

TU Delft

Duurzaamheid van Elastocoast

Eindrapportage Bachelor Eindwerk

Tim van Cuyck
1353845
20-6-2011



Voorwoord

Voor u ligt de eindrapportage van het Bachelor Eindwerk met als onderwerp de duurzaamheid van Elastocoast.

In dit onderzoek zou oorspronkelijk gekeken worden naar de veroudering en vermoeiing van Elastocoast. Hiervoor zou een serie proeven worden uitgevoerd in het Stevinlab van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen aan de TU Delft. Helaas bleek het door omstandigheden niet mogelijk om de proeven uit te voeren. Daarom is in het vervolg van dit Bachelor-eindwerk een aantal bestaande Elastocoast toepassingen bezocht en is gekeken naar de zichtbare veroudering van deze bestaande Elastocoast dijkbekledingen.

Dit eindwerk wordt begeleidt door:

Ir. H.J. Verhagen (Sectie Waterbouwkunde)

Ir. M.F.C. van de Ven (Sectie Weg- en Railbouwkunde)

Inhoudsopgave

VOORWOORD	- 1 -
INHOUDSOPGAVE	- 2 -
1 INLEIDING	- 3 -
1.1 ONTWIKKELING	- 3 -
2 SAMENVATTING	- 4 -
3 PROBLEEMSTELLING	- 5 -
3.1 ONDERZOEKSVRAAG.....	- 5 -
4 OPZET VAN DE PROEVEN	- 6 -
4.1 KEUZE VOOR INDIRECTE TREKPROEF	- 6 -
4.2 TESTOPSTELLING.....	- 7 -
4.3 MATERIALEN	- 8 -
4.3.1 Bovengronds verouderd materiaal.....	- 8 -
4.3.2 Ondergronds verouderd materiaal.....	- 9 -
4.3.3 Nieuw Elastocoast	- 9 -
4.4 UITVOERING VAN DE PROEVEN	- 9 -
5 NIEUW PLAN VAN AANPAK.....	- 11 -
6 LOCATIES	- 12 -
6.1 GETIJ.....	- 13 -
6.2 WAARNEMINGEN PETTEN	- 13 -
6.2.1 Schade	- 14 -
6.2.2 Flora en Fauna.....	- 14 -
6.3 WAARNEMINGEN ZUIDBOUT	- 15 -
6.3.1 Schade	- 15 -
6.3.2 Flora en Fauna.....	- 17 -
6.4 WAARNEMINGEN BATH	- 18 -
6.4.1 Schade	- 19 -
6.4.2 Flora en Fauna.....	- 21 -
7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	- 22 -
7.1 SCHADE	- 22 -
7.2 FLORA EN FAUNA.....	- 22 -
8 BRONNENLIJST	- 23 -
BIJLAGE 1: BEREKENINGEN BIJ DE INDIRECTE TREKPROEF	- 24 -
1.1 SPANNINGSVERDELING BIJ INDIRECTE TREKPROEF	- 24 -
1.2 SPANNINGSVERDELING BIJ VIERPUNTSBUIGPROEF	- 27 -
1.3 VERGELIJKING TUSSEN VIERPUNTSBUIGING EN INDIRECTE TREK.....	- 28 -
1.4 GOLFKLAP	- 29 -
BIJLAGE 2: AFMETINGEN PROEFSTUKKEN VEROUDERD ELASTOCOAST	- 31 -
BIJLAGE 3: GETIJ-INFORMATIE VAN STAVENISSE, PETTEN-ZUID EN BATH.....	- 32 -

1 Inleiding

Elastocoast is een relatief nieuw materiaal dat gebruikt wordt als dijkbekleding. Het bestaat uit een zogenaamd steenskelet, van een gradering steenslag tussen twee maten, dat aan elkaar gelijmd wordt met een twee componenten polyurethaan. Hierbij ontstaat een materiaal met een zeer open structuur. Het grote voordeel hiervan is dat, door deze open structuur, Elastocoast zeer goed in staat is om golfenergie te absorberen. Hierdoor is Elastocoast breed inzetbaar zowel op rivierdijken als op zeedijken.

Een dijkbekleding met Elastocoast bestaat in de eerste plaats, zoals elke dijk, uit een grondlichaam. Daarbovenop komt een laag Elastocoast, met een laagdikte variërend van 10 tot 30 cm afhankelijk van de gewenste sterkte. Tussen de grond en het Elastocoast ligt een laag geotextiel. De functie van dit geotextiel is om te voorkomen dat er grond uit de dijk wegspoelt. Het geotextiel is waterdoorlatend (om de hoofdfunctie van Elastocoast niet te beperken), maar laat dus geen gronddeeltjes door.

Elastocoast is een alternatief voor conventionele dijkbekledingen zoals: beton, basaltblokken, losse stenen, open steen asfalt of gras. Omdat Elastocoast het meeste lijkt op open steen asfalt, wordt in onderzoek de resultaten van mechanische en hydraulische eigenschappen vaak vergeleken met de resultaten voor open steen asfalt. Het grootste verschil is de grotere sterkte van het materiaal. Daarnaast heeft Elastocoast een iets grotere porositeit, waardoor meer golfenergie wordt geabsorbeerd. Een ander groot voordeel van Elastocoast is dat dit bij omgevingstemperatuur kan worden aangelegd. Dit is mogelijk omdat de componenten bij omgevingstemperatuur reageren en uitharden. Bij de productie van open steen asfalt daarentegen, zijn temperaturen nodig van boven de 180 °C. Vervolgens moet het asfalt vervoerd worden en verdicht zijn voordat het is afgekoeld tot 70 °C.

1.1 Ontwikkeling

Elastocoast is ontwikkeld door Elastogran, onderdeel van het Duitse chemiebedrijf BASF. Onderzoek naar de eigenschappen van Elastocoast is tot nu toe voornamelijk uitgevoerd aan de Technische Universiteit Hamburg-Harburg (TUHH) en de Technische Universiteit Delft (TUD). Daarnaast heeft het Nederlandse ingenieursbureau Arcadis een Design Manual gemaakt voor het dimensioneren van een Elastocoast dijkbekleding (Bijlsma 2010).

In 2004 is het eerste project met Elastocoast uitgevoerd in Hamburg. Tot 2007 zijn er nog meer proefprojecten langs de Noordzeekust van Duitsland aangebracht. Vanaf 2007 zijn op diverse plaatsen in Nederland (Bijlsma 2008&2009) en ook in Frankrijk, Groot-Brittannië en Canada dijkbekledingen uitgevoerd met Elastocoast. Uit al deze proefvakken komen vooralsnog positieve resultaten en Elastocoast lijkt dan ook een goed alternatief voor de genoemde conventionele methoden. In Nederland is Elastocoast tot nu toe op 4 plaatsen toegepast. In Petten en Zuidbuit liggen proefvakken Elastocoast en in Bath is een dijk over een lengte van 1 km bekleed met Elastocoast. Dit is dus de eerste “echte” toepassing van Elastocoast in Nederland. Daarnaast is in Harlingen Elastocoast gebruikt om ontstane ruimtes tussen betonnen elementen van een golfbreker op te vullen.

2 Samenvatting

Elastocoast is een materiaal dat als dijkbekleding wordt toegepast. Het bestaat uit stenen die aan elkaar gelijmd worden met polyurethaan.

In dit rapport wordt onderzoek gedaan naar de veroudering en vermoeiing van Elastocoast. Om dit te onderzoeken wordt een indirecte trekproef opgezet. Deze proef zou worden uitgevoerd op drie verschillende Elastocoast materialen: bovengronds verouderd, ondergronds verouderd en nieuw Elastocoast. Het doel van deze proef is om te onderzoeken of de mechanische eigenschappen van het verouderde Elastocoast verschillen van de eigenschappen van nieuw materiaal. Deze informatie kan gebruikt worden om een indruk te krijgen van de duurzaamheid van het materiaal. Daarmee kan vervolgens een schatting van de levensduur van een Elastocoast dijkbekleding gemaakt worden.

Helaas is de proef uiteindelijk niet uitgevoerd, omdat het testapparaat waarmee de proefstukken zouden worden beproefd, kapot ging voordat met de proeven kon worden gestart.

In het vervolg van het onderzoek is een drietal locaties bezocht, waar Elastocoast is toegepast. Het gaat hier om twee proefvakken (bij Petten en Zuidbout) en een echte dijk (bij Bath). Hier is gekeken of er zichtbare veroudering optreedt en er is ook gekeken naar de ecologische ontwikkeling die heeft plaatsgevonden op de dijkbekledingen.

De twee proefvakken bij Petten en Zuidbout verkeren nog steeds in goede staat. Er is hier geen grootschalige schade waargenomen en de schadepercentages (aantal steentjes uit de constructie) zijn laag. Wel is de golfbreker bij Petten volledig bedekt met mosselen waardoor de open structuur volledig is verstopt.

De dijkbekleding bij Bath verkeert in een veel slechtere staat. Er liggen hier duizenden steentjes los en de kwaliteit van de dijkbekleding is lokaal zeer slecht. Dit is voornamelijk te wijten aan de natte steentjes die hier tijdens de uitvoering werden toegepast. Hierdoor gaat het polyurethaan schuimen en harden de verbindingen tussen de stenen niet goed uit. Gevolg hiervan is dat de bindingssterkte tussen de stenen erg laag is.

