

## Koksijde Zeelaan - Sedimentanalyse (Mike Creutz)

In kader van onderzoek naar de genese en ontwikkeling van het landschap ter hoogte van het onderzoeksterrein werden op twee locaties aanvullende boringen uitgevoerd (Plan 1). Deze boringen werden mechanisch geplaatst door een Geoprobe® boormachine waarbij de boorstalen genomen werden door middel van steekboringen met liners van 5 cm diameter. Per locatie werden twee boringen geplaatst, waarvan één ter plekke op het veld geopend en beschreven werd (boring 1A en 2A), en de andere gestockeerd in zwart plastic folie voor latere staalname (boring 1B en 2B). Boring 1B werd volledig gebruikt voor OSL dateringen, en boring 2B voor onderzoek op pollen, diatomeeën, foraminiferen, sediment en schelpen **C14**. De bemonsterde dieptes, samen met het staalnummer, doel van de analyse en het volume, zijn weergegeven in Tabel 1. In het algemeen werden stalen voor pollen, diatomeeën, foraminiferen, sediment en schelpen genomen op dieptes tussen 290 en 390 cm beneden maaiveld, met twee extra pollenstalen in horizonten Ap1 en Ap2 op 170 en 270 cm diepte respectievelijk. De verschillende onderzoeken worden hieronder afzonderlijk besproken.

Tabel 1: Lijst met staalnummers.

Staalnummer	Boring	Diepte (cm -mv)	Doel analyse	Volume
M34	2B	170 (Ap1)	pollen	10cc
M35	2B	270 (Ap2)	pollen	10cc
M36	2B	390	pollen	10cc
M37	2B	390	sediment	10cc
M38	2B	390	foraminiferen	10cc
M39	2B	390	diatomeeën	10cc
M40	2B	380	pollen	10cc
M41	2B	380	sediment	10cc
M42	2B	380	foraminiferen	10cc
M43	2B	380	diatomeeën	10cc
M44	2B	370	pollen	10cc
M45	2B	370	sediment	10cc
M46	2B	370	foraminiferen	10cc
M47	2B	370	diatomeeën	10cc
M48	2B	360	pollen	10cc
M49	2B	360	sediment	10cc
M50	2B	360	foraminiferen	10cc
M51	2B	360	diatomeeën	10cc
M52	2B	350	pollen	10cc
M53	2B	350	sediment	10cc
M54	2B	350	foraminiferen	10cc
M55	2B	350	diatomeeën	10cc
M56	2B	340	pollen	10cc
M57	2B	340	sediment	10cc
M58	2B	340	foraminiferen	10cc
M59	2B	340	diatomeeën	10cc
M60	2B	330	pollen	10cc
M61	2B	330	sediment	10cc
M62	2B	330	foraminiferen	10cc
M63	2B	330	diatomeeën	10cc
M64	2B	320	pollen	10cc
M65	2B	320	sediment	10cc
M66	2B	320	foraminiferen	10cc
M67	2B	320	diatomeeën	10cc
M68	2B	310	pollen	10cc
M69	2B	310	sediment	10cc
M70	2B	310	foraminiferen	10cc
M71	2B	310	diatomeeën	10cc
M72	2B	290	pollen	10cc
M73	2B	290	sediment	10cc
M74	2B	290	foraminiferen	10cc
M75	2B	290	diatomeeën	10cc
M76	1B	260	OSL	volledige boring opgestuurd
M77	1B	270	OSL	volledige boring opgestuurd
M78	1B	300	OSL	volledige boring opgestuurd
M79	1B	330	OSL	volledige boring opgestuurd
M80	1B	360	OSL	volledige boring opgestuurd
M81	1B	390	OSL	volledige boring opgestuurd



## Sedimentanalyse

Voor het bepalen van het totale gehalte aan carbonaten, organische stof, en siliciklastisch materiaal, werd de methode van loss-on-ignition (LOI) toegepast volgens de standaardprocedure van Heiri *et al.*<sup>1</sup>. De korrelgrootte-samenstelling van de sedimentmonsters werd geanalyseerd met een Malvern Mastersizer 3000. Alvorens de metingen verricht werden, werden de stalen behandeld met kokend waterstofperoxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; 2 ml, 35%), zoutzuur (HCl; 1 ml, 10%) en natriumhydroxide (NaOH; 1 ml, 0.2 M) voor het verwijderen van organisch materiaal, carbonaten, en biogeen silica, respectievelijk<sup>2</sup>. Daarna werden de stalen gekookt met natrium hexametafosfaat om een volledige deflocculatie van de partikels te verzekeren. De stalen werden in de Mastersizer geplaatst via een Hydro MV module, en de staalhoeveelheid werd aangepast om een laserstraal verduistering tussen de 5% en 20% te bekomen. De resultaten werden verwerkt en geanalyseerd met GRADISTAT 8.0<sup>3</sup>.

De resultaten van de LOI methode en de korrelgrootte analyse bevinden zich in Tabel 2, en zijn grafisch weergegeven in Figuur 1, Figuur 3, en Figuur 2. De resultaten hebben aangetoond dat het grootste deel van de stalen uit zeer slecht gesorteerd zandige silt bestaat (Figuur 1; 15.16 tot 36.48 µm). Enkel het bovenste monster (M73) op 290 cm diepte bestond uit goed gesorteerd medium zand (246.87 µm). Tussen de dieptes van 350 en 390 cm is er een zwakke toename in korrelgrootte, fijn zandige silt domineert hier. Het gehalte aan organische stof schommelt in de stalen tussen de 5 en de 10%, met een verhoogde piek rond de 370 en 380 cm diepte (Figuur 2). Het bovenste zandige monster vertoont slechts een organisch gehalte van 0.77%. Het gehalte aan carbonaten schommelt rond de 15%, met twee pieken van 19.30 en 19.33% bij stalen M37 en M57 op 390 en 340 cm diepte respectievelijk (Figuur 3). Het zandige topstaal kent een carbonaatgehalte van 3.29%.

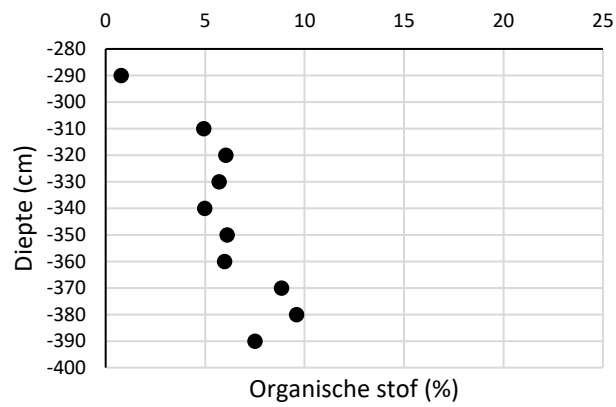
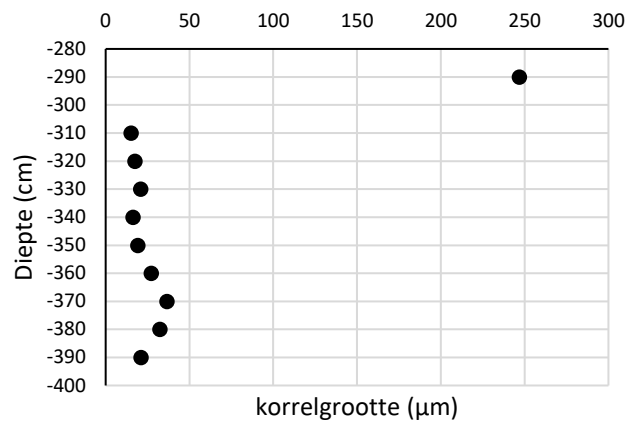
Tabel 2: Resultaten van de LOI- en korrelgrootte-analyse.

