



### 3 Overige relevante abiotische factoren

#### 3.1 Algemeen

Naast de bodemdaling speelt een aantal abiotische factoren een rol in de morfologische en/of ecologische ontwikkelingen. Dit zijn onder andere:

- de waterstanden,
- regenval en verdamping,
- de grondwaterstand in de duinen, en
- de grondwaterkwaliteit in de duinen.

Daarom zijn ook gegevens van deze grootheden verzameld en bewerkt. Deze gegevens en resultaten worden in de volgende paragrafen behandeld.

#### 3.2 Waterstanden

##### Oorzaken waterstandsvariatie

Waterstanden en waterstandsvariatiën spelen een belangrijke rol in de morfologie en de ecologie in en langs de randen van de Waddenzee. Ze worden bepaald door het getij dat onder invloed van astronomische factoren met grote regelmaat tot waterstandsvariatiën leidt. In Nederland is de invloed van de maan dominant en is het getij dubbeldaags met geringe dagelijkse ongelijkheid in de twee hoogwaters (HW) en laagwaters (LW). De getijperiode schommelt rond de 12 uur en 25 minuten. Het tij-verschil (= HW-LW) is niet constant, omdat de invloeden van zon en maan niet in fase zijn maar geleidelijk ten opzichte van elkaar verlopen. Hierdoor ontstaat een doortij-springtijcyclus met een periode van 27,55 dagen. In Nederland is het tijverschil bij springtij in het algemeen gemiddeld 1,5 maal het tijverschil bij doortij. Ook door zons- en maansdeclinatie treedt een kleine cyclische variatie in het tijverschil op met een periode van een jaar. Vervolgens treedt als gevolg van verandering in de helling van de maansbaan een kleine cyclische variatie op met een periode van 18,6 jaar.

Naast de astronomische factoren, die regelmatige variaties veroorzaken, treden ook meteorologische invloeden op, zoals op- en afwaaiing. Deze laatste

invloeden hebben een stochastisch karakter, waarin wel een trendmatige seizoensinvloed is te vinden. De meteorologische invloed op de waterstanden kan significant verschillen met veranderende windcondities. De verschillen kunnen per dag aanzienlijk zijn en nemen af met het toenemen van de periode waarover gemiddeld wordt. Over langere perioden genomen kan de gemiddelde waterstand slechts geleidelijk wijzigen als het windklimaat significant verandert. Voor zover bekend zijn er geen duidelijke aanwijzingen die hierop duiden.

De gemiddelde zeespiegel (MSL) verandert echter nog wel sinds de laatste ijstijd als gevolg van eustatische zeespiegelrijzing en autonome bodemdaling. Over de laatste eeuw wordt de relatieve zeespiegelrijzing in de Waddenzee geschat op circa 17 cm/eeuw. Als gevolg van broeikas-effect kan dit in de nabije toekomst nog toenemen. Een meest waarschijnlijke waarde zou 60 cm/eeuw kunnen zijn. Of de zeespiegel versneld zal gaan stijgen en hoe snel, is momenteel echter nog niet zeker.

##### Selectie representatief getijstation voor Ameland-Oost

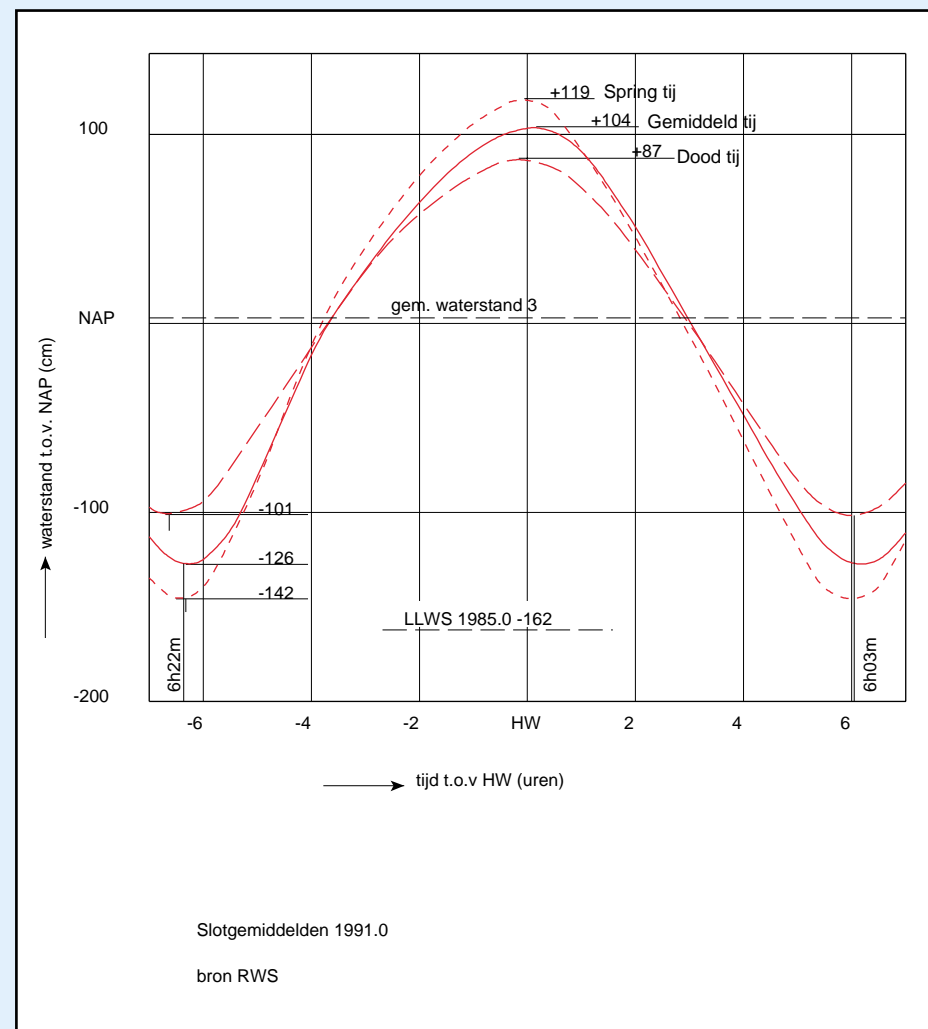
De bodemdaling als gevolg van gaswinning in de eerste 15 à 20 jaar is vergelijkbaar met een versnelde zeespiegelrijzing. De jaarlijkse daling is echter gering ten opzichte van jaarlijkse fluctuaties in de zeespiegel door meteorologische invloeden. Om deze reden zijn ook de ontwikkelingen in het gemiddeld HW en LW (GHW en GLW) en MSL in de studie betrokken.