3 Probleemstelling

Omdat Elastocoast nog een relatief nieuw materiaal is, is er nog veel onduidelijk met betrekking tot de duurzaamheid van het materiaal. Uit onderzoek is gebleken dat de mechanische en hydraulische eigenschappen van nieuw Elastocoast erg goed zijn. Een aantal eigenschappen, zoals de sterkte, de doorlatendheid en de wave run up, zijn beter dan die van een vergelijkbaar materiaal als open steen asfalt. Echter omdat Elastocoast pas sinds 2004 toegepast wordt is het erg moeilijk om de levensduur van een Elastocoast dijkbekleding te bepalen. Hiervoor is nog extra onderzoek nodig. Twee belangrijke aspecten bij het bepalen van de levensduur van een materiaal zijn veroudering en vermoeiing. Veroudering is het veranderen van de eigenschappen van het materiaal ten gevolge van allerlei processen in de tijd zoals blootstelling aan licht, lucht en water. Vermoeiing is het verlagen van de sterkte van het materiaal ten gevolge van een aantal belastingcycli in de tijd.

Op een aantal locaties is verouderd Elastocoast beschikbaar en daarnaast heeft Rijkswaterstaat ook Elastocoast overdekt met een grondlaag om te onderzoeken of er ook ondergronds een sterkteverandering optreedt.

3.1 Onderzoeksvraag

Het doel van dit onderzoek is om te bepalen hoe de mechanische eigenschappen van Elastocoast veranderen door veroudering en vermoeiing en te onderzoeken of er een verschil is tussen materiaal dat bovengronds is verouderd ten opzichte van materiaal dat ondergronds is verouderd. De volgende onderzoeksvraag staat hierbij dan ook centraal:

“Hoe veranderen de mechanische eigenschappen van Elastocoast door veroudering en vermoeiing en is er een verschil tussen bovengrondse en ondergrondse veroudering?”

4 Opzet van de proeven

Om de hiervoor opgestelde onderzoeksvraag te kunnen beantwoorden wordt de indirecte trekproef uitgevoerd. Met behulp van de indirecte trekproef wordt de sterkte, de stijfheid en de vermoeiing van het Elastocoast bepaald. De proeven worden uitgevoerd op drie verschillende Elastocoastmonsters: bovengronds verouderd materiaal, ondergronds verouderd materiaal en nieuw Elastocoast. De resultaten van deze proeven moeten leiden tot een beter inzicht in de duurzaamheid van het materiaal. Daarnaast kunnen de resultaten worden gebruikt om de Design Manual voor het ontwerp van Elastocoast dijkbekledingen, die is opgesteld door Arcadis, te verbeteren.

4.1 Keuze voor indirecte trekproef

Het doel van dit onderzoek is om de stijfheid, sterkte en vermoeiing van verouderd Elastocoast te bepalen en te vergelijken met de waarden van het nieuwe materiaal. De waarden van het nieuwe materiaal zijn al bepaald in een serie proeven door Gu (2007 a&b). Deze waarden zijn echter bepaald voor Elastocoast met een veel kleinere steenslag (10/14 mm en 8/11 mm).

De verouderde materialen zijn samengesteld met een grotere steenslag, waardoor het lastig is om de proeven op een vergelijkbare manier uit te voeren. De testopstellingen die door Gu gebruikt zijn in zijn vierpunts- en driepuntsbuigproef zijn niet geschikt voor dit grovere Elastocoast. Daarom is het noodzakelijk om een andere proefopstelling te kiezen.

Verder is het vanuit de beheerders van een dijk vaak niet wenselijk dat er hele platen materiaal worden weggeboord om de materiaaleigenschappen en de veroudering te onderzoeken. Het halen van een plaat uit de bekleding is echter wel noodzakelijk om voldoende balken te krijgen om een betrouwbare buigproef uit te kunnen voeren.

Een andere methode om de stijfheid en sterkte van een materiaal te bepalen, maar waarvoor geen balken nodig zijn, is de indirecte trekproef. Hierbij wordt een cilindervormig proefstuk beproefd op druk in verticale richting waardoor er trekspanningen ontstaan in horizontale richting. Indien met het apparaat de opgelegde kracht wordt gemeten, kan hiermee de horizontale en verticale spanningstoestand worden berekend. Voor het bepalen van de stijfheid van een proefstuk worden 2 aannames gedaan.

- De eerste aanname betreft een lineair elastische spanningstoestand. Bij de onderzoeken die tot nu toe zijn gedaan blijkt dat Elastocoast zich vrijwel elastisch gedraagt dus deze aanname lijkt wel geoorloofd.
- Ten tweede gaat men er vanuit dat er een vlakke spanningstoestand heerst in het proefstuk (er zijn geen spanningen in de derde richting). Aan deze aanname wordt voldaan als de diameter van het proefstuk minimaal 4 keer zo groot is als de dikte. (Zie bijlage 1)

Het grote voordeel van deze proef is dat de proefstukken cilindervormig zijn, waardoor ze eenvoudig uit een bestaande dijk geboord kunnen worden zonder deze al te veel schade toe te brengen.

Omdat er gekozen is voor een proef die nog niet eerder op Elastocoast is gedaan, is het noodzakelijk om niet alleen het verouderde materiaal te beproeven maar ook nieuw materiaal. Anders kan er

geen zinvolle vergelijking gemaakt worden tussen de onderzoeksresultaten. Bijkomend voordeel van het kiezen voor de indirecte trekproef is dus ook dat de resultaten van deze proef op het nieuwe Elastocoast in relatie gebracht kunnen worden met de resultaten van de buigproef met nieuw Elastocoast. Op deze manier kan een verband gezocht worden tussen de twee proeven.

4.2 Testopstelling

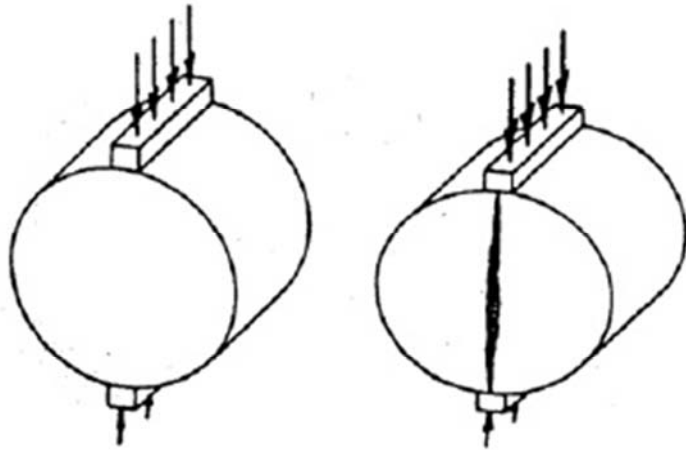
Voor het uitvoeren van de proeven wordt gebruik gemaakt van een testopstelling (zie figuur 1) die beschikbaar is in het Stevinlab van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen aan de TU Delft. Deze testopstelling bestaat uit een drukkubeproevingsbank waar het proefstuk in wordt bevestigd. Het proefstuk wordt belast met behulp van belastingstrips. Deze belastingstrips zorgen ervoor dat de opgelegde kracht gelijkmatig verdeeld wordt, als een lijnlast, over de breedte van het oppervlak van het proefstuk (zie figuur 2). Vanwege de cilindervorm van het proefstuk, moeten de belastingstrips een kromming hebben die overeenkomt met de straal van het proefstuk (NEN-EN 12697-23:2003).



Figuur 1 Testopstelling indirecte trekproef

Door het opleggen van de verticale drukkracht ontstaan er in horizontale richting trekspanningen over een aanzienlijke hoogte die vrij constant is (zie bijlage 1). Hierdoor zal het proefstuk uiteindelijk bezwijken door te splijten. De testopstelling meet de opgelegde vervorming in verticale richting en horizontale richting en de opgelegde kracht.

In figuur 2 is een schematische weergave gegeven van de testopstelling en het bezwijken van een proefstuk. De proeven worden uitgevoerd bij een constante temperatuur van 20 °C. Om dit te bereiken worden de proefstukken minstens vier uur opgeslagen bij een constante temperatuur van 20 °C en worden de proeven uitgevoerd in een klimaatkast waar de temperatuur ook 20 °C is.



Figuur 2 Schematisatie testopstelling indirecte trekproef

4.3 Materialen

4.3.1 Bovengronds verouderd materiaal

Het bovengronds verouderde materiaal was al in Delft aanwezig. Dit materiaal is gebruikt in de Master-thesis van Sluijsmans (2009). Dit Elastocoast heeft sinds het onderzoek van Sluijsmans, dus een periode van 2 jaar, in een koelcel van het Stevinlab aan de TU Delft gelegen bij een temperatuur van 14 graden celcius. Het materiaal is dus niet verouderd door externe klimaatfactoren zoals regen, wind en UV-straling. Sluijsmans heeft voor zijn onderzoek een balk van Elastocoast gemaakt (zie figuur 3), afmetingen 20x20x220 mm. De gradering van het gebruikte steenslag (kalksteen) is 20/40 mm. Dit betekent dat de afmetingen van de stenen ligt tussen 20 en 40 mm.