Monsternummer	Diepte (cm)	LOI550 (%)	LOI950 (%)	CaCO3 content (%)	Mean GS (geometric, µm)
		Organic matter content	from LOI950 values		
M37	390.00	7.50	8.49	19.30	20.98
M41	380.00	9.59	6.68	15.17	32.33
M45	370.00	8.83	6.15	13.97	36.48
M49	360.00	5.97	6.42	14.60	27.19
M53	350.00	6.09	6.43	14.62	19.17
M57	340.00	4.97	8.50	19.33	16.32
M61	330.00	5.70	7.25	16.47	20.75
M65	320.00	6.04	5.70	12.96	17.35
M69	310.00	4.92	6.22	14.14	15.16
M73	290.00	0.77	1.45	3.29	246.87

<sup>1</sup> Heiri et al. 2001

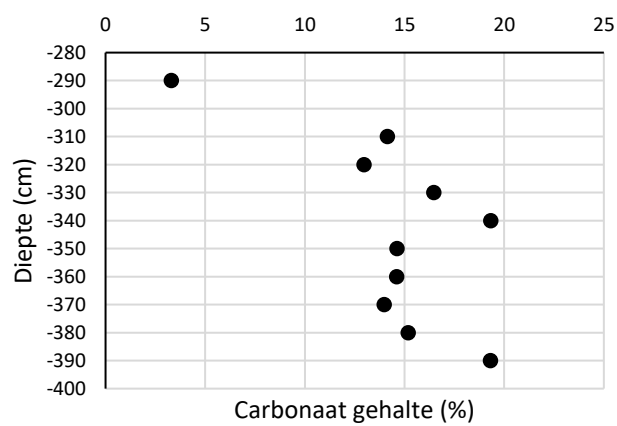
<sup>2</sup> Mulitza et al. 2008

<sup>3</sup> Blott & Pye 2001



*Figuur 1: Verloop van korrelgroottesamenstelling t.o.v. de diepte.*

*Figuur 2: Verloop van organische stof gehalte t.o.v. de diepte.*



*Figuur 3: Verloop van carbonaat gehalte t.o.v. de diepte.*

## Pollen

De pollenbehandeling is uitgevoerd door S. Van Cauwenberghe van de Onderzoeksgroep Paleontologie en Paleo-omgevingen van de Universiteit Gent, volgens de standaardmethode zoals beschreven in Moore *et al.*<sup>4</sup> Om de pollenconcentratie per staal te bepalen is aan elk monster een vast aantal *Lycopodium*-sporen toegevoegd (1 tablet met ongeveer 9.666 sporen per tablet).<sup>5</sup> De analyse van de pollenpreparaten werd uitgevoerd door Mike Creutz met hulp van drs. Annelies Storme. Er is gebruik gemaakt van een doorvallend-lichtmicroscop met een vergrotingen van 10x40. De pollen zijn geteld tot een pollensom van 100 werd bereikt. Enkel pollen van bomen, struiken en kruiden werden opgenomen in de pollensom. Waterplanten en sporenplanten werden eveneens gedetermineerd en geteld, maar droegen niet bij tot de pollensom. Voor de identificatie werd gebruik gemaakt van de determinatiesleutel van Beug.<sup>6</sup> Een tabel met de tellingen van de gevonden pollen en sporen bevindt zich in de bijlagen onder Tabel 3. De resultaten van de analyse worden weergegeven in de vorm van een pollendiagram.

Van de 12 preparaten werden monsternummers 34, 35 en 72 weerhouden wegens een extreem lage concentratie aan pollen (1 tot 8 pollen per preparaat, of 216 tot 3021 pollen per ml; Tabel 3; Tabel 4). Deze drie preparaten hadden een staalnamediepte van respectievelijk 170, 270 en 290 cm beneden maaiveld en bestonden uit medium zand. Monsternummers 34 en 35 kwamen uit een begraven leeflaag (Apb-horizont). De lage concentratie is niet ongewoon aangezien pollen vaak slecht bewaard worden in sterk zandige milieus. Zowel in monsternummer 35 als 72 werden *Glomus* sporen aangetroffen, dewelke een indicator zijn voor erosie. Het pollen in de 9 andere preparaten was goed geconserveerd en concentraties lagen tussen de 23745 en 113655 pollen per ml. Deze preparaten kenden een staalnamediepte tussen 310 en 390 cm, en bestonden voornamelijk uit zandige silt.

In het pollendiagram zijn drie zones waar te nemen (Figuur 7). Zone 1 bevindt zich tussen 390 en 370 cm diepte en toont een evenredig aantal pollen afkomstig van bomen als van kruiden (AP/NAP ca. 50%). Het grootste aandeel aan boompollen is toe te kennen aan els (ca. 15%), eik (ca. 10%), en hazelaar (ca. 10%). Kruidenpollen worden voornamelijk vertegenwoordigd door planten afkomstig van de ganzenvoetfamilie (ca. 30%), en van de grassenfamilie (ca. 20%).

Zone 2 bevindt zich tussen 370 en 330 cm diepte en toont een shift naar een hogere abundantie aan boompollen (AP/NAP ca. 70%). Zowel het aandeel aan pollen van els als eik stijgt (ca. 25% en 15% respectievelijk), hoewel het aandeel aan pollen van hazelaar zwak lijkt te dalen. De abundantie aan boompollen van dennenboom stijgt in deze zone matig (naar ca. 10 %). Pollen van wilg kennen één sterke piek tot ca. 20% op 340 cm diepte. Van de kruidenpollen blijft de ganzenvoetfamilie het sterkst vertegenwoordigt (ca. 20%), gevolgd door de grassen (ca. 8%) en de cypergrassen (ca 5%). In deze zone kennen de waterplanten veenmos en egelskop eveneens een grotere abundantie dan in bovenliggende en onderliggende zone.

Zone 3 ligt tussen 330 en 310 cm diepte en toont voornamelijk een sterke abundantie van de ganzenvoetfamilie (ca. 50-70%, AP/NAP ca. 30%). Els, eik, en hazelaar blijven het sterkst vertegenwoordigt voor de boompollen (respectievelijk ca. 20%, 8%, en 8%). Voor enkele foto's van de gevonden pollensoorten wordt verwezen naar Figuur 6.

---

<sup>4</sup> Moore et al. 1991

<sup>5</sup> Stockmarr 1971.

<sup>6</sup> Beug 2004

Tabel 3: Tellingen van pollen en sporen

Numer	Monsternummer	Diepte	Alnus	Betula	Corylus avellana	Ericaceae	Pinus	Quercus	Salix	Tilia	Castanea cf	Aiaceae	Asteraceae liguliflorae	Asteraceae Asteroideae	Brassicaceae	Chenopodiaceae	Cyperaceae	Filipendula	Poaceae	Equisetum	Monoleet psilaat	Polypodium vulgare	Sphagnum	Glomus	Spore indet.	Sparganium	Dinoflagellate cyste	Lycopodium	Pollen indet.	Pollensom
1	34	170	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	28	10	1
2	35	270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	2	0	1
3	72	290	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	1	0	0	0	0	1	5	0	0	1	187	6	8
4	68	310	13	0	2	1	0	4	2	0	0	2	1	0	0	77	4	1	0	0	4	0	5	0	5	0	1	7	4	107
5	64	320	27	0	7	0	2	3	2	0	0	0	1	0	0	68	3	1	9	0	7	0	7	0	11	0	3	11	6	123
6	60	330	19	0	6	0	4	8	2	1	0	3	3	0	0	50	1	0	6	0	13	0	7	0	30	0	1	17	3	103
7	56	340	34	0	6	0	10	10	21	0	0	3	1	0	1	23	2	0	2	0	47	0	28	0	0	0	7	46	35	113
8	55	350	16	6	13	0	12	23	2	3	2	2	0	0	0	21	6	0	7	0	35	5	23	0	20	0	6	28	15	113
9	48	360	28	0	5	1	11	22	3	2	0	1	1	0	0	16	6	0	4	0	22	0	4	1	0	4	13	31	16	100
10	44	370	32	1	13	3	9	16	4	1	0	0	0	0	0	17	8	0	25	0	17	0	13	0	3	1	3	25	24	129
11	40	380	20	4	23	4	5	17	0	1	0	0	0	2	0	43	2	0	30	2	22	0	14	0	0	1	2	24	16	151
12	36	390	15	6	11	7	6	20	0	0	0	1	3	0	0	43	11	0	19	0	24	0	5	0	2	0	7	18	8	142