In eerste instantie is hierbij gedacht aan de getijstations Nes, Schiermonnikoog en Holwerd. Uit de overzichten der waterhoogten van RWS blijkt dat deze stations tamelijk recent zijn geplaatst (resp. 13 september 1962, 14 mei 1964 en 26 april 1968) en dat voor deze stations vóór 1986 geen gemiddeld zeeniveau (MSL) werd bepaald. Als het meest representatieve station hiervoor is in eerste instantie West-Terschelling gekozen. Alle gepresenteerde gegevens vóór 1995 zijn ontleend aan de Jaarboeken en Tienjarige Overzichten der Waterhoogten, Afvoeren, Watertemperaturen van de Rijkswaterstaat (RWS, 1964, 1982, 1983, 1984, 1985a, 1985b, 1986, 1987, 1988, 1990a, 1990b, 1991, 1992a, 1992b, 1993, 1994). De gegevens

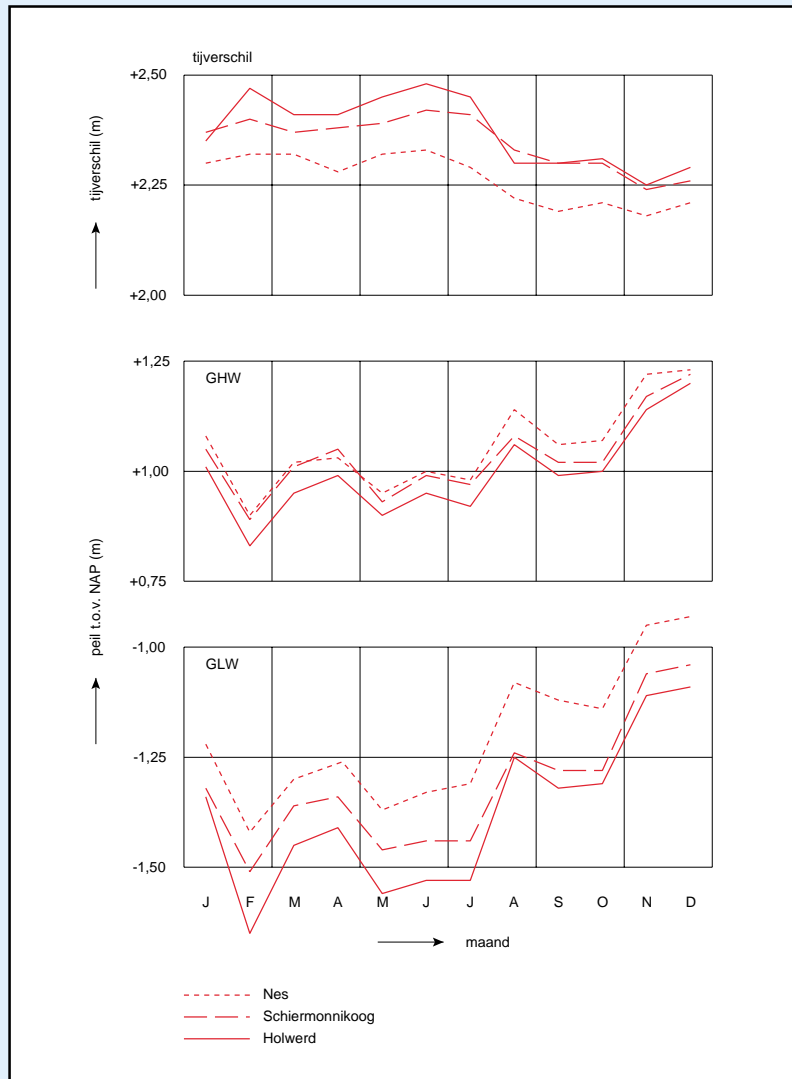


van 1988 t/m 1998 van Nes en aanvullende gegevens van andere stations zijn apart verstrekt door RWS-Directie Noord Nederland.

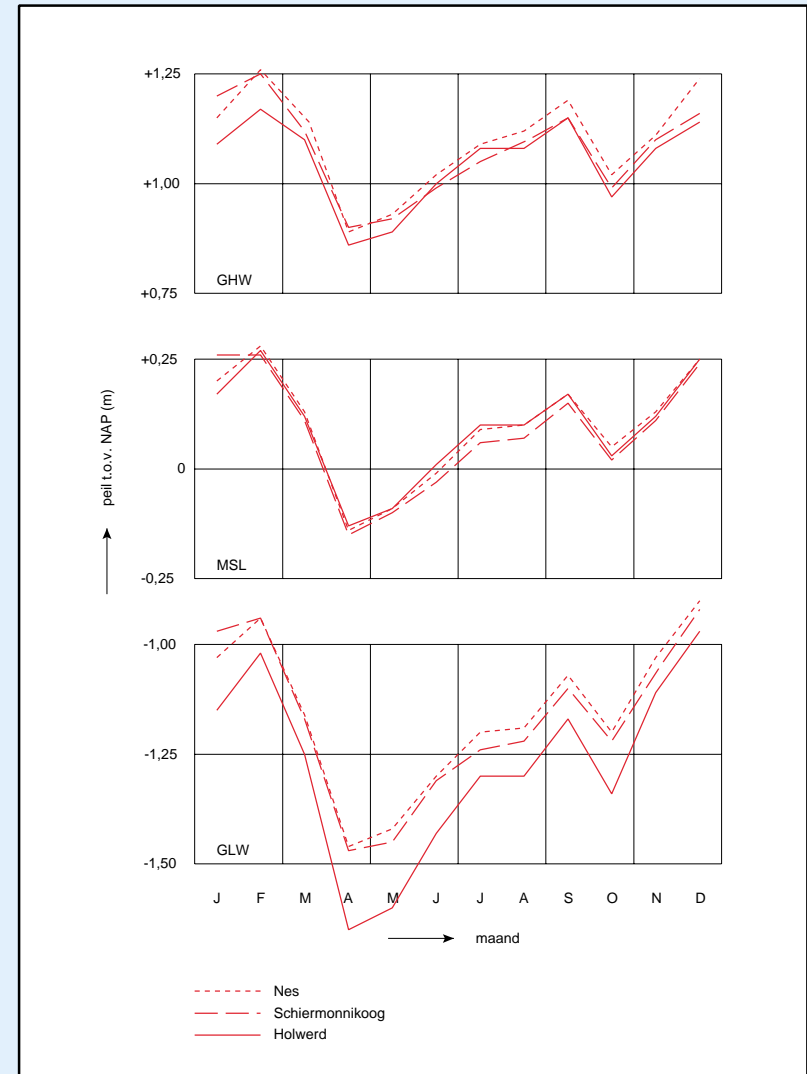
In Figuur 3.1 zijn de gemiddelde getijkrommen 1991 voor het station Nes gegeven, waaruit het karakteristieke verloop van de waterstand over een getij blijkt. Over het jaar treden er seizoensfluctuaties op in het getij met name als gevolg van meteorologische invloeden, zoals op- en afwaaiing tijdens stormen en door het declinatiegetij van de zon met een periode van een jaar. Deze seizoenseffecten blijken duidelijk uit de variaties over het jaar in het tijverschil, GHW, MSL en GLW voor de stations Nes, Schiermonnikoog en Holwerd (Figuur 3.2). Het stochastische karakter ervan blijkt als dergelijke verschillen uit twee verschillende jaren met elkaar worden vergeleken (Figuur 3.2 en 3.3). Het tijverschil in Nes is in de orde van 5 à 10 cm kleiner dan dat in Schiermonnikoog en ca. 10 à 15 cm kleiner dan dat in Holwerd. Het GHW in Nes is slechts enkele centimeters hoger dan in Schiermonnikoog en slechts ca. 5 cm hoger dan GHW in Holwerd. De verschillen in GLW tussen deze stations zijn groter.



