakes Research*, 15(3), 437-443.
- Nalepa, T. F., & Quigley, M. A. (1983). Abundance and biomass of the meiobenthos in nearshore Lake Michigan with comparisons to the macrobenthos. *Journal of Great Lakes Research*, 9(4), 530-547.
- Nolte, U. L. R. I. K. E. (1990). Chironomid biomass determination from larval shape. *Freshwater Biology*, 24(3), 443-451.
- Poepperl, R. (1998). Biomass determination of aquatic invertebrates in the Northern German lowland using the relationship between body length and dry mass. *Faunistisch-Ökologische Mitteilungen*, 7, 379-386.
- Rogers, Lee E., W. T. Hinds, and Ray L. Buschbom. "A general weight vs. length relationship for insects." *Annals of the Entomological Society of America* 69.2 (1976): 387-389.
- Rosati, I., Barbone, E., & Basset, A. (2012). Length-mass relationships for transitional water benthic macroinvertebrates in Mediterranean and Black Sea ecosystems. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 113, 231-239.
- Smock, L. A. (1983). Relationships between metal concentrations and organism size in aquatic insects. *Freshwater Biology*, 13(4), 313-321.
- Stoeckmann, A. (2003). Physiological energetics of Lake Erie dreissenid mussels: a basis for the displacement of *Dreissena polymorpha* by *Dreissena bugensis*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 60(2), 126-134.
- Stoffels, R. J., Karbe, S., & Paterson, R. A. (2003). Length-mass models for some common New Zealand littoral-benthic macroinvertebrates, with a note on within-taxon variability in parameter values among published models. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 37(2), 449-460.
- Szalontai, K., & Muskó, I. B. (2003). Oxygen consumption of *Limnomysis benedeni* Czerniavsky, 1882 (Crustacea: Mysidacea), a Pontocaspian species in Lake Balaton, Hungary. *Hydrobiologia*, 506(1-3), 407-411.
- Wozniczka, A., Gromisz, S., & Wolnomiejski, N. (2011). *Hypania invalida* (Grube, 1960), a polychaete species new for the southern Baltic estuarine area: the Szczecin Lagoon and the River Odra mouth. *Aquatic Invasions*, 6(1), 39-46.

- Wrede, A., Beermann, J., Dannheim, J., Gutow, L., & Brey, T. (2018). Organism functional traits and ecosystem supporting services—A novel approach to predict bioirrigation. *Ecological indicators*, 91, 737-743.
- Yanling, L. (1984). Annual production of *Branchiura sowerbyi* (Oligochaeta: Tubificidae) in the Donghu Lake, Wuhan, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2(1), 102-108.