Figuur 3 De balk verouderd Elastocoast

Uit deze balk zijn in de zagerij van het betonlab van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU Delft negen cilinders geboord met een diameter van 150 mm (zie figuur 4) en dus een hoogte van 200 mm. Volgens de norm NEN-EN 12697-23 is de maximale

steengrootte die voor mag komen in een monster met een diameter van 150 mm, 40 mm. Hieraan wordt dus precies voldaan.



Figuur 4 Het boren van de kernen

Van de geboorde cilinders zijn vervolgens plakken gezaagd met een dikte van 80 mm. Uit iedere cilinder zijn twee proefstukken gehaald. Eerst is er aan de bovenkant 15 mm weggezaagd om een vlak gezaagd oppervlak te creëren. Vervolgens zijn er twee proefstukken met een diameter van 80 mm geboord. Aan de onderkant blijft dan ook nog ongeveer 15 mm over.

In totaal zijn er 18 proefstukken uit de balk gehaald. Van deze proefstukken is de dikte en de diameter bepaald met een digitale schuifmaat. De gebruikte waarde is het gemiddelde van 4 metingen. Voor de exacte afmetingen van de proefstukken zie bijlage 2.

4.3.2 Ondergronds verouderd materiaal

Het ondergronds verouderde materiaal moet komen van Rijkswaterstaat. Zij hebben een aantal jaren geleden een stuk Elastocoast begraven met als doel dit later te gebruiken voor onderzoek naar de duurzaamheid van het materiaal. Hiervan zijn drie brokstukken naar Delft gestuurd om deze te laten onderzoeken. Ze liggen nu in de klimaatkast van het Stevinlab, samen met de proefstukken van het bovengronds verouderde materiaal.

4.3.3 Nieuw Elastocoast

De bestanddelen van het nieuwe Elastocoast worden besteld bij BASF en in Delft kunnen we hiervan zelf Elastocoast maken.

4.4 Uitvoering van de proeven

Na het gereedmaken van de eerste proefstukken zou er vanaf 16 mei gestart gaan worden met het uitvoeren van de proeven. Deze zouden in het Stevinlab van de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen van de TU Delft worden uitgevoerd. Op 12 mei bleek dat het testapparaat waarmee de proeven uitgevoerd zouden worden defect was. Dit defect bleek zodanig ernstig te zijn dat het testapparaat lange tijd buiten bedrijf is. Ook bleek er, vanwege vele andere projecten in het

lab, geen ander testapparaat beschikbaar te zijn voor het uitvoeren van de indirecte trekproeven op het Elastocoast. Hierdoor is het helaas niet mogelijk om de proeven die in het kader van dit onderzoek gedaan zouden worden nog uit te voeren binnen de daarvoor gestelde tijd.

In overleg met de begeleiders is er daarom voor gekozen om dit Bsc-eindwerk een andere richting in te sturen.

5 Nieuw plan van aanpak

Door het niet meer kunnen uitvoeren van de indirecte trekproeven op het Elastocoast was het noodzakelijk om een ander plan op te stellen voor dit Bachelor-eindwerk.

Er is voor gekozen om in plaats van het uitvoeren van de proeven een aantal locaties te gaan bekijken waar Elastocoast is toegepast in een dijkbekleding. Doel hiervan is om na te gaan of er zichtbare veroudering optreedt op deze locaties. Hierbij valt te denken aan erosie: zijn er veel steentjes uit de constructie verwijderd door de waterstroming en golfaanval. Verder zal er gekeken worden naar aanzanding: dus komt er veel sediment tussen de steentjes voor. Als dit het geval is, is dat nadelig voor de open structuur van het Elastocoast en heeft het dus een negatieve invloed op de absorptie van golfenergie en dit zal leiden tot een hogere golfoploop. Daarnaast zal er gekeken worden of er veel ecologische ontwikkeling op de dijkbekledingen heeft plaatsgevonden. Ecologische ontwikkeling zorgt voor een natuurlijke uitstraling van de dijk, iets wat vanuit esthetisch oogpunt zeer wenselijk is. Tot slot zouden kleurverschillen of schuimvorming erop kunnen wijzen dat er problemen zijn geweest met het uitvoeringsproces en dit zou dus kunnen wijzen op verslechtering van de kwaliteiten van het Elastocoast.

6 Locaties

Voor dit onderzoek zijn drie locaties gekozen: Bath, Petten en Zuidbout (zie figuur 5). De locaties Petten en Zuidbout zijn proeflocaties aangelegd in 2007 door Arcadis in opdracht van Rijkswaterstaat. (Bijlsma 2008 & 2009).

De locatie Petten ligt bij de Pettemer Zeewering (krib nummer 20.9) aan de Noordzee en is aangelegd in oktober 2007. Dit is een vak van 385m^2 , dat horizontaal ligt.

De locatie Zuidbout ligt bij Ouwerkerk in de Oosterschelde en is aangelegd in september 2007. Hier is een vak van 490m^2 aangelegd met een helling van 1:3-1:4.

De locatie Bath is aangelegd in juni/juli 2009. Het betreft hier een werkelijke dijkbekleding (dus geen proefvak) van 12000m^2 . Over een lengte van bijna 1 km ligt hier een Elastocoast laag van 20 cm dikte.



Figuur 5 De 3 locaties waar Elastocoast ligt

6.1 Getij

Bij het bezoeken van de drie locaties is het belangrijk om op het getij te letten. De locaties zijn namelijk alleen bij laagwater te bezoeken omdat de dijkbekledingen bij hoogwater onder water staan.

Voor de locatie Petten is gebruik gemaakt van de getij-informatie van het meetstation Petten-Zuid. De onderzijde van de laag Elastocoast op de locatie Petten ligt bovenop een krib, welke een hoogte heeft van -0,30 m NAP. Het Elastocoast ligt dus tussen -0,30 m NAP en 0,0 m NAP.

Voor de locatie Zuidbout is gebruik gemaakt van de getij-informatie van het meetstation Stavenisse. De Elastocoast dijkbekleding die is aangelegd bij de Zuidbout heeft de onderzijde op +0,5 m NAP en de bovenzijde op +1,5 m NAP.

Voor de locatie Bath is gebruik gemaakt van de getij-informatie van het meetstation Bath. De onderzijde van het talud op de locatie Bath ligt op +1,50 m NAP. De Elastocoastlaag begint op een hoogte van +1,91 m NAP en loopt door tot een hoogte van +4,80 m NAP.

In bijlage 3 is voor de drie genoemde meetstations de getij-informatie van de maand mei opgenomen. (Rijkswaterstaat 2011).

6.2 Waarnemingen Petten

Op 22 mei is de golfbreker bij Petten bezocht en is daar bekeken of er zichtbare veranderingen zijn opgetreden ten opzichte van de eerdere bezoeken die ten grondslag liggen aan de rapporten van Bijlsma (2008&2009). Helaas waren de omstandigheden tijdens het inspecteren van de golfbreker niet optimaal. Het laagwater was -0,88m NAP (zie bijlage 3), wat zou betekenen dat de waterstand ongeveer een halve meter onder het Elastocoast zou komen. De golfbreker zou zo ongeveer een uur begaanbaar moeten zijn voor inspectie. Echter door harde wind (Bft. 6) ontstonden er hoge golven die over de golfbreker heen spoelden (zie figuur 6). Hierdoor waren slechts de hoger gelegen delen van de golfbreker (de 30 cm laag, die het dichtst bij het strand ligt) begaanbaar.



Figuur 6 De golfbreker bij Petten

6.2.1 Schade

Op macroschaal is er geen zichtbare schade opgetreden. Er zijn geen scheuren zichtbaar en de constructie lijkt ook niet verzakt of afgeschoven. Ook zijn er geen grote brokstukken Elastocoast weggeslagen. Wel lijkt er op een aantal plaatsen een gat te zijn geboord dat weer is opgevuld. Waarschijnlijk is dit gedaan om de sterkte van het Elastocoast te testen.

Wat verder opvallend is, is de extreme groei van mosselen en algen. De constructie is bijna volledig bedekt met mosselen en lokaal groeien er erg veel algen. Daarnaast is er ook erg veel zand zichtbaar tussen de mosselen wat er voor zorgt dat de constructie niet erg waterdoorlatend meer is. De mosselen zijn met de hand niet van de stenen te verwijderen.

Het gevolg van al deze mosselen, algen en het zand is dat er water op de constructie achter blijft in de vorm van plassen (zie figuur 7).



Figuur 7 Water blijft op de golfbreker achter

Doordat de constructie volledig bedekt is met mosselen zijn er (bijna) geen steentjes meer zichtbaar. Hierdoor is het niet mogelijk om te tellen hoeveel steentjes er binnen een bepaalde oppervlakte weg zijn geërodeerd.

6.2.2 Flora en Fauna

Op de golfbreker in Petten is een gevarieerde ecologische omgeving ontstaan waar mosselen (zie figuur 8) en diverse soorten algen (zie figuur 9) een leefomgeving hebben gevonden.

Waargenomen soorten algen:

- Bruin: *Laminaria saccharina*
- Groen: *Enteromorpha intestinalis* & *Ulva lactuca*



Figuur 8 Mosselen



Figuur 9 Algengroei

6.3 Waarnemingen Zuidbout

Op 23 mei is de locatie Zuidbout (zie figuur 10) bezocht. Ook deze locatie is al eerder geïnspecteerd en er zal dus ook hier een vergelijking worden gezocht met de eerdere waarnemingen uit de rapporten van Bijlsma (2008&2009).