Tabel 4: Gegevens en resultaten van de absolute abundancies

Numer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Monsternummer	34	35	72	68	64	60	56	55	48	44	40	36
Diepte	170	270	290	310	320	330	340	350	360	370	380	390
# getelde pollen	1	1	8	107	123	103	113	113	100	129	151	142
# Lycopodium-sporen	9666	9666	9666	9666	9666	9666	9666	9666	9666	9666	9666	9666
# ml sediment	1,6	1,6	1,0	1,3	1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,3	1,0	2,0
# getelde Lycopodium-sporen	28	2	187	7	11	17	46	28	31	25	24	18
# pollen per ml	216	3021	414	113655	108083	53241	23745	32508	31181	38367	60815	38127



Figuur 4: Foto's van pollen en sporen. Van links naar rechts en van boven naar onder: Alnus, Quercus, Corylus, Salix, Pinus, Chenopodiaceae, Poaceae, Lycopodium.

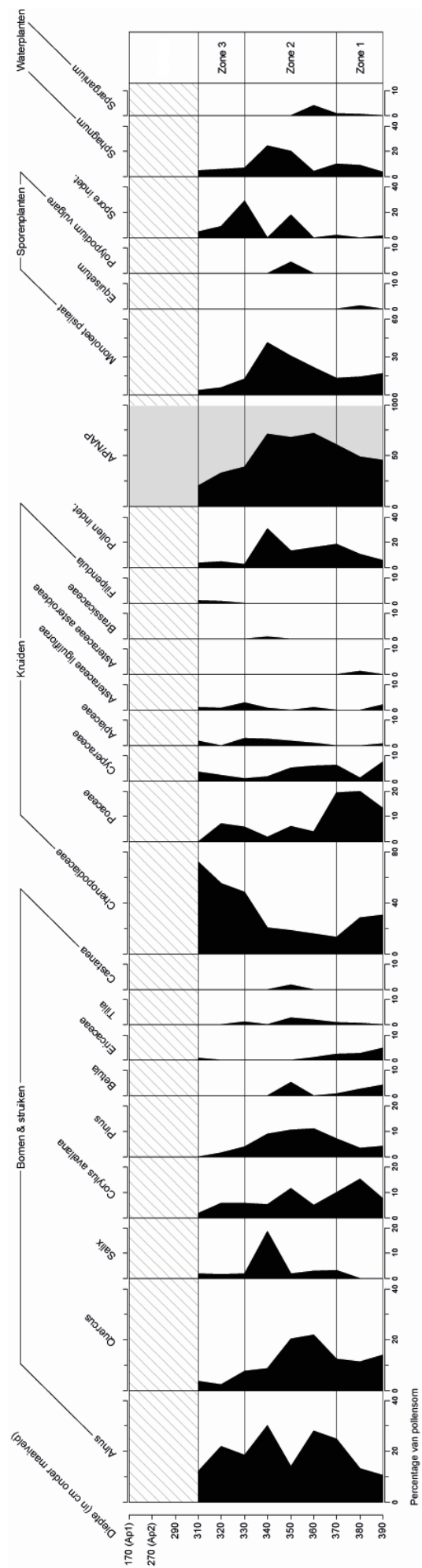
De pollenassemblage toont een lokaal landschappelijke situatie gekenmerkt door een natte bosrijke omgeving met open plekken, waarin els, eik, en hazelaar de meest voorkomende bomen zijn<sup>7</sup>. Het open karakter is te achterhalen door het abundant voorkomen van pollen van de ganzenvoetfamilie, dewelke hiervoor kenmerkend zijn. Deze pollensoort wijst naast open plekken eveneens op mogelijk drooggevallen zandige kreken of hogere schorren<sup>8</sup>. De 3 zones weergegeven op het pollendiagram geven een overgang weer van een meer open vlakte waarin mogelijk kreken voorkomen (zone 1, ganzenvoet domineert assemblage) naar een meer bosrijke omgeving met een open karakter (zone 2, ganzenvoet dominantie daalt en boompollen zijn meer abundant), naar opnieuw een meer open vlakte (zone 3, ganzenvoet domineert opnieuw assemblage). In zone 2 kwamen meer waterplanten voor, duidend op een lokaal natter milieu. De algemene pollenassemblage komt best overeen met een pollenzone III, vanwege het abundant voorkomen van els, eik, en hazelaar<sup>9</sup>. Pollenzone III stemt overeen met een ouderdom van het Atlanticum, of (8000 tot 5000 BP). Uit de zandige leeflagen en uit het onderliggend zandig pakket zijn geen interpreteerbare resultaten voortgekomen in de pollenanalyse, wegens vermoedelijk slechte bewaring van het pollen in zand.

---

<sup>7</sup> SynBioSys Nederland 3.3.3

<sup>8</sup> soortenbank.nl

<sup>9</sup> Berendsen, H.J.A. 2000



Figuur 5: Pollendiagram



## Diatomeeën

De stalen voor de analyse van diatomeeën werden behandeld volgens Demey *et al.*<sup>10</sup> Allereerst werd een behandeling uitgevoerd met waterstofperoxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) en zoutzuur (HCl) voor het verwijderen van organisch materiaal en carbonaten, respectievelijk. Grof zand werd tijdens het afgieten achtergelaten. Indien aanwezig werd een deel van de klei afgegoten door flocculatie na behandeling met een ammoniakoplossing. Het residu werd nadien ingebed in Naphrax en gemonteerd op een draagglaasje. De analyse van de diatomeeënpreparaten werd uitgevoerd door Mike Creutz met hulp van drs. Annelies Storme. Er is gebruik gemaakt van een doorvallend-lichtmicroscop met een vergrotingen van 10x100. De preparaten zijn gedetermineerd en geteld tot een som van 100 schaaltes.<sup>11,12</sup> Enkel duidelijk identificeerbare schaaltes werden geteld.

Staal M75 (diepte 290 cm) was sterk fysisch verweerd, waardoor er slechts zeer weinig diatomeeënschaaltes aanwezig waren in het staal. De soortensamenstelling in dit staal gaf een vertekend beeld over de overheersende milieuomstandigheden. Daarom zal er gefocust worden op de resultaten van de andere stalen. De overige geprepareerde monsters bevatten voldoende schaaltes voor analyse. In totaal werden er 23 taxa beschreven (Tabel 5). In de ondiepe stalen (310-320 cm) werd de soortenassemblage gedomineerd door *Diploneis didyma*, *Paralia sulcata* en/of *Pseudopodosira westii*. In de diepste stalen (380-390 cm) werd een relatief groot aantal van *Cymatosira belgica* en *Delphineis minutissima* gevonden. Twee geslachten *Amphora* en *Nitzschia* konden niet gedetermineerd worden tot op soort niveau. Gezien de sterke variatie in milieueisen van de soorten onder deze twee geslachten konden *Amphora* en *Nitzschia* niet gelinkt worden aan éénduidige ecologische kenmerken.

Voor de milieu-indicatoren van de verschillende soorten diatomeeën werd gebruikt gemaakt van een lijst van ecologische kenmerken voor diatomeeën uit holocene afzettingen in de westelijke Belgische kustvlakte, opgesteld door Denys.<sup>13</sup> Voor enkele foto's van de gevonden diatomeeënsorten wordt verwezen naar Figuur 8.