## **Bioturbatie**

- Bishop, M. J., & Hewitt, S. J. (1976). Assemblages of *Pisidium* species (Bivalvia, Sphaeriidae) from localities in eastern England. *Freshwater Biology*, 6(2), 177-182.
- Cook, J. L., & Herrmann, S. J. (1997). New record of *Prostoma graecense* (Nemertea: Hoplonemertea) from southern Colorado, with observations on its feeding behavior and habitat. *The Southwestern Naturalist*, 162-169.
- El Bardicy, S., Tadros, M., Yousif, F., & Hafez, S. (2009). Predatory activity of *Psychoda alternata* Say (Diptera: Psychodidae) larvae on *Biomphalaria glabrata* and *Lymnaea natalensis* snails and the free-living larval stages of *Schistosoma mansoni*. *Australian Bas Appl Sci J*, 3, 4503-4509.
- Franquet, E. (1999). Chironomid assemblage of a Lower-Rhône dike field: relationships between substratum and biodiversity. *Hydrobiologia*, 397, 121-131.
- Funk, A., & Reckendorfer, W. (2008). Environmental heterogeneity and morphological variability in *Pisidium subtruncatum* (Sphaeriidae, Bivalvia). *International Review of Hydrobiology*, 93(2), 188-199.
- Hilsenhoff, W. L. (1966). The biology of *Chironomus plumosus* (Diptera: Chironomidae) in Lake Winnebago, Wisconsin. *Annals of the Entomological Society of America*, 59(3), 465-473.
- Johnson, M. S., & Munger, F. (1930). Observations on excessive abundance of the midge *Chironomus plumosus* at Lake Pepin. *Ecology*, 11(1), 110-126.
- Kajan, R., & Frenzel, P. (1999). The effect of chironomid larvae on production, oxidation and fluxes of methane in a flooded rice soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 28(2), 121-129.
- Keltner, J., & McCafferty, W. P. (1986). Functional morphology of burrowing in the mayflies *Hexagenia limbata* and *Pentagenia vittigera*. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 87(2), 139-162.
- Kurashov, E. A., Barbashova, M. A., & Panov, V. E. (2010). First finding of Ponto-Caspian invasive amphipod *Chelicorophium curvispinum* (GO Sars, 1895) (Amphipoda, Crustacea) in Lake Ladoga. *Russian Journal of Biological Invasions*, 1(4), 282-287.
- Leslie, A. W., & Lamp, W. O. (2017). Taxonomic and functional group composition of macroinvertebrate assemblages in agricultural drainage ditches. *Hydrobiologia*, 787(1), 99-110.
- Matisoff, G., & Wang, X. (1998). Solute transport in sediments by freshwater infaunal bioirrigators. *Limnology and Oceanography*, 43(7), 1487-1499.
- McCall, P.L., and Tevesz, M.J.S. 1982. The effects of benthos on physical properties of freshwater sediments. In *Animal-sediment relations. The biogenic alteration of sediments*. Edited by P.L. McCall and M.J.S. Tevesz. Plenum Press, New York. pp. 105-176.
- Moller-Pillot, H. K. M. (2014). *Chironomidae Larvae, Vol. 3: Orthoclaadiinae: Biology and Ecology of the Aquatic Orthoclaadiinae (Vol. 3)*. Hotei Publishing. Moller-Pillot

- Mollner-Pillot, H. K. M. (2009). *Chironomidae Larvae, Vol. 2: Chironomini: Biology and Ecology of the Chironomini*. Brill.
- Pennak, R. W. (1978). *Freshwater Invertebrates of the United States*. A Willey Interscience Publication. John Willey and Sons. Inc. New York, 462p.
- Soster, F. M. (1984). *Colonization by benthic invertebrates in western Lake Erie following sediment disturbance* (Doctoral dissertation, Case Western Reserve University).
- Vallenduuk, H. J., & Pillot, H. K. M. (2007). *Chironomidae Larvae, Vol. 1: Tanypodinae: General Ecology and Tanypodinae*. Brill.
- Van den Brink, F. W., Van der Velde, G., & Wijnhoven, S. (2013). Seasonal changes in caddis larvae assemblages in river-floodplain habitats along a hydrological connectivity gradient. *Hydrobiologia*, 716(1), 75-85.
- Hölker, F., Vanni, M. J., Kuiper, J. J., Meile, C., Grossart, H. P., Stief, P., ... & Hupfer, M. (2015). Tube-dwelling invertebrates: tiny ecosystem engineers have large effects in lake ecosystems. *Ecological Monographs*, 85(3), 333-351.
- White, D. S., & Miller, M. F. (2008). Benthic invertebrate activity in lakes: linking present and historical bioturbation patterns. *Aquatic Biology*, 2(3), 269-277.
- Kristensen, E., Penha-Lopes, G., Delefosse, M., Valdemarsen, T., Quintana, C. O., & Banta, G. T. (2012). What is bioturbation? The need for a precise definition for fauna in aquatic sciences. *Marine Ecology Progress Series*, 446, 285-302.

## Bijlagen

### Bijlage 1: Bioturbatie potentieel index en biogene mengdiepte.

Locatie	Bioturbatie potentieel index	Biogene mengdiepte
1a	461.7833	6.465731
2a	1.59152	4.695103
3a	97.54982	5.980254
4a	3.119663	4.905263
5a	3.155778	4.908858
6a	115.9705	6.034266
7a	342.154	6.372105
8a	30.20555	5.614182
9a	14.99863	5.395581
10a	8.788968	5.228691
11a	127.6242	6.064166
12a	283.4358	6.313315
13a	48.31932	5.760883
14a	328.3256	6.359223
15a	84.20113	5.934304
16a	130.6053	6.071376
17a	403.3694	6.4235
18a	143.9375	6.101727
19a	297.7764	6.328727
20a	69.96414	5.876465
21a	99.33916	5.98593
22a	222.0518	6.237101
23a	146.7264	6.10772
24a	24.31892	5.546494
25a	362.0681	6.38977
26a	214.082	6.225687
27a	319.47	6.350685
28a	252.7068	6.277482
29a	116.5138	6.035725
30a	5.880116	5.103188
31a	501.5388	6.491519
32a	80.21253	5.91915
33a	282.0481	6.311782
34a	146.0756	6.106331
35a	147.539	6.109444
36a	153.3257	6.121457
37a	185.8741	6.181568
38a	352.699	6.381584
39a	130.3846	6.070848
40a	38.32716	5.688541
41a	264.759	6.29203