Figuur 3.1 Gemiddelde getijkrommen Nes



Figuur 3.2 Maandgemiddelden HW, LW en tijverschil Nes, Schiermonnikoog en Holwerd (1982)



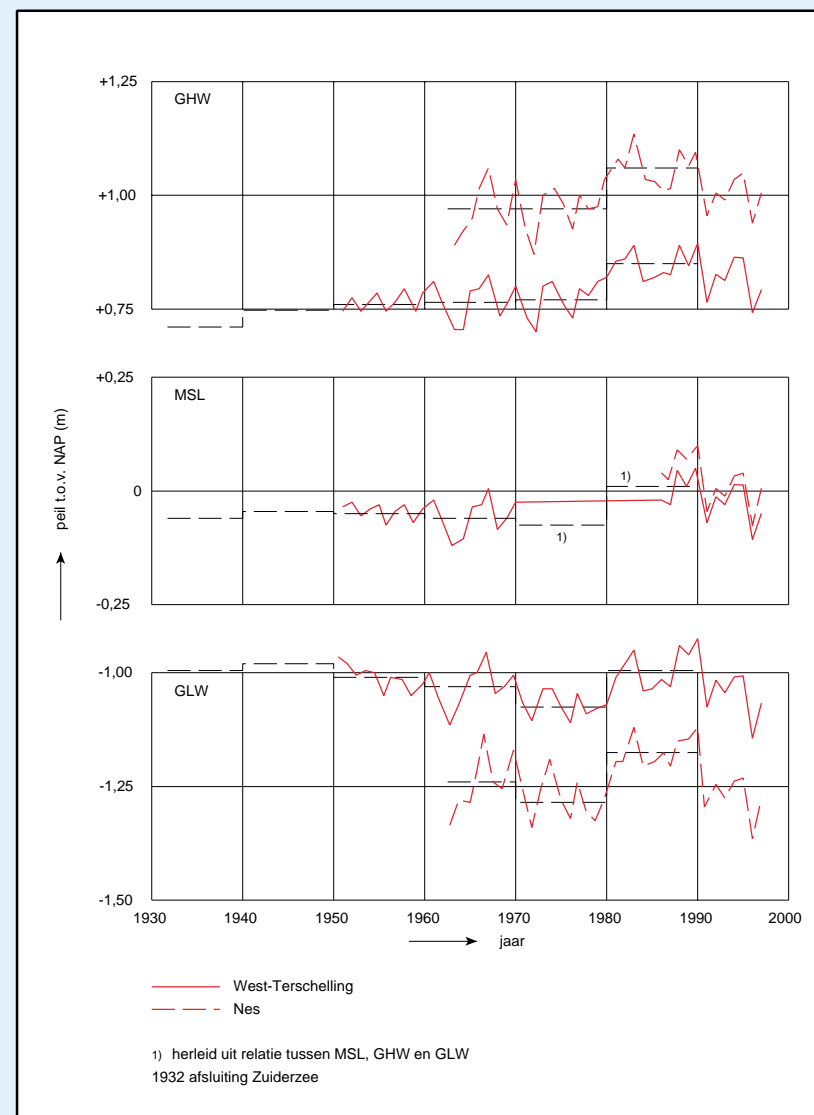
Figuur 3.3 Maandgemiddelden HW, MSL en LW Nes, Schiermonnikoog en Holwerd (1988)



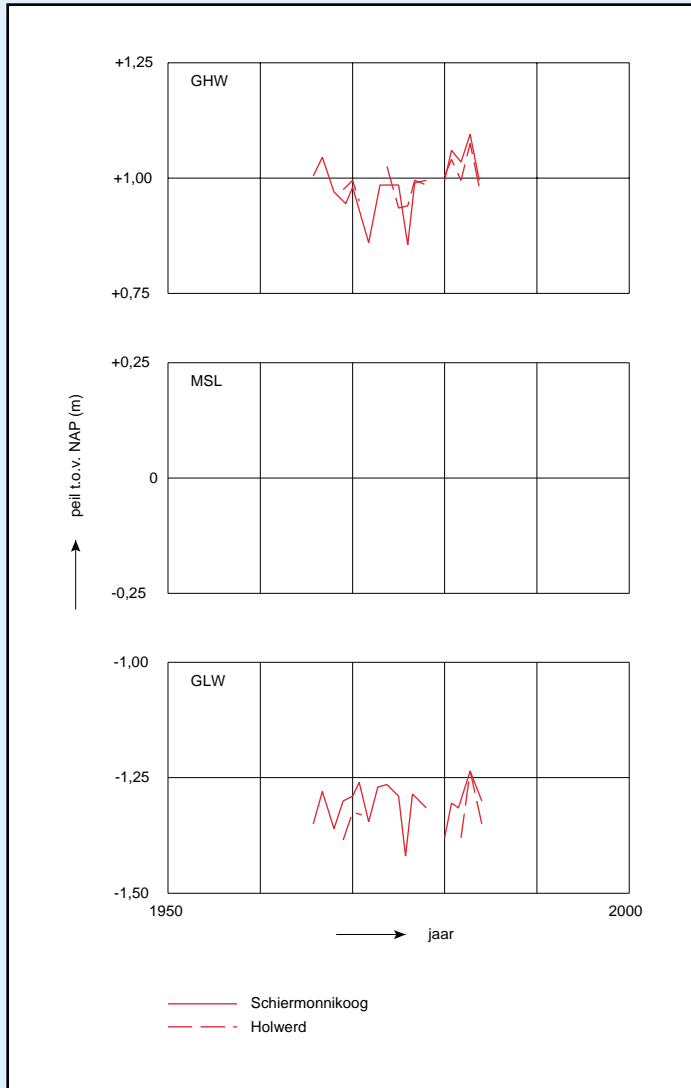
Uit bovenstaande gegevens en gegevens over de voortplanting van het getij in de Waddenzee (Mazure et al., 1974; Eysink, 1979) blijkt dat het getijstation Nes representatief is voor het wadden- en kweldergebied van Ameland-Oost.