Figuur 10 Locatie Zuidbout

6.3.1 Schade

De eerste indruk van deze dijk is dat hij nog steeds in een prima staat is. Er is geen zichtbare schade op macroschaal. Zo zijn er geen scheuren te zien en zijn er ook geen verzakkingen of afschuivingen waarneembaar. Verder zijn ook hier geen grote brokstukken Elastocoast weggeslagen. Ook in deze dijk zijn een aantal gaten geboord en later weer opgevuld, waarschijnlijk zijn hier kernen geboord om de sterkte van de dijk te controleren. Verder is er bij deze dijk wel sprake van wat zand en kleine steentjes maar deze worden in zulke kleine hoeveelheden aangetroffen dat de constructie hier niet door verstopt raakt. Het behoud zijn open structuur.

Op microschaal is er wel schade ontstaan. Er worden enkele tientallen losse steentjes gevonden en aan het oppervlak zijn gebroken verbindingen te zien, wat er op wijst dat er steentjes zijn

weggespoeld. Ook worden twee gebroken steentjes (zie figuur 11) gevonden. De belangrijkste reden voor schade aan de constructie is het breken van een lijmverbinding. Bijna alle losse steentjes en gaten in de constructie zijn ontstaan door kapotte verbindingen tussen de steentjes (zie figuur 12).



Figuur 11 gebroken steentje



Figuur 12 kapotte lijmverbinding

Om de schade aan de dijk te kwantificeren en te onderzoeken hoe de schade zich in de afgelopen jaren heeft ontwikkeld (Bijlsma 2008&2009) is ervoor gekozen om steentjes te tellen die uit de constructie zijn verwijderd. Hiervoor zijn op drie plaatsen vakken uitgezet van 1 bij 2 meter (zie figuur 13). Zo is er bij de verschillende constructiediktes (10, 20 en 30 cm) geteld hoeveel steentjes er missen. De vakken zijn uitgezet aan de bovenzijde van de dijk omdat daar de minste algengroei is en zo de steentjes voldoende zichtbaar zijn. Alle drie de vakken zijn op dezelfde hoogte uitgezet.



Figuur 13 Gebied van 1 bij 2 meter uitgezet op dijk

De resultaten waren als volgt:

Elastocoast 10 cm laag: 31 missende steentjes

Elastocoast 20 cm laag: 24 missende steentjes

Elastocoast 30 cm laag: 18 missende steentjes

Dit aantal missende steentjes kan met de volgende formule worden uitgedrukt in een schadepercentage N_d :

$$N_d = \frac{\text{Aantal missende steentjes in het gebied}}{\text{Totaal aantal steentjes in het gebied}} * 100\%$$

Het totaal aantal steentjes in een gebied is als volgt te berekenen:

$$\text{Totaal aantal steentjes in het gebied} = \frac{n * A_{ref} * d}{(D_{n50})^3}$$

n = porositeit (-) = 0,50

A_{ref} = oppervlakte gebied (m^2) = 2 m^2

d = dikte van de Elastocoastlaag = 0,10 m / 0,20 m / 0,30 m

D_{n50} = nominale steendiameter = 0,022 m

Als het schadepercentage tussen 0 en 5% ligt, mag je zeggen dat er geen schade aan de constructie is. Dit is een criterium dat normaliter wordt toegepast op dijken van losse stenen, waarbij de dikte van de constructie twee keer de nominale steendiameter is.

Om dit criterium ook voor deze dijk van Elastocoast te laten gelden wordt de laagdikte nu aangepast en twee keer de nominale steendiameter. De resultaten zijn weergegeven in tabel 1.

Laagdikte	Missende steentjes	Totaal aantal steentjes	Schadepercentage	Alternatieve laagdikte	Totaal aantal steentjes	Aangepast schadepercentage
Zuidbout 0,10 m	31	9391	0,33 %	0.044	4132	0,75 %
Zuidbout 0,20 m	24	18783	0,13 %	0.044	4132	0,58 %
Zuidbout 0,30 m	18	28174	0,06 %	0.044	4132	0,44 %

Tabel 1 Aantal missende steentjes en schadepercentages voor 10, 20 en 30 cm Elastocoastlaag

De schadepercentages zijn moeilijk te vergelijken met de gevonden schadepercentages door Bijlsma, omdat de vakken niet op dezelfde plaatsen zijn uitgezet. De gevonden waarden liggen echter wel in dezelfde ordegrootte (0-1%), waardoor mag worden aangenomen dat er geen significante toename van de schade is opgetreden.

6.3.2 Flora en Fauna

Ook op de Zuidboutdijk is een divers ecologisch klimaat ontstaan. Er worden onder andere de volgende algensoorten aangetroffen:

- Bruin: *Fucus Spiralis* (zie figuur 16)
- Groen: *Blindingia Minima* & *Enteromorpha compressa* (zie figuur 15)



Figuur 14 Common Limpet



Figuur 15 Enteromorpha Compressa



Figuur 16 Fucus Spiralis

Naast algen leven er op de steentjes ook schaaldiertjes, de zogenaamde Common Limpet (zie figuur 14).

Wat opvallend is aan de algengroei is dat er op het Elastocoast veel minder algen leven dan op de omringende conventionele dijkbekledingen. Dit is duidelijk zichtbaar in figuur 17. Ook op de geboorde gaten in de dijk, die zijn opgevuld met beton, groeien meer algen dan op het omliggende Elastocoast. Verder groeien de algen duidelijk in een bepaalde zonering. Op bepaalde hoogtes groeit veel van de ene algensoort en op andere hoogtes groeit juist veel van een andere algensoort.



Figuur 17 Overgang van Elastocoast naar bestaande dijkbekleding

Naast algen en schaaldieren zijn er op de dijk ook een aantal kwallen gezien.

6.4 Waarnemingen Bath

Op 23 mei is de locatie bij Bath (zie figuur 18) bezocht. Op deze locatie is nog niet eerder onderzoek gedaan naar schade en veroudering aan de dijk, dus hier vindt geen vergelijking plaats met eerder gevonden resultaten. Wel wordt er een beschrijving gegeven van waarnemingen en wordt getracht deze waarnemingen te verklaren.



Figuur 18 Locatie Bath

6.4.1 Schade

Wat direct opvalt als je over deze dijk loopt is dat er duizenden steentjes los liggen. Veel van deze steentjes hebben meerdere breekpunten (punten waar de Elastocoastverbindingen zijn verbroken). Het zijn dus zeker niet alleen de steentjes met weinig bindingspunten die uit de constructie verwijderd zijn (zie figuur 19). Ook worden er diverse clusters, een aantal steentjes dat nog aan elkaar zit, gevonden die in zijn geheel uit de constructie zijn gebroken (zie figuur 20).



Figuur 19 Meerdere verbroken verbindingen

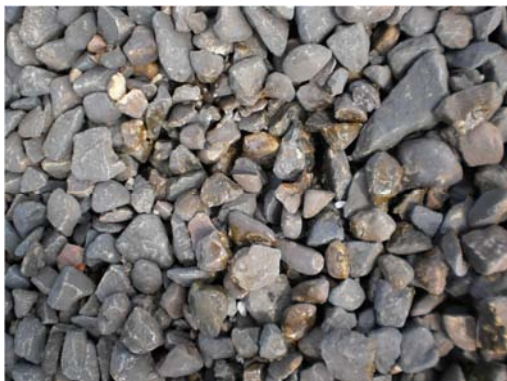


Figuur 20 Cluster van meerdere steentjes

Verder is op bepaalde delen van de constructie nog erg veel lijm te zien op de steentjes. Dit zijn vooral de hoger gelegen delen, wat erop zou kunnen wijzen dat er op dit niveau nog niet zo vaak water heeft gestaan waardoor de lijmlaag aan de oppervlak nog niet volledig is geërodeerd. De lijmlaag op de stenen ziet er vaak schuimachtig uit, met veel luchtbelletjes erin. Ook wordt op een aantal plaatsen overtollige lijmfophopingen gevonden die gemakkelijk met de hand kapot te drukken zijn. De vorming van schuim is ontstaan doordat bij de aanleg van de dijkbekleding in het begin natte stenen zijn gebruikt. Het polyurethaan reageert met water tot PUR-schuim. Hierdoor is de bindingssterkte tussen de stenen hier erg laag.

De dijkbekleding is lokaal erg slecht, omdat er veel steentjes los liggen, maar er zijn ook delen van de dijkbekleding die wel in een goede staat verkeren en waar (bijna) geen losse steentjes worden gevonden. Dit inhomogene karakter lijkt erop te wijzen dat in de uitvoering van de dijkbekleding niet consistent is gewerkt en er in sommige stortingen fouten (het gebruik van natte stenen) zijn gemaakt. Vanwege dit inhomogene karakter van de dijkbekleding zijn hier geen vakken uitgezet om missende steentjes te tellen. Dit zou weinig zinvol zijn, aangezien de locatie van de vakken het resultaat te veel beïnvloed. Het gemiddelde nemen over een groot aantal vakken zou een te gunstig resultaat geven voor de gehele dijkbekleding omdat deze lokaal dus veel slechter is dan dit gemiddelde.