---

<sup>10</sup> Demey et al. 2013

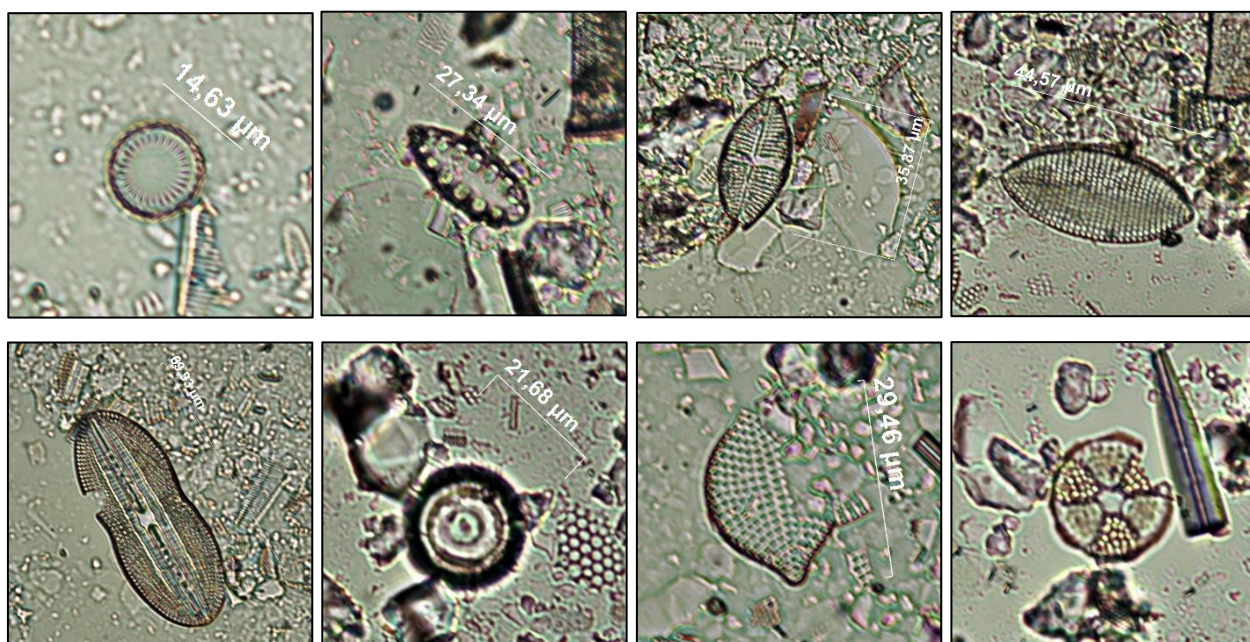
<sup>11</sup> Krammer & Lange-Bertalot 2008

<sup>12</sup> Witkowski & Lange-Bertalot 2000

<sup>13</sup> Denys 1991

Tabel 5: Resultaten van de diatomeeëntellingen, voorgesteld als percentages.

Monsternummer	M75	M71	M67	M63	M59	M55	M51	M47	M43	M39
Diepte (in cm)	290	310	320	330	340	350	360	370	380	390
<i>Actinoptychus senarius</i>	-	6.9	-	0.7	0.8	-	-	-	-	0.9
<i>Actinoptychus splendens</i>	-	1.5	0.6	-	-	-	-	-	-	-
<i>Amphora sp1</i>	-	-	0.6	0.7	-	-	-	-	-	-
<i>Aulacodiscus argus</i>	10	2.3	-	-	-	-	0.8	2.5	1.4	-
<i>Caloneis westii</i>	-	-	0.6	2.8	3.8	3.3	2.5	2.5	2.1	8.8
<i>Cyclotella striata</i>	10	0.8	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cymatosira belgica</i>	-	5.3	3.1	2.1	20.6	26.2	16.4	26.9	28.7	22.1
<i>Delphineis minutissima</i>	-	0.8	5	10.6	3.1	2.5	1.6	7.6	15.4	37.2
<i>Delphineis surirella</i>	-	3.1	12.5	7.7	13	17.2	16.4	21.8	13.3	14.2
<i>Diploneis didyma</i>	-	0.8	15.6	9.2	0.8	4.9	7.4	1.7	2.1	3.5
<i>Lemnolica hungarica</i>	-	-	3.8	0.7	-	0.8	-	-	-	-
<i>Nitzschia</i>	-	-	2.5	1.4	3.1	0.8	0.8	-	0.7	-
<i>Opephora martyi</i>	-	-	-	3.5	-	-	-	-	-	-
<i>Paralia sulcata</i>	10	26.7	25.6	23.9	26.7	21.3	24.6	22.7	16.1	6.2
<i>Plagiogramma staurophorum</i>	-	-	-	2.1	-	-	-	0.8	-	-
<i>Podosira stelligera</i>	-	2.3	1.3	-	-	-	0.8	2.5	-	0.9
<i>Pseudopodosira westii</i>	50	29	3.1	1.4	0.8	2.5	2.5	0.8	-	-
<i>Raphoneis amphiceros</i>	-	2.3	3.1	9.2	13.7	6.6	7.4	4.2	8.4	-
<i>Scoliopleura brunkeiensis</i>	-	-	-	-	0.8	-	-	-	0.7	-
<i>Thalassiosira decipiens</i>	10	2.3	-	0.7	1.5	1.6	3.3	1.7	2.8	1.8
<i>Triceratium favus</i>	-	1.5	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tryblionella compressa</i>	10	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-
<i>Tryblionella navicularis</i>	-	3.1	5.6	9.2	2.3	3.3	2.5	-	-	-
indet.	-	11.5	16.9	14.1	9.2	9	13.1	4.2	7.7	4.4
<b>Totaal geteld</b>	<b>10</b>	<b>131</b>	<b>160</b>	<b>142</b>	<b>131</b>	<b>122</b>	<b>122</b>	<b>119</b>	<b>143</b>	<b>113</b>
<b>Aantal taxa</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>12</b>	<b>9</b>

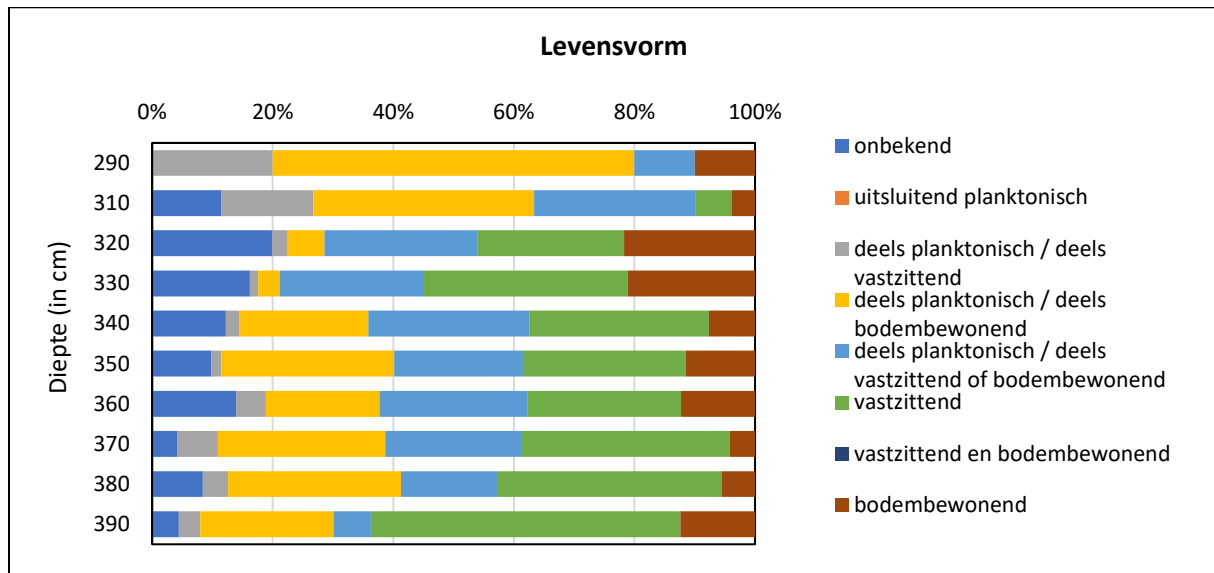


Figuur 6: Foto's van diatomeeën. Van links naar rechts en van boven naar onder: *Paralia sulcata*, *Opephora sp.*, *Diploneis didyma*, *Lemnicola Tryblionella compressa*, *Pseudopodosira westii*, *Raphoneis amphiceros*, *Actinoptychus senarius*