### Selectie getijstation voor monitoring zeespiegelrijzing

Informatie over zeespiegelrijzing kan ook uit de gegevens voor de jaargemiddelde waarden voor HW en LW van deze stations worden afgeleid, die zijn weergegeven in de Figuren 3.4 en 3.5. Deze figuren zijn bedoeld om fluctuaties en trends op lange termijn te kunnen bepalen, die worden veroorzaakt door verschillen in meteorologische omstandigheden per jaar, door de langjarige getijcyclus van 18,6 jaar en door trends zoals de relatieve zeespiegelrijzing. Om de meetreeks te verlengen zijn gegevens van het station West-Terschelling gebruikt waar sinds 1887 betrouwbaar wordt gemeten. De gegevens van Terschelling voor GHW, MSL en GLW suggereren vooral meteorologische invloeden; de fluctuaties in deze grootheden vertonen alle drie vrijwel dezelfde fluctuaties met een willekeurig karakter. De fluctuaties bij Nes zijn vergelijkbaar, doch in het algemeen iets sterker dan die in West-Terschelling (Figuur 3.4).



Figuur 3.4 Jaargemiddelden HW, MSL en LW West-Terschelling en Nes



Figuur 3.5 Jaargemiddelden HW en LW Schiermonnikoog en Holwerd

Ook in andere getijstations worden vergelijkbare willekeurige fluctuaties gevonden, die synchroon optreden (o.a. Harlingen, Holwerd, Schiermonnikoog en Delfzijl). Dit duidt duidelijk op windinvloed, hetgeen wordt bevestigd door het onderzoek van Bossinade et al. (1993).

De gegevens van Figuur 3.4 suggereren dat de tachtiger jaren relatief vaak hardere wind uit westelijke richtingen hebben gekend, òf dat dit in de zeventiger jaren juist niet gebeurde. Hierdoor zijn GHW, MSL en GLW in de tachtiger jaren circa 10 cm verhoogd ten opzichte van de periode in de zeventiger jaren, waardoor ze duidelijk afwijken van de lange termijntrend. De waarden van 1991 t/m 1997 lijken weer goed aan te sluiten bij de algemene trend. Uit deze figuur blijkt ook duidelijk dat Nes dezelfde trends vertoont als het station West-Terschelling, zodat de laatste representatief gesteld zou kunnen worden voor Nes wat de lange termijntrends betreft.



Ten aanzien van MSL voor West-Terschelling zit er een gat in de informatie voor de periode 1970-1986, omdat het toen niet meer werd bepaald, en vóór 1920 toen het nog niet werd bepaald. Uit een analyse van de gegevens blijkt dat MSL met grote nauwkeurigheid kan worden bepaald uit een relatie tussen MSL, GLW en GHW (Figuur 3.6).

**Voor West-Terschelling geldt:**

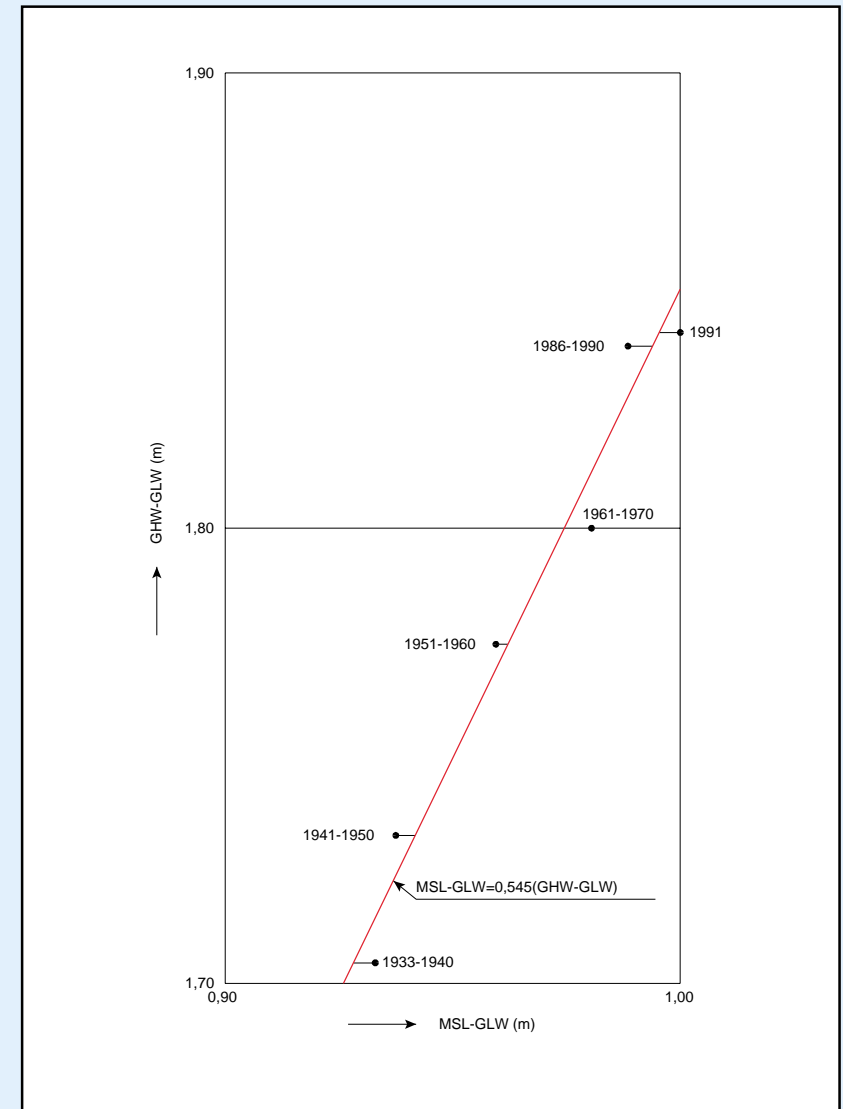
$$\text{MSL} = \text{GLW} + 0,545 (\text{GHW} - \text{GLW}) \text{ en dus}$$