Het deel van de dijk aan de kant van de Oesterdam is het slechtste en het deel aan de andere kant is een stuk beter. Dit is te verklaren doordat aan de kant van de Oesterdam is begonnen met de aanleg van de dijkbekleding en later geleerd is van fouten die in het begin werden gemaakt. Echter ook lokaal zijn de verschillen erg groot. In figuur 21 is een foto weergegeven van een klein stukje van de dijkbekleding ergens in het midden van de dijk, ongeveer 30 bij 30 centimeter. Aan het kleurverschil is al te zien dat er een kwaliteitsverschil is met het omliggende gebied. Met de hand waren de stenen hier eenvoudig te verwijderen en in figuur 22 zie je de losse stenen (ongeveer 40 stuks) die zijn verwijderd. De losse stenen lagen ook hier niet alleen aan de oppervlakte. Er ontstaat snel een gat van 10 cm diep door enkel wat losse stenen weg te halen.



Figuur 21 Kleurverschil met omliggend gebied



Figuur 22 Losse stenen met de hand verwijderd

Ondanks de slechte verbindingen tussen de stenen worden er ook nog enkele gebroken stenen gevonden. Het steenslag dat voor deze dijkbekleding is gebruikt is ook wel erg divers. Er liggen zowel erg grote (tot ongeveer 60 mm) als kleine stenen.

Op enkele plaatsen is de dijkbekleding erg grijs van kleur en lijkt het wel alsof de lijm op de stenen daar is versteend (zie figuur 23).

Er is nog nauwelijks sprake van verstopping van de open constructie. Er wordt nauwelijks zand waargenomen tussen de stenen. Lokaal wordt er op enkele plaatsen wel veel zand gezien, maar dit komt waarschijnlijk doordat hier reparatiewerkzaamheden zijn uitgevoerd.

Aan de oever van de Oosterschelde, daar waar de steentjes bij laagwater net wel of net niet in het water liggen, zit er een wit laagje over de steentjes (zie figuur 23). Dit witte laagje is eenvoudig van de steentjes af te krabben met je nagel.

Op de dijkbekleding werden enkele stukken hout gevonden en zelfs een werkhandschoen, die volledig in het Elastocoast waren gegoten.



Figuur 23 "Versteende lijmlaag"



Figuur 24 Wit laagje op de stenen

6.4.2 Flora en Fauna

In tegenstelling tot de andere twee locaties, heeft er in Bath nauwelijks ecologische ontwikkeling plaatsgevonden. Op een aantal plaatsen groeit wat gras tussen de stenen, maar verder wordt er eigenlijk niets levends aangetroffen. Wel ligt er veel hout en riet op de dijkbekleding dat is aangevoerd door het hoogwater en blijft liggen als het water weer daalt (zie figuur 25). Tussen dit hout en riet liggen veel dode schaaldieren (zie figuur 26). Ook op de aansluitende dijkbekleding, welke bestaat uit betonblokken, wordt nauwelijks vegetatie aangetroffen.



Figuur 25 Aangespoeld hout en riet



Figuur 26 Aangespoelde dode schaaldieren

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Schade

De locaties Petten en Zuidbout vertonen geen zichtbare macroscopische schade en lijken in vergelijking met de vorige inspecties niet verder gedegradeerd. Bij de locatie Zuidbout is het schadepercentage aan de constructie niet significant toegenomen. De schadepercentages zijn overal nog kleiner dan 1%, wat betekent dat ze als verwaarloosbaar klein beschouwd mogen worden. De belangrijkste oorzaak voor het ontstaan van schade aan de dijkbekleding is het bezwijken van een lijmverbinding tussen twee steentjes.

De locatie Bath vertoont wel veel schade. Lokaal is de kwaliteit van de dijkbekleding erg slecht en liggen veel stenen los. De belangrijkste oorzaak hiervoor is waarschijnlijk dat de stenen verwerkt zijn terwijl ze nat waren. Hierdoor ontstaat schuimvorming en harden de lijmverbindingen niet goed uit, wat resulteert in erg slappe verbindingen.

Aan te bevelen valt om onderzoek te doen naar de precieze invloed van vocht op de sterkte van een lijmverbinding tussen twee stenen. Verder is het zinvol om tijdens het uitvoeren van een dijkbekleding in Elastocoast maatregelen te nemen die een continue kwaliteit garanderen. Nu wordt steeds een kleine hoeveelheid Elastocoast gemaakt en gestort en dit zorgt voor kwaliteitsverschil tussen de verschillende stortingen. Een continu proces, zoals bij de bereiding van asfalt, zou kunnen zorgen voor een meer homogene structuur van de dijkbekleding. Verder onderzoek is ook gewenst naar het ontstaan van het witte poederachtige laagje op de stenen aan de onderzijde van de dijkbekleding.

7.2 Flora en Fauna

Bij de locatie Petten is een divers ecologisch klimaat ontstaan met een aantal verschillende soorten algen en een grote hoeveelheid schaaldieren op de golfbreker. Mosselen blijken goed in staat om zich aan het Elastocoast te hechten.

Bij de locatie Zuidbout groeien ook diverse soorten algen. Hier is echter wel duidelijk zichtbaar dat algengroei op Elastocoast in veel mindere mate plaats vindt dan op andere steenachtige materialen die op de Zuidboutdijk zijn toegepast. Verder leven ook hier schaaldieren op de dijk.

Op de dijk bij Bath heeft nauwelijks ecologische ontwikkeling plaatsgevonden. Hier worden slechts aangespoeld hout en riet en dode schaaldieren gevonden. Het enige levende groen is wat gras dat hier en daar tussen de stenen groeit. Dit geldt echter ook voor de aansluitende dijkbekledingen en zegt dus niets over het Elastocoast.

8 Bronnenlijst

Bijlsma, E. (2008). *Elastocoast pilots in the Netherlands Storm season 2007/2008*. Elastogran GMBH/Arcadis.

Bijlsma, E. (2009). *Elastocoast pilots in the Netherlands 2008-2009 Extended monitoring*. Elastogran GMBH/Arcadis.

Bijlsma, E. (2010). *Polyurethane bonded aggregate revetments design manual*. Elastogran GMBH/Arcadis.

Gu, D. (2008). *Preliminary study of PUR-revetment's Application*. Faculty of Civil Engineering and Geosciences. Delft University of Technology.

Gu, D. (2007a). *Some important mechanical properties of Elastocoast for safety investigation of dikes* (VTV 2004). Minor thesis, Faculty of Civil Engineering and Geosciences. Delft University of Technology.

Gu, D. (2007b). *Hydraulic properties of PUR-revetments compared to those of Open Stone Asphalt revetments*. Msc thesis, Faculty of Civil Engineering and Geosciences. Delft University of Technology.

NEN-EN 12697-23 (2003). *Bitumineuze mengsels- Beproevingsmethoden voor warm bereid asfalt – Deel 23: Bepaling van de splijttreksterkte van bitumineuze proefstukken*

NEN-EN 12697-24+A1 (2007). *Bitumineuze mengsels- Beproevingsmethoden voor warm bereid asfalt – Deel 24: Weerstand tegen vermoeiing*

NEN-EN 12697-26 (2004). *Bitumineuze mengsels- Beproevingsmethoden voor warm bereid asfalt – Deel 26: Stijfheid*

PU Solutions Elastogran. BASF. <http://www.polyurethanes.basf.de/pu/Kustbescherming/>. Geraadpleegd op 19 april 2011.

Rijkswaterstaat. <http://www.live.getij.nl/>. Geraadpleegd op 16 mei 2011

Sluijsmans, R.W. (2009). *Analysis of wave impact on the Elastocoast system*. Msc thesis, Faculty of Civil Engineering and Geosciences. Delft University of Technology.

Ven, M.F.C. van de. *Dictaat CT4830 (2009) Asphalt Testing*. Road and Railroad Research Laboratory, Technical University Delft

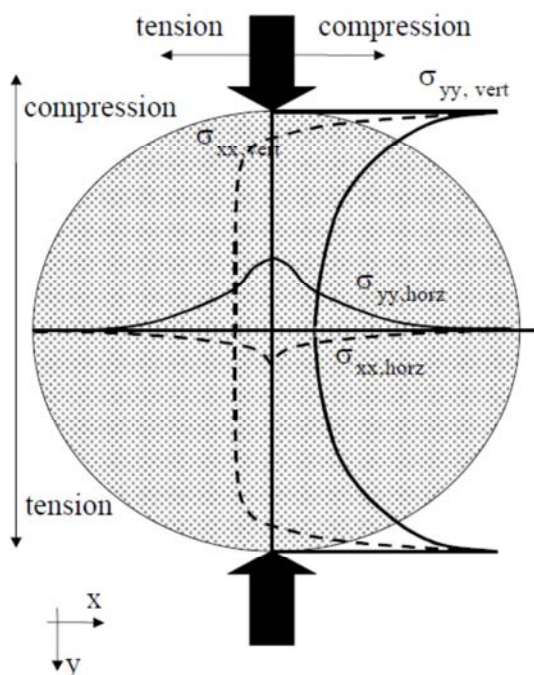
Bijlage 1: Berekeningen bij de indirecte trekproef

In deze bijlage volgt een beschrijving van de spanningstoestand die optreedt bij de indirecte trekproef en er wordt beschreven hoe de indirecte treksterkte van het Elastocoast berekend kan worden. Daarnaast wordt een vergelijking gegeven met de spanningstoestand bij de vierpuntsbuigproef.