- Levensvorm (Figuur 1)

Er werden geen strikt planktonische soorten geobserveerd. In alle monsters waren bodembewonende (benthische) en vastzittende (epontische) soorten aanwezig, maar ook soorten die deels in de waterkolom, op de bodem of vastzittend leven werden prominent gevonden op alle dieptes. Toch werden er verschillen in aandelen van bepaalde levensvormen gezien. Zo bleek dat het aandeel in vastzittende soorten sterk daalde vanaf 380 cm beneden het maaiveld, het aandeel bleef relatief

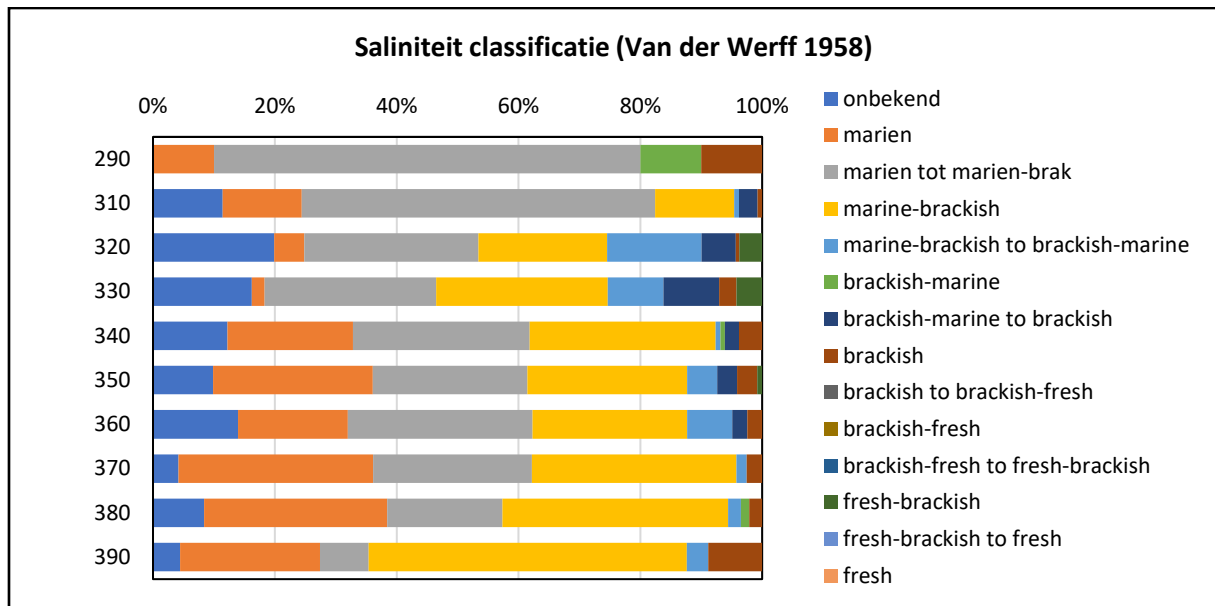
stabiel van 380 t/m 320 cm diepte en nam vervolgens sterk af op 310 cm diepte. Een omgekeerde trend werd gezien voor deels planktonisch en deels vastzittend of bodembewonende soorten. Hier nam hun aandeel sterk af op een diepte van 390 en 310 cm. Bodembewonende soorten waren in grootste aantallen gezien op 330 en 320 cm diepte. Op 310 cm beneden het maaiveld werd het kleinste aandeel in bodembewonende en vastzittende soorten aangetroffen. Planktonische levensvorm overheerste op deze laatste diepte.



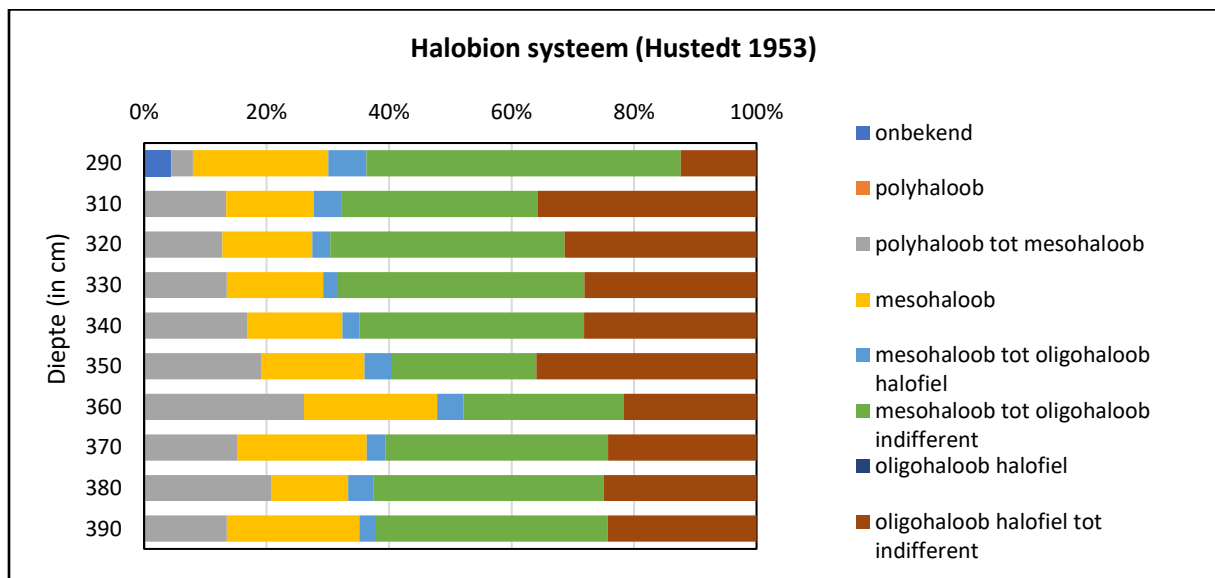
Figuur 7 : Frequentieverdeling voor de verschillende levensvormen van diatomeeën.

- Saliniteit (Figuur 2; Figuur 3)

Er werden twee saliniteit classificatie systemen (Van Der Werff 1958; Hustedt 1953) toegepast op de diatomeeën assemblages. Volgens de Van Der Werff classificatie systeem waren zoetwater en brakwater-zoetwater soorten afwezig in alle monsterstalen. Zoetwater-brakwater, brakwater en marien-brakwater tot brakwater-mariene soorten hadden een beduidend grotere aandeel ter hoogte van 320 en 310 cm diepte. In de overige dieptes waren soorten die in (eerder) mariene omstandigheden leefden overwegend aanwezig. In het halobion systeem (Hustedt 1953) werd tussen 310 en 350 cm diepte een grotere aanwezigheid van oligohaloob halofiele diatomeeën (optimum bij een zoutgehalte < 0,2‰, maar ook in licht brakke omstandigheden levend) aangetoond. Deze diatomeeën met zoeter karakter waren relatief minder aanwezig op grotere diepte. Op deze laatste dieptes (tussen 360 en 390 diepte) domineerden meer de polyhalobe (marien) tot/of mesohalobe (brakwater) soorten.