$$\text{MSL} - \text{halftij} = 0,045 (\text{GHW} - \text{GLW})$$

**Voor Nes kan worden afgeleid:**

$$\text{MSL} = \text{GLW} + 0,555 (\text{GHW} - \text{GLW}) \text{ en}$$

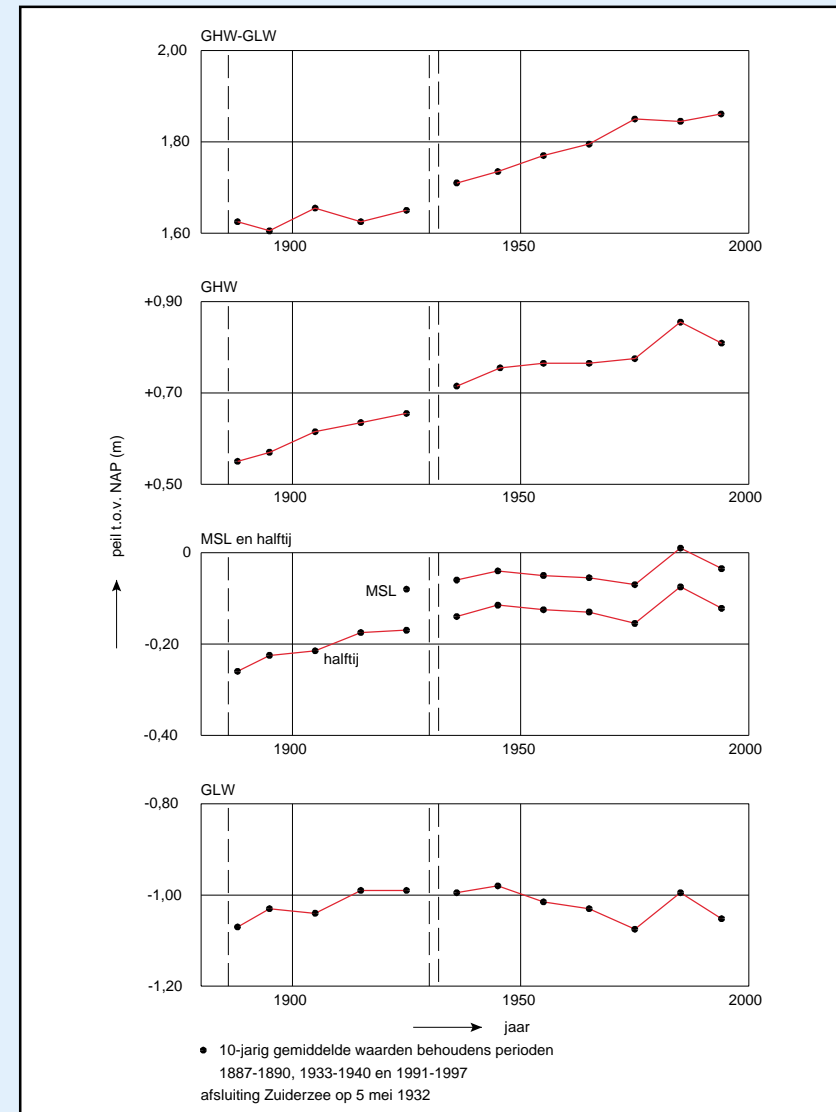
$$\text{MSL} - \text{halftij} = 0,055 (\text{GHW} - \text{GLW})$$



Figuur 3.6 Relatie tussen MSL, GHW en GLW voor West-TerschellingC

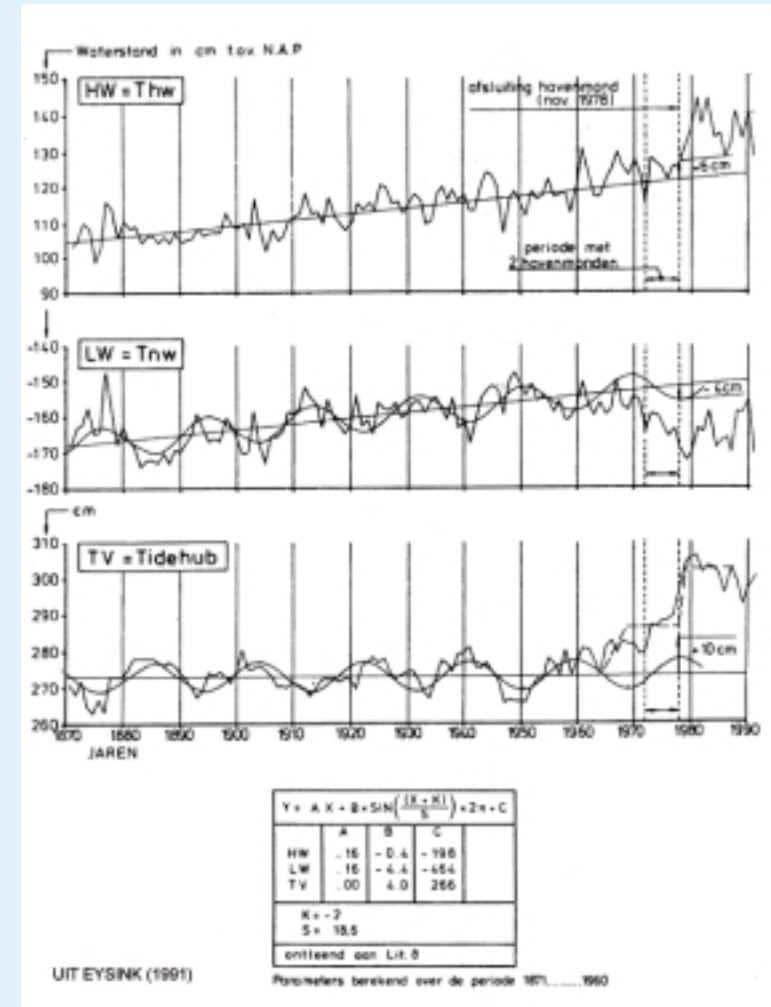


Substitutie van aldus herleide waarden voor MSL voor West-Terschelling in Figuur 3.4 laat zien dat het MSL een niet in de lijn der verwachtingen liggend verloop vertoont, dat een zwakke afspiegeling is van GLW. Dit doet vermoeden dat hier mogelijk ontwikkelingen een rol hebben gespeeld, die het gevolg zijn van de afsluiting van de Zuiderzee. Om deze reden is de tijdreeks verder teruggevoerd tot het begin van de waarnemingen in 1887 (Figuur 3.7). Uit deze gegevens blijkt dat in de periode 1887-1930 GHW, halftij en GLW min of meer dezelfde trend vertoonden met een gemiddelde toename van respectievelijk 2,3 mm/j, 2,1 mm/j en 1,8 mm/j. Het tijverschil nam in die periode slechts zwak toe met 0,7 mm/jaar. Door de afsluiting van de Zuiderzee in 1932 trad er een kleine verlaging op van het GLW van circa 5 cm met als gevolg ook een plotselinge toename in het tijverschil, halftij en MSL. Waarschijnlijk traden er morfologische ontwikkelingen op als gevolg van het gewijzigde getijregime in de westelijke Waddenzee, o.a. in de vloedkom van het Vlie, waardoor het tijverschil bij West-Terschelling geleidelijk toenam tot circa 1,84 m rond 1970, waarna het constant bleef. De toename werd voornamelijk veroorzaakt door verlaging van het GLW, hetgeen wijst op verdieping van de geul(en) bij West-Terschelling. Ook het GHW stijgt niet meer zo snel als voorheen. Dit alles maakt het station West-Terschelling verdacht en dus ongeschikt voor het monitoren van de relatieve zeespiegelrijzing. Om dezelfde reden valt ook het getijstation Harlingen af.