1.1 Spanningsverdeling bij indirecte trekproef

Figuur 27 geeft een impressie van de spanningsverdeling in een cilindervormig proefstuk dat in verticale richting onderworpen wordt aan een drukkracht.

In deze figuur is te zien dat de horizontale trekspanning over de hoogte van het proefstuk ongeveer constant is. De verticale drukspanning is niet constant over de hoogte.



Figuur 27 Spanningsverdeling bij indirecte trekproef

De optredende horizontale trekspanning in het midden van het proefstuk is te berekenen met de volgende formule:

$$\sigma_{xx} = \frac{2F}{\pi l D}$$

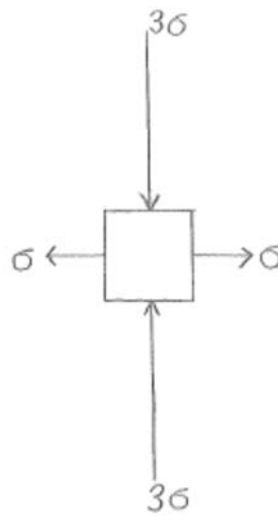
Hierin is F de opgelegde kracht (N), l is de dikte van het proefstuk (mm) en D is de diameter van het proefstuk (mm).

Voor de optredende verticale drukspanning geldt:

$$\sigma_{yy} = -\frac{6F}{\pi l D}$$

In het midden van het proefstuk is de verticale drukspanning dus drie keer zo groot als de horizontale trekspanning.

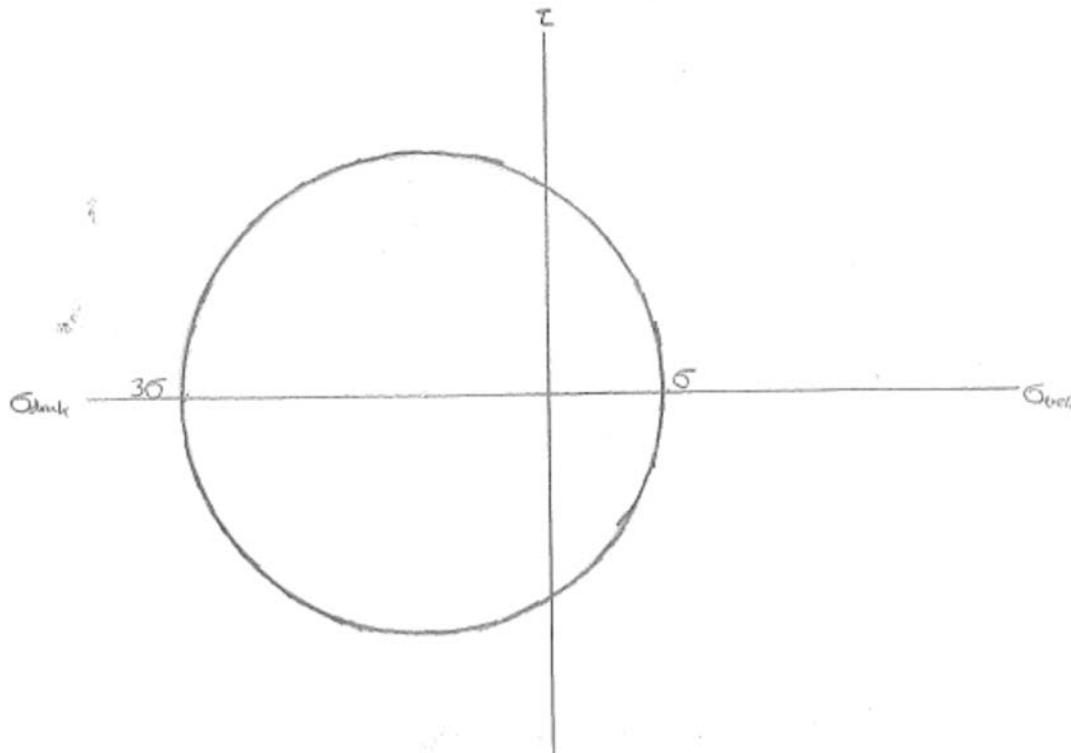
De spanningsverdeling op een klein blokje uit het midden van het proefstuk is als volgt gegeven in figuur 28:



Figuur 28 Spanningsverdeling op een klein blokje

De drukspanning is hier 3 keer zo groot als de trekspanning.

In figuur 29 is deze spanningsverdeling in een cirkel van Mohr weergegeven:



Figuur 29 Cirkel van Mohr bij indirecte trekproef

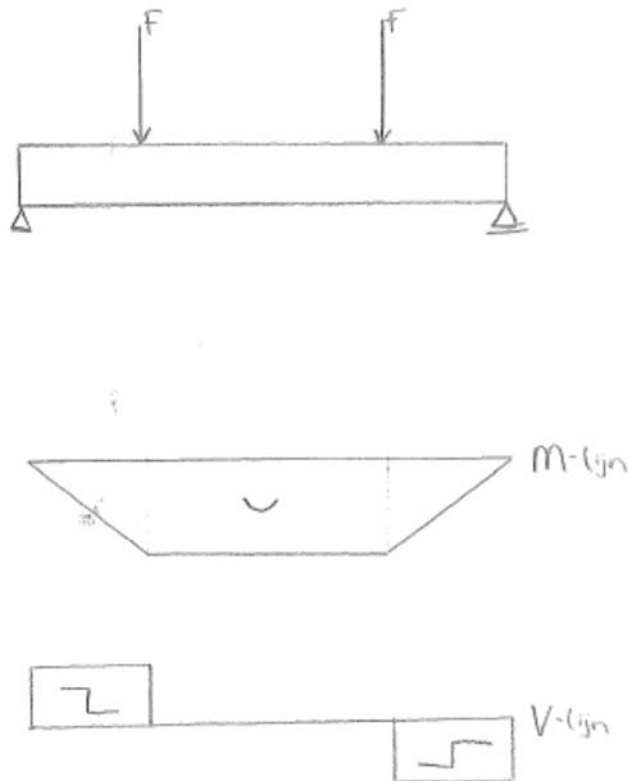
Een belangrijke aanname voor het geldig zijn van de gegeven formules is dat er een vlakke spanningstoestand heerst. Een vlakke spanningstoestand is een tweedimensionale spanningstoestand, waarbij geen spanningen optreden in de richting loodrecht op de doorsnede (de z-richting). Hiervoor wordt het cilindervormige proefstuk geschematiseerd tot een oneindig dunne schijf.

Deze aanname is geldig als de diameter van het proefstuk minstens vier keer zo groot is als de dikte van het proefstuk. Vanwege de grote steenslag in het gebruikte verouderde Elastocoast, bleek het noodzakelijk te zijn om plakken te zagen met een dikte van 80 millimeter. De diameter van de proefstukken is 150 millimeter, waardoor de aanname van constante spanningen over de dikte dus eigenlijk niet exact geldig is hier. Het is mogelijk dat er in dit geval enige spanningsontwikkeling loodrecht op de doorsnede ontstaat. Om de exacte spanningsverdeling in een proefstuk te bepalen, kan men ook gebruik maken van een eindige elementenprogramma.

Indien men toch gebruik maakt van bovenstaande schematisatie, zal er dus een fout worden gemaakt. Hoe groot deze fout precies is en of het een over- of onderschatting van de werkelijke sterkte oplevert is moeilijk te bepalen. Aangezien spanningen in de z-richting leiden tot een herverdeling van de spanningen in het proefstuk is het waarschijnlijker dat de sterkte van een proefstuk wordt overschat. De herverdeling van de spanningen leidt er dan toe dat het proefstuk pas bij een grotere kracht bezwijkt, dan wanneer de schijf dunner zou zijn geweest.

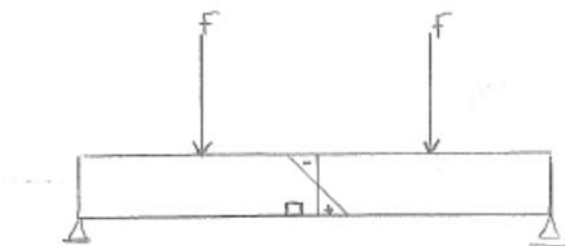
1.2 Spanningsverdeling bij vierpuntsbuigproef

Bij de vierpuntsbuigproef wordt een balk belast door twee puntlasten. Tussen deze twee puntlasten wordt de balk enkel belast door een buigend moment en is er geen dwarskracht. De balk wordt belast op zuivere buiging. Zie figuur 30.