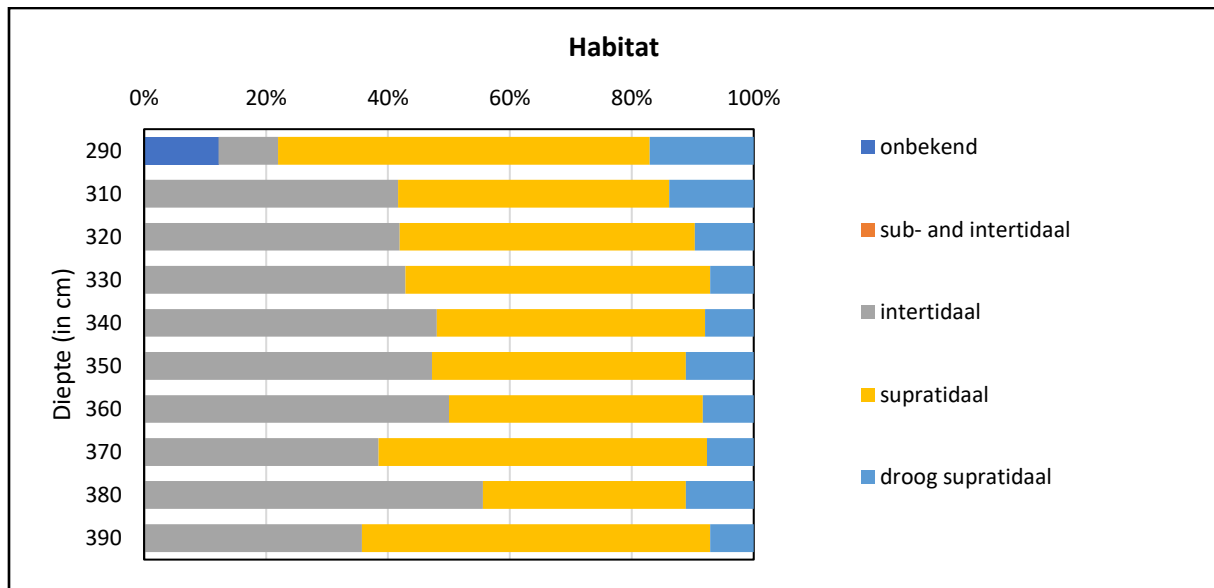
*Figuur 8 : Frequentieverdeling voor de saliniteitsklassen van diatomeeën volgens Van Der Werff (1958).*



*Figuur 9 : Frequentieverdeling voor de saliniteitsklassen van diatomeeën volgens Hustedt (1953).*

- Habitat (Figuur 4)

Soorten die in droog supratidale, supratidale en interdale zones leven, zijn goed vertegenwoordigd in alle monsters.



Figuur 10 : Frequentieverdeling volgens habitatype van diatomeeën.

De resultaten van het diatomeeënonderzoek toonden aan dat tussen 390 en 310 cm diepte, van onder naar boven, een regressie plaatsvond. Opmerkelijk werd op 310 en 320 cm diepte een overwegend bentisch milieu geïnterpreteerd. Op deze dieptes werden namelijk diatomeeën soorten geobserveerd die leefden onder eerder bodembewonende en vastzittende omstandigheden en die eerder brakwatermilieu tolereerden. De sedimenten op grotere dieptes werden afgezet in een zouter milieu. Hier domineerden eerder planktonische diatomeeën.

#### Foraminiferen en schelpen

De stalen voor de analyse van foraminiferen en schelpen werden als volgt behandeld. De klei- en siltfractie werden uit de stalen verwijderd door het nat zeven met een maaswijdte van 63 µm. Deze procedure werd bij verschillende monsters herhaald wegens de overvloedige aanwezigheid van kleideeltjes. Organisch materiaal werd verwijderd door de monsters te laten reageren met een warme oplossing van 3% waterstofperoxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Het resterende sediment werd bekeken onder een opvallend licht microscoop met variabele vergroting door Alexander Comeyne. De foraminifera werden geïdentificeerd met behulp van verschillende referentiewerken.<sup>14,15,16,17,18,19</sup>

De waargenomen soorten staan weergegeven in Tabel 6. Aangezien er kwantitatief weinig foraminifera aanwezig waren in de stalen werd vooral geconcentreerd op het identificeren van de aanwezige soorten. In twee van de tien stalen werden geen foraminifera aangetroffen. Dit waren staal M38 bovenaan de bemonsterde kolom en staal 74 onderaan de kolom. Bij staal 38 werden wel nog andere microfossielen zoals radiolaria waargenomen terwijl dit bij staal 74 niet het geval was. Sommige testa van de foraminifera in staal 70 vertoonden sporen van oplossing. Voor enkele foto's van de

<sup>14</sup> Cushman 1918

<sup>15</sup> Cushman 1949

<sup>16</sup> Alve & Murray 1994

<sup>17</sup> Darling et al. 2016

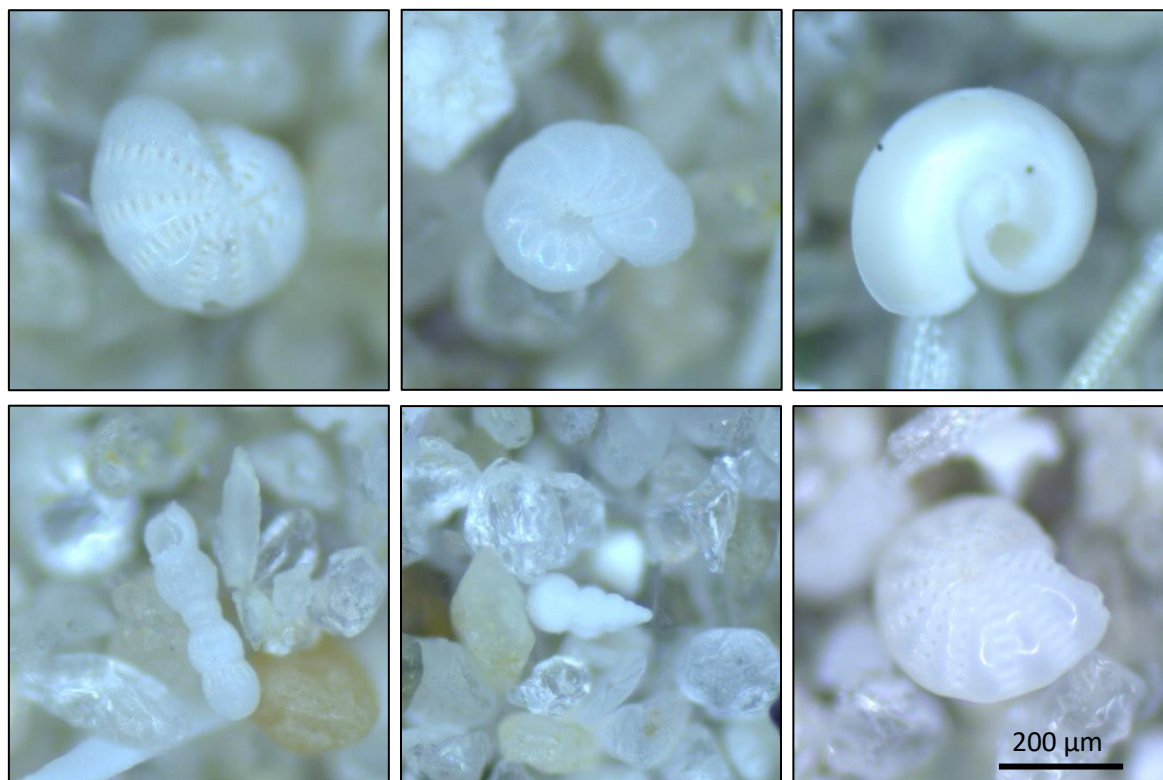
<sup>18</sup> WoRMS 2019

<sup>19</sup> The Foraminifera.eu Project 2019

gevonden foraminiferensoorten wordt verwezen naar Figuur 13. Er werden geen schelpen of restanten van schelpen aangetroffen in de geprepareerde stalen.