<b>Locatie</b>	<b>Bioturbatie potentieel index</b>	<b>Biogene mengdiepte</b>
42a	291.7279	6.322319
43a	50.92006	5.777253
44a	202.6881	6.20861
45a	198.6669	6.202352
46a	142.3768	6.098323
47a	272.9786	6.301576
48a	209.8234	6.219413
49a	102.8935	5.996907
50a	350.5011	6.379632
51a	99.78845	5.987339
52a	201.5642	6.206873
53a	231.2421	6.249764
54a	210.5326	6.220467
55a	212.7024	6.223668
56a	262.0481	6.288816
57a	149.6723	6.113927
58a	143.702	6.101216
59a	155.6899	6.126235
60a	335.4622	6.365938
61a	293.1081	6.323793
62a	174.8536	6.162483
63a	161.9762	6.138595
64a	197.5545	6.200599
65a	279.9297	6.309428
66a	225.3908	6.241761
67a	251.1247	6.27552
68a	122.3057	6.050874
69a	272.162	6.300641
70a	77.42527	5.908107
71a	628.9402	6.5622
72a	302.7989	6.33395
73a	244.1309	6.266701
74a	301.2362	6.332334
75a	253.0078	6.277853
76a	173.9835	6.160925
77a	299.941	6.330989
78a	196.0454	6.198204
79a	54.78069	5.800073
80a	98.46686	5.983176
81a	247.7014	6.271235
82a	122.2411	6.050709
83a	159.0804	6.132962
84a	18.13549	5.454883
85a	133.9707	6.07932
86a	124.128	6.055492

<b>Locatie</b>	<b>Bioturbatie potentieel index</b>	<b>Biogene mengdiepte</b>
87a	386.2192	6.409934
88a	350.3366	6.379485
1b	293.5142	6.324225
2b	11.35401	5.308652
3b	17.77757	5.448658
4b	2.244285	4.802425
5b	10.18447	5.274708
6b	79.96363	5.91818
7b	28.9231	5.600635
8b	105.6078	6.005037
9b	16.66727	5.428521
10b	6.20735	5.1201
11b	71.6333	5.883828
12b	163.9708	6.142417
13b	68.33774	5.869121
14b	231.5444	6.250172
15b	18.2737	5.457253
16b	72.81848	5.888952
17b	116.9126	6.036792
18b	75.611	5.900703
19b	164.2017	6.142857
20b	91.77079	5.961185
21b	78.12686	5.910923
22b	153.9227	6.122671
23b	278.8269	6.308196
24b	15.41596	5.404151
25b	662.3453	6.57836
26b	68.5915	5.870278
27b	437.4311	6.448814
28b	323.2724	6.35438
29b	180.4474	6.172316
30b	5.995529	5.109258
31b	178.7409	6.169349
32b	260.6312	6.287123
33b	283.4918	6.313377
34b	161.1005	6.136903
35b	86.07686	5.941183
36b	489.2664	6.483783
37b	279.8557	6.309346
38b	179.956	6.171465
39b	246.0495	6.269145
40b	32.62024	5.638197
41b	446.8757	6.455484
42b	251.8979	6.27648
43b	523.2867	6.504774