Figuur 3.7 Gemiddelde getijgegevens van West-Terschelling sinds 1887

Het getijstation Delfzijl vertoont tussen 1870 en 1965 een zeer betrouwbaar beeld, dat echter daarna werd verstoord door verdieping en verlegging van de vaargeul naar Emden en door het verleggen van de mond van de haven van Delfzijl, waarbinnen het getijstation is gelegen (Figuur 3.8). Het tijverschil is hierdoor toegenomen van circa 2,73 m tot circa 3,00 m. Dit en het mogelijk extreme karakter van de waterstanden in de tachtiger jaren maken ook dit station niet echt geschikt om trendbreuken in de relatieve zeespiegelrijzing vast te stellen. De beste mogelijkheden in dat opzicht worden alleen nog geboden door de dicht aan zee gelegen stations Den Helder en Borkum.



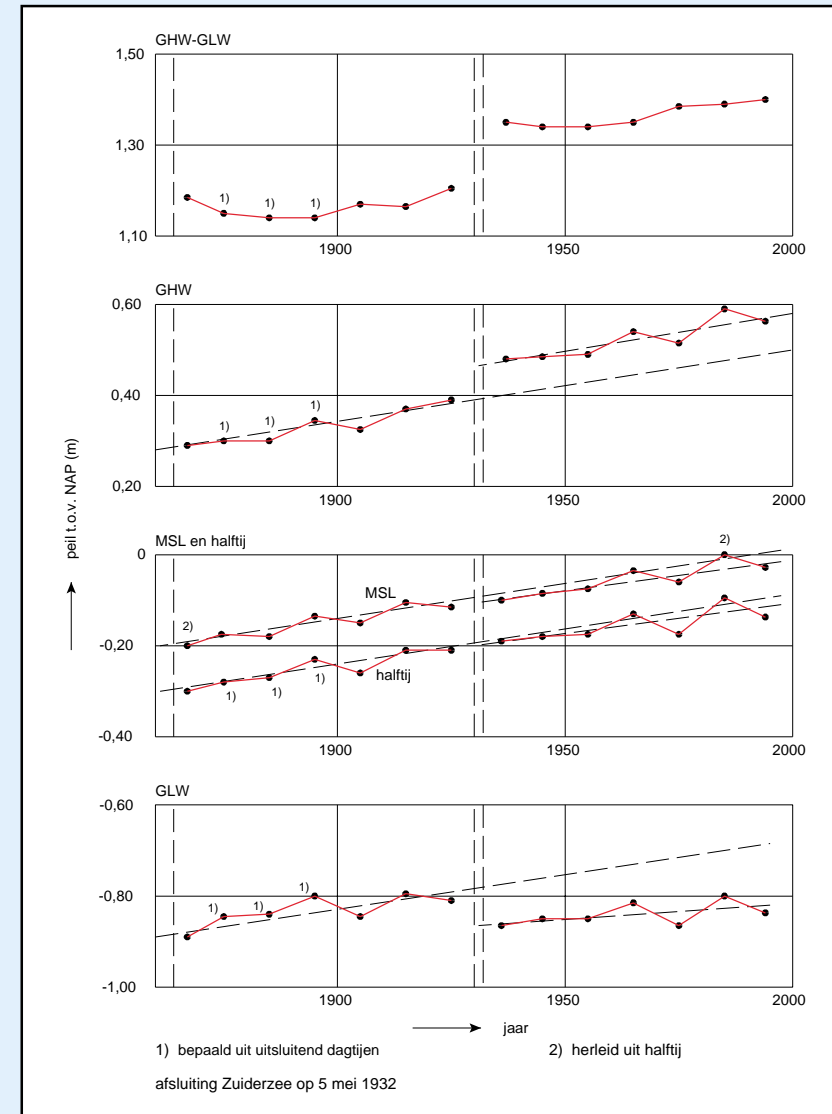
Figuur 3.8 Verloop jaargemiddelden van HW, LW en tijverschil te Delfzijl van 1871 - 1991





De gegevens van Den Helder laten zien (Figuur 3.9), dat de afsluiting van de Zuiderzee ook hier invloed heeft gehad. Het GHW is hierdoor 8 cm hoger geworden en volgt sindsdien de oorspronkelijke trend van de zeespiegelrijzing van 1,6 mm/j. Ook het GLW veranderde door de afsluiting en werd met 8 cm verlaagd. Vóór de afsluiting nam het niveau van GLW met circa 1,5 mm/j toe. Na de afsluiting liep dit, in elk geval in de periode 1933-1994, terug tot circa 1 mm/j. Door deze veranderingen bleef het halftij goed aansluiten bij de voorgaande reeks, maar met een iets gereduceerde stijging van circa 1,4 mm/j (in elk geval tot 1998). Ook het MSL lijkt op het eerste gezicht goed aan te sluiten bij de gegevens van vóór 1931. Echter hier kan gezien de andere factoren ook gesteld worden dat het MSL door de afsluiting 1 à 2 cm gezakt is en vervolgens, als gevolg van het achterblijven van het GLW bij het GHW, iets minder snel stijgt dan GHW; dat wil zeggen 1,5 mm/j in plaats van 1,6 mm/j. Beide waarden liggen echter dicht bij de geschatte zeespiegelrijzing van 1,7 mm/j.

Den Helder is een geschikt station voor de monitoring van veranderingen in de zeespiegelrijzing, indien rekening wordt gehouden met bovengenoemde effecten van de afsluiting van de Zuiderzee. Er zijn nog geen aanwijzingen dat de zeespiegelrijzing is toegenomen als gevolg van het veel besproken broeikas effect.