Tabel 6: Foraminifera soorten aanwezig in de stalen

Monsternummer	Diepte (cm)	<i>Elphidium excavatum</i>	<i>Elphidium williamsoni</i>	<i>Elphidium incertum</i>	<i>Haynesina germanica</i>	<i>Bolivina variabilis</i>	<i>Cornuspira involens</i>	<i>Rotalia beccarii</i>	<i>Ammonia beccarii</i>	<i>Trochammina inflata</i>	<i>Nodosaria aspera</i>	<i>Nodosaria sp.</i>	<i>Melonis sp.</i>	Hoeveelheid forams
M74	290	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	geen
M70	310	X	-	-	X	-	-	-	X	-	-	-	-	matig veel
M66	320	X	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	X	matig veel
M62	330	X	-	-	X	-	-	X	-	X	-	X	-	veel
M58	340	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	veel
M54	350	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	weinig
M50	360	X	X	-	X	X	-	X	X	-	X	-	-	veel
M46	370	X	-	-	X	-	-	X	X	-	-	-	-	matig veel
M42	380	X	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	veel
M38	390	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	geen



Figuur 11: Een selectie van foto's van gevonden soorten Foraminifera. Van links naar rechts en van boven naar onder: *Elphidium excavatum*, *Haynesina germanica*, *Cornuspira involens*, *Nodosaria sp.*, *Bolivina variabilis*, *Elphidium williamsoni*. De schaalbalk rechts onderaan is van toepassing voor alle afbeeldingen.

De aanwezige foraminifera-assemblage bestond vrijwel uitsluitend uit bentische soorten. De aanwezig soorten zijn karakteristiek voor een intertidaal afzettingsmilieu. Deze wordt gekenmerkt



door de dominantie van een beperkt aantal soorten met een gelijkaardige bouw, met name soorten uit de genera *Elphidium*, *Haynesina* en *Ammonia* (Langer et al. 1989). De morfologie is zeer gelijkaardig en vrijwel steeds planispiraal of trochospiraal.

Twee soorten kwamen in alle stalen met foraminifera voor: *Elphidium excavatum* en *Haynesina germanica*. De habitat van de eerste soort gaat van een getijdevlakte tot een getijdegeul, van de tweede van een getijdevlakte tot een middenhoog-moeras (Armynot Du Chatelet et al. 2018). De andere aanwezige soorten overlappen grotendeels met deze afzettingsomgeving met het zwaartepunt bij een getijdevlakte of een getijdengeul. De aanwezigheid van de verschillende soorten en de ruwe inschatting van hun aantallen geven een mogelijke trend weer. Aan de bovenkant en onderkant van de kolom lijkt het aandeel van het taxon *Elphidium* wat te verminderen met een maximum aandeel in het midden bij een diepte van 330-340 cm. Dit valt samen met een toename in carbonaat en organisch materiaal en een kleinere korrelgrootte.

Zeldzame exemplaren van andere soorten zijn ook aangetroffen. In staal M70 werd een fragment van een planktonische soort aangetroffen. In verschillende stalen werden ook oudere soorten aangetroffen. In staal M50 zat een exemplaar van *Nodoseria aspera*. Deze soort kwam voor tijdens het Krijt. Ook een andere soort van de *Nodoseria* kwam voor in staal 62 maar kon niet nader gedetermineerd worden. Mogelijke ouderdommen lopen van het Neogeen tot het Krijt. Deze aanwezigheid van oudere fossiele foraminifera is al langer gekend aan de Belgische kust door de relatief dichte aanwezigheid van gesteenten uit deze oudere tijdperken (Cushman 1949).

Over de relatie tussen de foraminifera assemblage en de korrelgrootte en de hoeveelheid organisch materiaal lopen de meningen uiteen. In een studie van Delaine et al. 2015 worden enerzijds voorbeelden aangehaald waar er geen verband aangetroffen werd tussen de korrelgrootte, de hoeveelheid organisch materiaal en de foraminifera assemblage. In andere studies waren deze factoren echter limiterend voor de foraminifera assemblage. In de studie zelf werd gesteld dat zowel het aantal als de diversiteit van de foraminifera laag werd in de grovere sedimenten. Dit werd verklaard door de redenering dat deze afzettingsomgevingen met een hoge energie minder organisch materiaal laten neerslaan en dus minder geschikt zijn voor het gedijen van foraminifera. Ook hier werden in het zandigere monster M74 geen foraminifera gevonden.

In een studie van Sadough et al. 2013 werd er vermeld dat de abundantie van bentische foraminifera toeneemt wanneer er meer silt en kleideeltjes aanwezig zijn in het sediment. Ook de aanwezigheid van carbonaat en organisch materiaal had een positieve invloed op het aantal foraminifera. Er werd ook gesteld dat dit gelinkt kon worden met de voorkeur van een zeer dominante soort voor een bepaalde omgeving. In het algemeen werd er ook vermeld dat de soortenrijkdom toeneemt met de diepte. Monster 74 bevatte inderdaad het minste organisch materiaal en carbonaat van de geanalyseerde stalen en geen foraminifera.

## OSL

De techniek van OSL (Optically Stimulated Luminescence) meet wanneer mineralen in een sedimentkolom het laatst blootgesteld werden aan zonlicht of verhitting. De boorkernen van boring 1B werden gebruikt voor OSL dateringen, waarvan enkel de kernen van 200 tot 300 en van 300 tot 400 cm beneden maaiveld werden geselecteerd. Bij deze kernen werden 6 locaties aangeduid voor OSL dateringen tussen 260 en 390 cm beneden maaiveld. De twee kernen werden in zijn geheel opgestuurd naar het Institute of Physics, Silesian University of Technology, waar de sampling en dateringen werden uitgevoerd onder leiding van prof. dr. hab. Inz. A. Bluszcz. De dateringen zijn uitgevoerd op

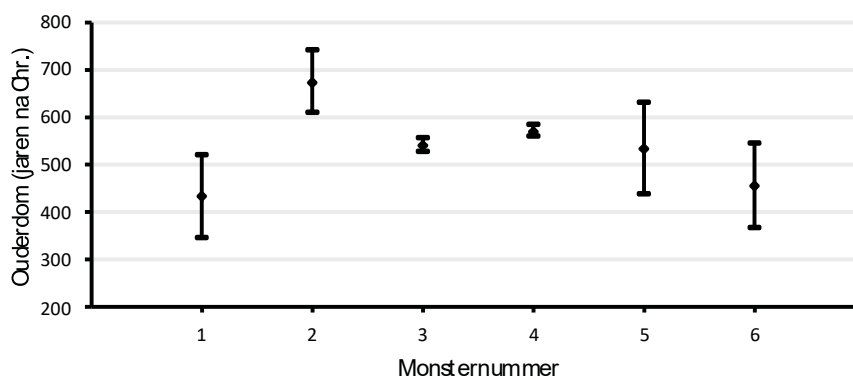
kwartskorrels met een grootte van 90-125  $\mu\text{m}$ . Deze werden fysisch (via zeef) en chemisch (d.m.v.  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{HCl}$ , en  $\text{HF}$ ) gescheiden van de rest van het monster.

De dateringsresultaten, samen met de bemonsterde dieptes zijn weergegeven in Tabel 1 en Figuur 12. De dieptes in deze tabel zijn niet langer overeenkomstig met de bemonsterde dieptes in kern 1B, maar zijn geëxtrapoleerd naar de dieptes van boorkern 2B, zodoende een correctere vergelijking te kunnen maken tussen de resultaten. De totale standaard onzekerheden zijn weergegeven tussen haakjes in de tabel, en als foutmarge in de grafiek. De totale ouderdom van alle stalen ligt tussen 345 tot 739 na Chr. De bekomen ouderdommen van monster 3 en 4 waren het meest nauwkeurig en kenden slechts een standaard onzekerheid van 14 en 11 jaar respectievelijk. Van de zes stalen steekt monster Koksijde 1 uit in de lijst. Dit is het monster dat het meest recent afgezet is en toch de oudste ouderdom heeft. Monster Koksijde 1 bestaat uit medium zand en monsters Koksijde 2 tot en met 6 uit zandige silt. De resultaten doen vermoeden dat dit zand afkomstig is van oudere afzettingen, maar vervolgens herwerkt en afgezet is bovenop het siltig zand.

Tabel 7: Resultaten van de OSL analyses.