<b>Locatie</b>	<b>Bioturbatie potentieel index</b>	<b>Biogene mengdiepte</b>
44b	573.2723	6.533262
45b	145.7712	6.10568
46b	249.6936	6.273736
47b	140.7029	6.09463
48b	386.4778	6.410143
49b	235.3337	6.255241
50b	311.8438	6.343141
51b	112.2468	6.024075
52b	180.1936	6.171877
53b	544.4444	6.517151
54b	383.6389	6.40784
55b	490.1314	6.484335
56b	283.9956	6.313931
57b	121.9114	6.049866
58b	327.705	6.358632
59b	303.0672	6.334226
60b	366.4188	6.3935
61b	331.3641	6.3621
62b	143.3494	6.100449
63b	130.5047	6.071135
64b	133.8044	6.078932
65b	229.6646	6.247627
66b	199.3875	6.203483
67b	282.1673	6.311914
68b	85.71988	5.939886
69b	247.3022	6.270731
70b	108.6349	6.013862
71b	176.2818	6.165023
72b	354.4941	6.383169
73b	85.77318	5.94008
74b	355.3303	6.383905
75b	262.6544	6.289538
76b	152.1735	6.119102
77b	220.6105	6.235067
78b	345.0719	6.374757
79b	84.00356	5.93357
80b	132.9863	6.077017
81b	171.255	6.15599
82b	233.7828	6.253176
83b	265.3579	6.292735
84b	58.97441	5.823107
85b	197.9786	6.201269
86b	124.3765	6.056117
87b	369.1436	6.395813
88b	708.1417	6.599236

<b>Locatie</b>	<b>Bioturbatie potentieel index</b>	<b>Biogene mengdiepte</b>
1c	118.2977	6.04047
2c	1.100166	4.579809
3c	231.5058	6.25012
4c	4.853412	5.043268
5c	0	0
6c	15.28636	5.401515
7c	17.43967	5.442666
8c	20.00986	5.485594
9c	17.19521	5.438258
10c	10.39956	5.281234
11c	86.8268	5.943892
12c	75.18299	5.89893
13c	20.87752	5.498849
14c	110.8813	6.020253
15c	46.41002	5.748294
16c	160.7643	6.13625
17c	534.7319	6.51153
18c	217.6265	6.230815
19c	134.5246	6.080608
20c	36.06531	5.669547
21c	110.9294	6.020388
22c	242.1647	6.264176
23c	207.8729	6.216497
24c	66.45474	5.860396
25c	643.5326	6.569362
26c	109.2018	6.015487
27c	163.4389	6.141403
28c	108.2959	6.012886
29c	117.501	6.03836
30c	0.843387	4.496814
31c	136.3398	6.084794
32c	25.25591	5.558299
33c	73.53751	5.89202
34c	151.4093	6.11753
35c	192.811	6.19301
36c	270.5386	6.298773
37c	215.6089	6.227906
38c	319.2919	6.350511
39c	194.8979	6.196371
40c	78.623	5.9129
41c	241.1648	6.262884
42c	141.7152	6.096869
43c	201.02	6.206029
44c	493.3865	6.486402
45c	176.9422	6.166191



<b>Locatie</b>	<b>Bioturbatie potentieel index</b>	<b>Biogene mengdiepte</b>
46c	136.6876	6.085589
47c	499.4345	6.490206
48c	390.1965	6.413133
49c	47.27028	5.754029
50c	408.1503	6.42718
51c	190.5018	6.189247
52c	217.4128	6.230508
53c	749.0275	6.616764
54c	224.8858	6.241061
55c	475.2647	6.474717
56c	227.9492	6.245286
57c	143.7902	6.101407
58c	214.1103	6.225728
59c	386.7507	6.410363
60c	497.8641	6.489223
61c	290.8523	6.321381
62c	281.819	6.311529
63c	215.9898	6.228458
64c	211.3298	6.221647
65c	120.1268	6.045261
66c	383.1402	6.407434
67c	187.989	6.185101
68c	227.5703	6.244766
69c	102.3333	5.995202
70c	98.30583	5.982664
71c	191.9056	6.19154
72c	251.4507	6.275926
73c	57.35033	5.814387
74c	173.3361	6.159761
75c	386.5031	6.410163
76c	176.4773	6.165369
77c	173.0853	6.159309
78c	266.3779	6.293933
79c	176.313	6.165078
80c	147.555	6.109478
81c	299.4878	6.330517
82c	220.0511	6.234274
83c	242.6506	6.264802
84c	109.9719	6.017682
85c	255.6831	6.281138
86c	65.03698	5.853662
87c	386.4117	6.410089
88c	453.6641	6.460192