Figuur 3.9 Gemiddelde getijgegevens van Den Helder sinds 1865

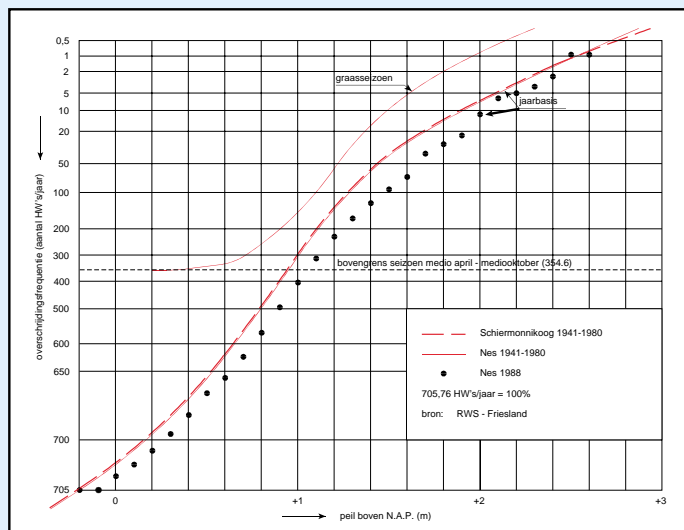


### Overschrijdingsfrequenties HW

Een belangrijke parameter voor de aanslibbing en de vegetatie op de hoge platen en kwelders is de frequentie van de overschrijding van een bepaalde waterstand. In dat verband worden in Figuur 3.10 de hoogwateroverschrijdingslijnen van Nes en Schiermonnikoog gegeven voor de periode 1941-1980. Ook hieruit blijkt dat het gedrag van HW in Nes sterk overeenkomt met dat in Schiermonnikoog.

Met de toename in het GHW, die in de tachtiger jaren optrad (Figuur 3.4), is in 1988 ook een verschuiving opgetreden in de overschrijdingsfrequentiekromme ten opzichte van het langjarige gemiddelde van 1941-1980 (Figuur 3.10). In 1988 werd een bepaald niveau tussen NAP -0,30 m en NAP +2,60 m vaker overschreden dan het langjarig gemiddelde aangeeft.

Met het toenemen van het MSL worden platen en kwelders dus vaker en langer overspoeld met zeewater. Hetzelfde effect zal optreden als bij een gelijkblijvend MSL de bodem daalt. Het effect, uitgedrukt in een toename van het aantal overspoelingen, kan uit de overschrijdingsfrequentiekromme voor GHW worden afgeleid.



Figuur 3.10 Hoogwateroverschrijdingslijnen van Nes en Schiermonnikoog

Ter ondersteuning van de monitoring van de opslibbingssnelheid en de vegetatieontwikkeling op de kwelders Nieuwlandsrijd en De Hon zijn de frequentieverdelingen van het GHW te Nes in Tabel 3.1 gegeven.

Tabel 3.1 Hoogwateroverschrijdingsgegevens Nes

Niveau (m+NAP)	Aantal HW-overschrijdingen per jaar																			1981-1997 Gem.		
	1941-1980 Gem. 1)	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998			
3.5			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
3.4			0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06
3.3			0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.11
3.2			0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0.22
3.1			1	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0.33
3	0.20	0.25	2	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0.61
2.9	0.30	0.35	2	1	1	0	0	0	0	0	0	3	1	0	1	3	1	0	0	0	0	0.72
2.8	0.40	0.50	2	1	1	1	0	0	0	0	1	3	1	0	4	3	1	0	0	0	0	1.0
2.7	0.60	0.75	2	1	2	2	0	1	0	0	1	4	1	0	4	3	1	0	0	0	0	1.2
2.6	0.90	1.1	3	1	4	2	0	1	1	1	1	5	1	0	4	4	1	1	0	1	1	1.7
2.5	1.3	1.6	4	2	4	3	2	1	1	1	1	10	3	0	5	4	2	1	0	1	2.5	
2.4	1.9	2.2	5	5	4	6	3	1	1	3	2	12	3	0	9	4	4	1	0	3	3.7	
2.3	2.7	3.2	9	7	4	10	3	1	2	4	2	13	5	2	10	5	6	1	1	5	5.0	
2.2	3.7	4.4	9	9	6	14	4	3	3	5	2	17	6	3	12	5	8	4	1	6	6.5	
2.1	5.2	6.1	14	12	7	15	5	3	4	7	4	19	8	3	15	7	10	4	3	11	8.4	
2	7.2	8.3	19	15	16	19	7	12	7	12	5	29	13	8	17	10	17	4	3	14	12.6	
1.9	10.0	12.0	25	15	26	22	9	18	7	23	7	34	17	12	21	14	19	4	6	20	16.6	
1.8	14.3	17.0	34	22	31	29	15	27	11	31	12	43	21	17	28	16	22	6	12	28	22.5	
1.7	20.5	25.0	43	34	46	33	20	36	19	41	23	56	29	19	34	28	31	13	19	36	31.1	
1.6	30.5	36.0	53	45	70	50	32	45	35	74	35	63	36	30	43	38	44	25	35	58	45.1	
1.5	44.0	52.0	74	65	99	65	47	57	53	92	63	90	49	45	55	53	60	32	50	76	62.5	
1.4	65.0	78.0	99	93	136	87	71	89	76	127	97	119	63	75	76	86	95	49	65	114	89.8	
1.3	95.0	116.0	133	134	184	119	103	134	122	175	143	151	90	99	103	129	142	82	91	153	127.1	
1.2	141.0	172.0	187	200	256	179	166	191	182	235	208	216	135	162	147	194	194	124	153	234	186.8	
1.1	212.0	259.0	280	280	348	267	249	265	274	319	294	295	193	237	200	275	267	191	234	311	265.5	
1	321.0	350.0	385	377	441	365	363	344	365	407	396	375	273	372	294	361	363	289	347	407	362.4	
0.9	400.0	455.0	487	473	521	445	469	431	452	496	474	468	352	432	393	440	450	402	451	511	452.6	
0.8	495.0	530.0	565	559	589	515	545	499	530	571	559	551	462	529	499	531	547	501	536	582	537.2	
0.7	565.0	600.0	624	605	634	587	617	567	592	624	625	610	551	587	583	608	613	563	599	635	601.3	
0.6	622.0	640.0	666	652	664	641	660	610	635	658	664	650	622	639	626	649	651	615	656	670	646.0	
0.5	660.0	670.0	687	682	678	668	681	657	666	670	682	677	652	668	668	669	671	644	675	687	671.2	
0.4	681.0	686.0	694	697	692	683	691	673	681	683	694	689	674	690	679	684	683	660	687	698	685.1	
0.3	691.0	694.0	696	702	699	695	696	687	686	700	699	697	689	700	687	693	693	674	694	703	693.9	
0.2	698.0	700.0	699	705	702	702	701	697	693	703	703	702	696	704	694	699	698	687	696	704	699.2	
0.1	701.0	702.5	701	705	703	705	703	701	698	704	705	703	697	705	699	701	701	697	701	704	701.8	
0	703.0	704.0	703	706	704	706	704	703	699	705	705	704	699	705	702	702	704	701	702	705	703.3	
Aantal HW's / jaar	705.8		705	706	705	707	705	706	705	707	706	705	705	707	706	705	706	707	706	706	705.8	