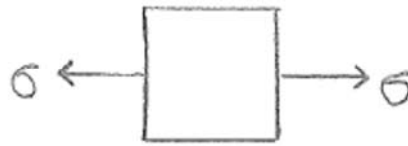
Figuur 30 Balk belast op zuivere buiging

De spanningsverdeling over de hoogte van de balk is als volgt gegeven in figuur 31:



Figuur 31 Spanningsverdeling over de hoogte van de balk

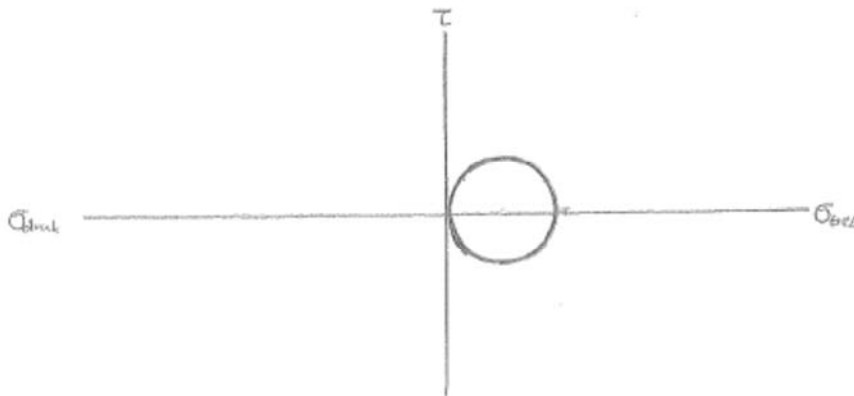
De spanningsverdeling op een blokje aan de onderkant van het midden van de balk is als volgt gegeven in figuur 32:



Figuur 32 Spanningsverdeling op een klein blokje

Dit is dus een één-dimensionale spanningstoestand.

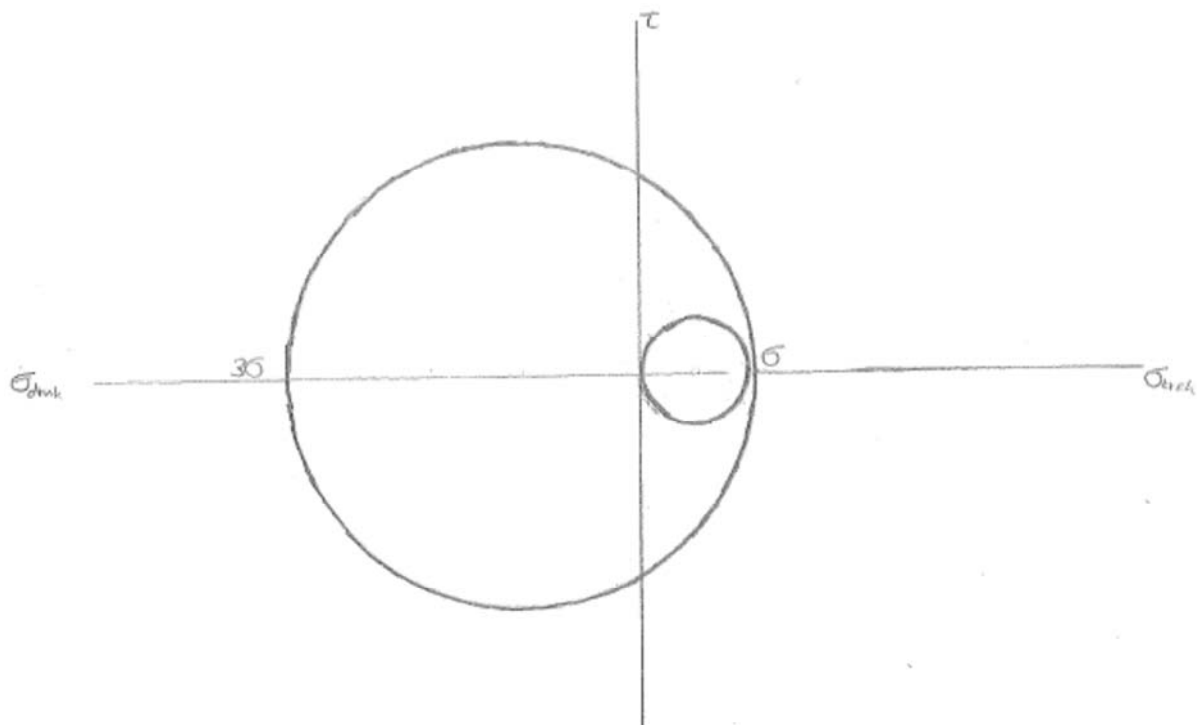
Deze spanningsverdeling is ook in een cirkel van Mohr weer te geven (zie figuur 33):



Figuur 33 Cirkel van Mohr bij vierpuntsbuigproef

1.3 Vergelijking tussen vierpuntsbuiging en indirecte trek

In onderstaande figuur zijn de spanningsverdeling van de indirecte trekproef en de vierpuntsbuigproef samen in een cirkel van Mohr getekend (zie figuur 34):



Figuur 34 Cirkels van Mohr voor indirecte trek en vierpuntsbuiging

Hierin is duidelijk te zien dat bij de indirecte trekproef veel grotere schuifspanningen ontstaan dan bij vierpuntsbuiging. Daarnaast heb je bij de indirecte trekproef te maken met een drukspanning die drie keer zo groot is als de trekspanning.

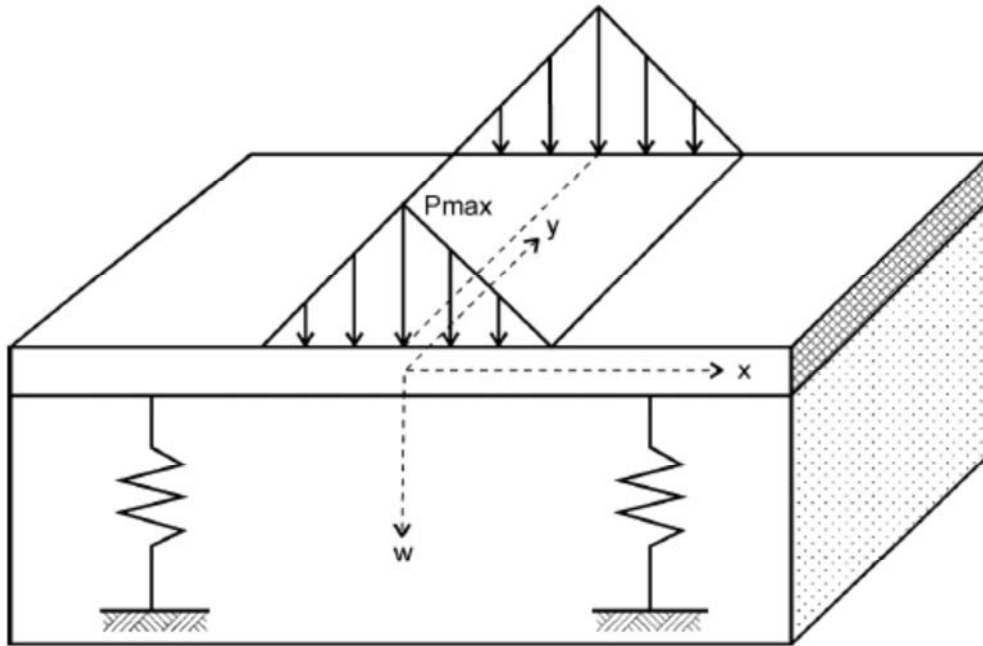
Dit alles leidt er toe dat er over het algemeen bij de indirecte trekproef een lagere treksterkte wordt gevonden dan bij de vierpuntsbuigproef.

Als er een indirecte trekproef wordt uitgevoerd is het dus erg belangrijk om te onderzoeken of het proefstuk ook daadwerkelijk bezwijkt op trek. Als de druksterkte van het materiaal niet minimaal 3 keer zo groot is als de treksterkte zal het materiaal bezwijken op druk. Ook de schuifspanningen kunnen het proefstuk laten bezwijken als de schuifsterkte niet groot genoeg is.

1.4 Golfklap

Bij het dimensioneren van een dijkbekleding met Elastocoast wordt de benodigde laagdikte van de dijkbekleding berekend met het computerprogramma Golfklap.

Golfklap berekent deze benodigde laagdikte uitgaande van de onderstaande schematisatie. De Elastocoast laag wordt geschematiseerd als een elastische plaat die ondersteund wordt door veren. De golfbelasting die de plaat ondervindt, wordt geschematiseerd als driehoekige belastingen. (Zie figuur 35)



Figuur 35 Schematisatie Elastocoastlaag met behulp van Golfklap

De maximale trekspanning die optreedt midden onder de belasting aan de onderzijde van de Elastocoast laag, wordt berekend met de volgende formule:

$$\sigma = \frac{p_{max}}{4\beta^2\beta z} [1 - e^{(-\beta z)} (\cos \beta z) + \sin(\beta z)] \frac{6}{h^2}$$

met:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3c(1 - \nu^2)}{Sh^3}}$$

Waarin:

σ	Optredende trekspanning aan de onderzijde van de bekleding (MPa)
p_{max}	Maximale drukstoot (MPa)
h	Laagdikte (m)
z	Halve breedte driehoeksbelasting (m)
c	Beddingsconstante van de ondergrond (MPa/m)
S	Stijfheidsmodulus van het Elastocoast (MPa)
ν	Constante van Poisson van het Elastocoast (-)

De laagdikte h is van grote invloed op de optredende trekspanning onderin het Elastocoast. Dit is te zien aan de term h^2 , die in de formule voor σ voorkomt.

Als de treksterkte van het Elastocoast bekend is, evenals de overige parameters in de formule, is de benodigde laagdikte nu direct te bepalen.