Monster	Lab code	Diepte (cm)	Geschat vochtgehalte (%)	Equivalent dose (Gy)	Dose rate (Gy/ka)	OSL ouderdom (jaren voor 1950)	Ouderdom (jaren na Chr.)
Koksijde 1	GdTL-3331	290	25(5)	2.536(87)	1.598(67)	1518(87)	432(87)
Koksijde 2	GdTL-3332	310	25(5)	2.779(68)	2.065(86)	1277(66)	673(66)
Koksijde 3	GdTL-3333	330	40(10)	3.01(21)	2.04(11)	1410(14)	540(14)
Koksijde 4	GdTL-3334	350	40(10)	2.56(13)	1.763(94)	1380(11)	570(11)
Koksijde 5	GdTL-3335	370	20(5)	1.635(76)	1.099(48)	1419(96)	531(96)
Koksijde 6	GdTL-3336	390	20(5)	1.55(57)	0.994(44)	1495(90)	455(90)

Totale standaard onzekerheden zijn weergegeven tussen haakjes.



Figuur 12: Grafiek met de ouderdommen van de afzonderlijke monsters, weergegeven in jaren na Chr., met hun standaard onzekerheden.

## Besluit

Op basis van de resultaten van het natuurwetenschappelijk onderzoek zijn twee afzettingmilieus waar te nemen tussen de onderzochte dieptes van 290 tot 390 cm beneden maaiveld. Een eerste pakket is te vinden rechtstreeks **onder de diepst gelegen leeflaag (Ap2 op 265-275 cm beneden maaiveld)** en is 25 cm dik (275-300 cm beneden maaiveld). Dit pakket bestaat uit goed gesorteerd medium zand met zo goed als geen organische stof (0.77%) en met zeer weinig carbonaat (3.29%). Uit het pollen-, diatomeën-, en foraminiferenonderzoek zijn geen bruikbare data voortgekomen voor dit zandige pakket wegens een gebrek aan (micro)fossielen. Dit gebrek, samen met het lage organische



stofgehalte, duidt op een hoogenergetische milieu waarin organismen moeilijk in kunnen gedijen of waarin hun stoffelijke resten moeilijk worden afgezet en bewaard. De OSL dateringsresultaten tonen een ouderdom van 432 ( $\pm 87$ ) jaren na Chr. Aangezien deze ouderdom jonger is dan alle resultaten van onderliggende pakketten, kan gesteld worden dat dit een ouder herwerkt zandpakket is dat vermoedelijk afgezet is in een korte tijdsperiode.

**Het tweede afzettingspakket is te vinden vanaf 300 cm beneden maaiveld** en bestaat uit slecht gesorteerd zandige silt met 5-10% organische stof en  $\pm 15\%$  carbonaat. Het pakket heeft een ouderdom gaande van 365 jaar na Chr. aan de onderzijde tot 739 jaar na Chr. aan de bovengrens, net onder het zandige pakket. De aanwezige microfossielen zijn voornamelijk bentisch van aard, en duiden op een brak tot marien intertidaal afzettingmilieu. In dit pakket werden voldoende pollen waargenomen om een constructie te maken van de lokale landschappelijke situatie. Het lokale landschap werd gekenmerkt door een natte bosrijke omgeving met open plekken waarin mogelijk krekken voorkomen. Es, eik, en hazelaar zijn de meest voorkomende bomen, en de ganzenvoetfamilie domineert de kruiden. Volgens de resultaten komt de pollenassemblage het best overeen met Pollenzone III, die een ouderdom heeft van het Atlanticum (8000 tot 5000 BP). Maar de OSL resultaten geven een ouderdom van 365 tot 739 na Chr., ofwel een ouderdom dat chronostratigrafisch behoort tot het Subatlanticum. Hierin overheersen eik en hazelaar, samen met cultuurplanten. Het grote aandeel aan Els pollen aangetoefen in de stalen kan verklaard worden door een lokale grotere concentratie aan elzenbomen. Cultuurplanten, en daarmee gepaard gaande antropogene invloed, waren mogelijks wel aanwezig in het landschap. Determinatie tot op soortniveau was echter onmogelijk, waardoor deze stelling moeilijk te bevestigen is. Korenbloem (*Centaurea cyanus*) behoort tot de familie van de *Asteraceae*, en rogge (*Secale cereale*) tot de familie van de *Poaceae*. Beide families werden terug gevonden tot zelfs abundant terug gevonden, waardoor de aanwezigheid van deze cultuurplanten niet kan uitgesloten worden.

## Bibliografie

- Alve, E. & Murray, J., 1994. Ecology and taphonomy of benthic foraminifera in a temperate mesotidal inlet. *The Journal of Foraminiferal Research*, 24(1), pp.18–27.
- Armynot Du Chatelet, E. et al., 2018. Benthic foraminifera in transitional environments in the English Channel and the southern North Sea: A proxy for regional-scale environmental and paleo-environmental characterisations. *Marine Environmental Research*, 137, pp.37–48.
- Berendsen, H.J.A., 2000. *Landschappelijk Nederland. Fysische geografie van Nederland.*, Assen: Van Gorcum.
- Beug, H.J., 2004. *Leitfaden der pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende gebiete.*, München.
- Blott, S.J. & Pye, K., 2001. GRADISTAT: A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26, pp.1237–1248.
- Cushman, J., 1949. *Recent Belgian Foraminifera* Volume 111., Brussel: Institut royal des sciences naturelles de Belgique.
- Cushman, J., 1918. *The Foraminifera of the Atlantic Ocean (Vol.1-8)*, Forgotten Books.
- Darling, K. et al., 2016. The genetic diversity, phylogeography and morphology of Elphidiidae (Foraminifera) in the Northeast Atlantic. *Marine Micropaleontology*, 120, pp.1–23.
- Delaine, M. et al., 2015. Multiproxy approach for Holocene paleoenvironmental reconstructions from microorganisms (testate amoebae and foraminifera) and sediment analyses: The infilling of the

- Loire Valley in Nantes (France). *The Holocene*, 25(3), pp.407–420.
- Demey, D. et al., 2013. Een dijk en een woonplatform uit de Romeinse periode in Stene (Oostende). *Relicta*, 10, pp.7–70.
- Denys, L., 1991. *A check-list of the diatoms in the Holocene deposits of the Western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. I. Introduction, ecological code and complete list.*, Brussel.
- Heiri, O., Lotter, A.F. & Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results. *Journal of Paleolimnology*, 25(1), pp.101–110.
- Hustedt, F., 1953. Die Systematik der Diatomeen in ihren Beziehungen zur Geologie und Ökologie nebst einer Revision des Halobien-systems. *Sv. Bot. Tidskr.*, 47, pp.509–519.
- Krammer, K. & Lange-Bertalot, H., 2008. *Die Süßwasserflora von Mitteleuropa 2. Teil 1–4.*, München: Springer Spektrum.
- Langer, M., Hottinger, L. & Huber, B., 1989. Functional Morphology in Low-Diverse Benthic Foraminiferal Assemblages from Tidal-Flats of the North Sea. *Senckenbergiana maritima*, 20(3/4), pp.81–99.
- Moore, P.D., Webb, J.A. & Collinson, M.E., 1991. *Pollen analysis* 2nd editio., Oxford: Blackwell Scientific Publications.
- Mulitza, S. et al., 2008. Sahel megadroughts triggered by glacial slowdowns of Atlantic meridional overturning. *Paleoceanography*, 23(PA206).
- Sadough, M. et al., 2013. Identification and Abundance of Benthic Foraminifera in the Sediments from Fereidoonkenar to Babolsar of Southern Caspian Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13, pp.79–86.
- The Foraminifera.eu Project, 2019. The Foraminifera.eu Project.
- Van Der Werff, A., 1958. L'importance de la recherche sur les diatomées pour la paleobotanique. *Bull. Soc. Bot. Nord France*, 11, pp.94–97.
- Witkowski, A. & Lange-Bertalot, H., 2000. *Diatom Flora of Marine Coasts I. Iconographia Diatomologica* 7, Königstein: A.R.G. Gantner Verlag K.G.
- WoRMS, 2019. World Register of Marine Species.