Bijlage 2: Afmetingen proefstukken verouderd Elastocoast

In onderstaande tabel zijn de dikte en de diameter van de 18 proefstukken gegeven die geboord zijn uit de balk bovengronds verouderd Elastocoast.

Proefstuk	Dikte	Diameter
1	78,98	150,20
2	77,23	150,22
3	78,94	150,17
4	79,45	150,26
5	80,14	150,23
6	78,45	150,31
7	80,88	150,12
8	77,70	150,25
9	81,34	150,15
10	81,34	150,31
11	80,43	150,28
12	78,43	150,34
13	79,64	150,05
14	78,06	150,12
15	81,09	150,29
16	80,38	150,30
17	81,94	150,27
18	78,80	150,30

Bijlage 3: Getij-informatie van Stavenisse, Petten-Zuid en Bath

In deze bijlage is de getij-informatie van de maand mei opgenomen, voor de meetstations in Stavenisse, Petten-Zuid en Bath.

Petten zuid

Hoog- en laagwaterstanden en -tijdstippen

Mei 2011											
datum	uu:mm	HW cm	LW NAP	datum	uu:mm	HW cm	LW NAP	datum	uu:mm	HW cm	LW NAP
1 zo	0:25 4:05 12:25 16:25		-92 69 -92 83	11 wo	6:26 10:55 19:20 23:40		-87 78 -79 43	21 za	3:25 7:25 17:16 19:59		-102 95 -96 66
2 ma	1:16 4:40 13:14 16:55		-91 76 -90 84	12 do	7:24 12:15 20:54		-83 81 -81	22 zo	4:05 8:25 17:24 20:49		-104 92 -88 60
3 di NM 8:51	1:45 5:09 13:55 17:29		-91 82 -90 85	13 vr	0:45 8:54 13:26 22:25		45 -84 85 -88	23 ma	4:44 9:20 17:54 21:45		-102 88 -80 54
4 wo	2:15 5:38 14:20 17:58		-93 87 -92 83	14 za	1:52 10:26 14:19 23:26		54 -89 90 -91	24 di LK 20:52	5:35 10:20 18:35 22:35		-98 82 -74 47
5 do	2:15 6:15 14:44 18:31		-97 89 -96 79	15 zo	2:48 11:37 15:12		66 -92 94	25 wo	6:24 11:14 19:25 23:40		-92 74 -71 41
6 vr	3:06 6:46 15:36 19:05		-101 89 -97 74	16 ma	0:15 3:35 12:24 16:01		-89 77 -92 94	26 do	7:36 12:35 20:30		-87 69 -72
7 za	3:36 7:17 15:55 19:41		-102 90 -95 69	17 di VM 13:09	1:41 4:22 13:54 16:47		-87 87 -93 91	27 vr	0:54 8:36 13:45 21:24		40 -84 71 -75
8 zo	4:10 7:57 16:34 20:21		-100 91 -91 63	18 wo	2:42 5:07 15:05 17:35		-87 93 -100 85	28 za	2:06 9:24 14:40 22:46		48 -82 75 -81
9 ma	4:45 8:39 17:14 21:11		-96 89 -87 54	19 do	1:35 5:56 15:53 18:20		-88 96 -104 79	29 zo	2:44 10:25 15:20 23:35		57 -81 78 -87
10 di EK 22:33	5:36 9:35 17:55 22:26		-92 82 -82 45	20 vr	2:36 6:37 16:36 19:08		-96 97 -102 72	30 ma	3:29 11:50 15:55		66 -81 80
								31 di	0:25 4:05 12:34 16:29		-90 73 -82 81

Referentievlak: NAP

LLWS = NAP-106 cm; LAT = NAP-119 cm

Nederlandse tijd

Cursief gedrukte tijdstippen zijn in ZOMERTIJD

Stavenisse

Hoog- en laagwaterstanden en -tijdstippen

Mei 2011

datum	uu:mm	HW cm	LW NAP	datum	uu:mm	HW cm	LW NAP	datum	uu:mm	HW cm	LW NAP
1 zo	3:22 9:26 15:46 21:40	148 158	-154 -138	11 wo	3:35 10:10 16:09 22:36	-154 146 -120 118		21 za	0:34 7:16 12:55 19:31	-166 182 -133 158	
2 ma	4:06 9:55 16:15 22:15	153 161	-151 -142	12 do	4:50 11:15 17:25 23:45	-154 145 -120 120		22 zo	1:25 7:56 13:46 20:06	-169 175 -127 149	
3 di NM 8:51	4:36 10:30 16:56 22:45	160 165	-151 -147	13 vr	5:54 12:29 18:35	-156 152 -126		23 ma	2:09 8:38 14:23 20:46	-169 164 -121 139	
4 wo	5:05 11:06 17:25 23:19	167 168	-150 -151	14 za	0:55 7:16 13:35 19:40	130 -161 161 -134		24 di LK 20:52	2:55 9:19 15:15 21:32	-165 150 -116 129	
5 do	5:46 11:40 18:00	170 165	-148	15 zo	1:56 8:06 14:35 20:36	142 -165 167 -140		25 wo	3:50 10:16 16:04 22:24	-159 136 -111 118	
6 vr	0:00 6:26 12:16 18:35	-152 168 -143 157		16 ma	2:56 9:06 15:36 21:19	152 -164 169 -146		26 do	4:44 11:14 17:26 23:34	-151 128 -110 114	
7 za	0:36 6:57 12:46 18:53	-151 163 -138 148		17 di VM 13:09	3:45 9:45 16:36 22:05	161 -160 169 -150		27 vr	6:06 12:25 18:30	-146 129 -115	
8 zo	1:06 7:14 13:14 19:36	-152 159 -134 141		18 wo	4:50 10:35 17:21 23:05	171 -154 169 -156		28 za	0:56 6:55 13:26 19:36	119 -145 136 -123	
9 ma	1:46 8:16 14:06 20:26	-154 155 -130 133		19 do	5:46 11:25 18:09 23:44	179 -147 168 -161		29 zo	1:56 7:56 14:20 20:25	128 -146 145 -131	
10 di EK 22:33	2:36 9:06 15:06 21:26	-155 150 -124 124		20 vr	6:31 12:15 18:51	184 -140 164		30 ma	2:35 8:39 15:06 21:06	138 -146 152 -137	
								31 di	3:25 9:14 15:46 21:46	147 -144 158 -142	

Referentievlak: NAP

LLWS = NAP-169 cm; LAT = NAP-181 cm

Nederlandse tijd

Cursief gedrukte tijdstippen zijn in ZOMERTIJD

Bath

Hoog- en laagwaterstanden en -tijdstippen

Mei 2011

datum	uu:mm	HW cm	LW NAP	datum	uu:mm	HW cm	LW NAP	datum	uu:mm	HW cm	LW NAP
1 zo	3:10 9:36 15:30 21:46	266 282	-230 -217	11 wo	3:46 9:56 16:11 22:30	-217 244 -185 213		21 za	0:53 6:39 13:06 19:06	-261 321 -225 289	
2 ma	3:43 10:11 16:02 22:22	279 291	-231 -224	12 do	4:55 11:10 17:22 23:46	-215 246 -184 220		22 zo	1:36 7:27 13:46 19:48	-255 304 -211 269	
3 di NM 8:51	4:16 10:43 16:33 22:56	294 302	-235 -232	13 vr	6:10 12:20 18:41	-223 262 -195		23 ma	2:17 8:15 14:26 20:35	-247 282 -198 249	
4 wo	4:46 11:17 17:06 23:36	306 308	-238 -237	14 za	0:50 7:19 13:23 19:48	243 -234 285 -211		24 di LK 20:52	2:59 9:06 15:12 21:27	-235 255 -184 227	
5 do	5:21 11:53 17:37	312 304	-236	15 zo	1:50 8:28 14:18 20:51	270 -246 305 -226		25 wo	3:56 9:59 16:10 22:26	-221 230 -171 206	
6 vr	0:10 5:56 12:27 18:12	-236 310 -229 293		16 ma	2:43 9:26 15:10 21:46	295 -255 318 -240		26 do	4:52 11:06 17:21 23:36	-210 212 -166 195	
7 za	0:46 6:28 13:03 18:46	-233 303 -220 280		17 di VM 13:09	3:31 10:16 15:56 22:35	314 -258 322 -251		27 vr	5:57 12:22 18:26	-203 213 -171	
8 zo	1:21 7:06 13:36 19:26	-229 294 -212 265		18 wo	4:15 11:01 16:45 23:24	326 -255 322 -258		28 za	0:46 6:55 13:22 19:25	204 -204 229 -184	
9 ma	1:58 7:50 14:16 20:12	-227 281 -205 245		19 do	5:05 11:46 17:33	333 -248 315		29 zo	1:43 8:01 14:09 20:22	225 -210 248 -198	
10 di EK 22:33	2:46 8:42 15:09 21:15	-223 261 -195 223		20 vr	0:09 5:51 12:27 18:19	-262 331 -237 304		30 ma	2:30 8:46 14:53 21:06	246 -216 266 -209	
								31 di	3:10 9:31 15:29 21:53	265 -221 281 -219	

Referentievlak: NAP

LLWS = NAP-265 cm; LAT = NAP-295 cm

Nederlandse tijd

Cursief gedrukte tijdstippen zijn in ZOMERTIJD