Gegevens van RWS-DGW

1) Gecorrigeerd voor zeespiegelrijzing van 1960 tot 1990



De tabel geeft lange termijngemiddelde waarden (1941-1980) en de jaargegevens vanaf 1981. Om de lange termijngemiddelden vergelijkbaar te maken met de overschrijdingsfrequenties van de jaren 1981-1998, zijn ze gecorrigeerd voor de relatieve zeespiegelrijzing van 1960 tot 1990, dat wil zeggen circa 5 cm. Vergelijking van de jaarlijkse gegevens met de gecorrigeerde gemiddelde waarden voor kwelderniveaus tussen NAP +1 à 2 m laat duidelijk zien of er relatief veel of weinig overvloedingen waren. Zo laten de jaren 1988 en 1990 relatief veel overvloedingen van de kwelders zien en volgt 1992 zeer dicht het gemiddelde. In 1991 werd de hoge kwelder relatief vaak overstroomd, terwijl de lage kwelder juist minder vaak dan gemiddeld onder water kwam te staan.

In de periode 1981 - 1998 werd het peil NAP + 2,5 m in Nes in 15 van de 17 jaren 45 keer overschreden. Het peil NAP + 2,8 m werd in 10 jaren 18 keer overschreden en het peil NAP + 3 m in 6 jaren 11 keer. Extreem hoge vloedden (hoger dan NAP + 3 m) kwamen in de periode 1981 - 1998 voor in 1981, 1983, 1990, 1993, 1994 en 1995. In de meeste gevallen traden de hoge vloedden op in de wintermaanden december, januari en februari, dus buiten het groeiseizoen. In 1990 en 1994 gebeurde dat in beide jaren zelfs 3 keer, met de hoogste vloed (NAP + 3,48 m) op 26 februari 1990 gevolgd door een tweede hoge vloed (NAP + 3,27 m) op 27 februari 1990. In 1994 gebeurde het tijdens twee opeenvolgende HW's op 28 januari, maar ook een keer (NAP + 3,01 m) pas op 13 maart.

In het algemeen kan worden gesteld dat de gemiddelde overschrijdingsfrequenties van hoge stormvloedden in de periode 1981 - 1998 hoger waren dan ervoor. Door het verschil in lengte van de beschouwde perioden kan dit toeval zijn en hoeft dit nog niet te betekenen dat er sprake is van klimaatsverandering.

### 3.3 Neerslag en verdamping

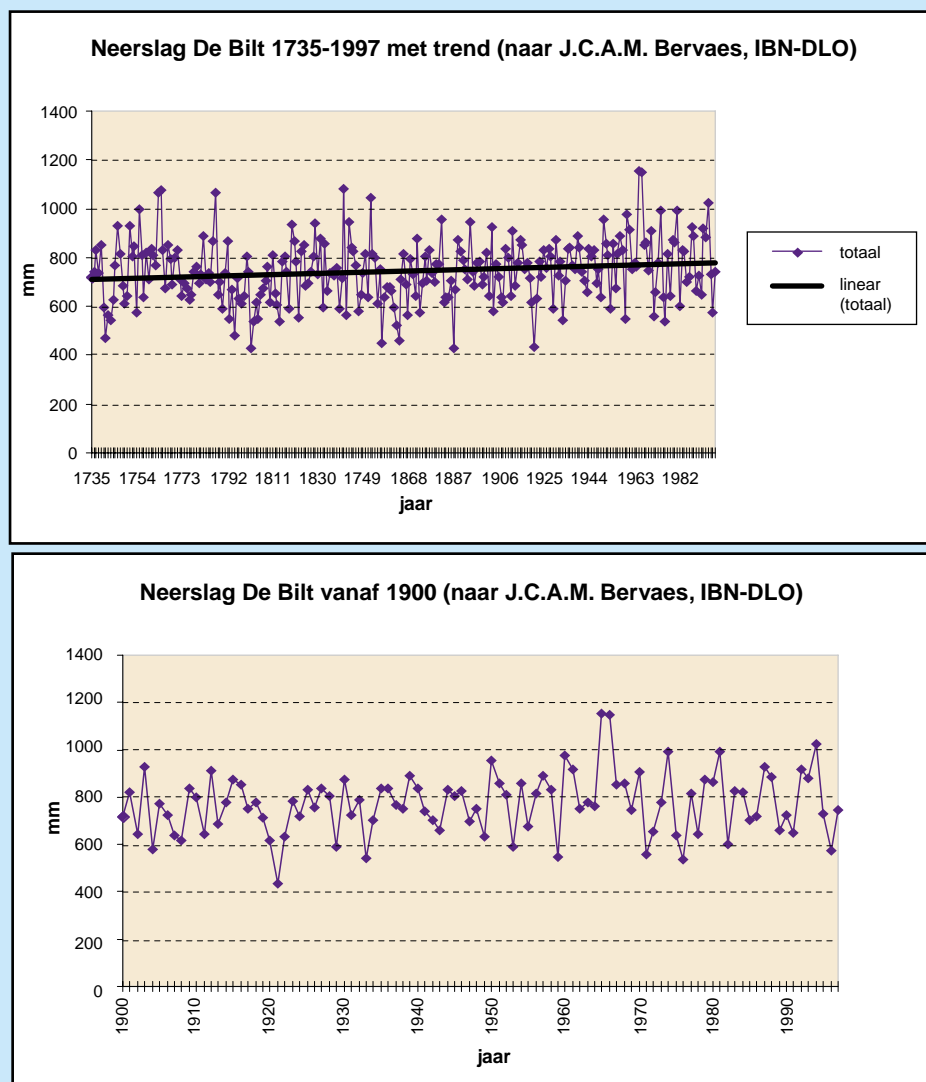
Neerslag- en verdampingscijfers geven informatie die belangrijk is voor de interpretatie van de grondwaterstanden, de resultaten van de vegetatiekartering en van eventuele problemen bij de drinkwatervoorziening op Ameland.

Uit deze cijfers kan worden afgeleid of een bepaald jaar nat of droog is geweest en ook of de verdeling van de neerslag en/of verdamping over het jaar afweek van het gemiddelde. Om dit te kunnen bepalen zijn bij het KNMI de gegevens van Nes van 1984 tot en met 1998 opgevraagd alsook langjarig gemiddelde waarden. De gegevens betreffen decade-, maand- en jaarcijfers.

#### Neerslag

Ten aanzien van de neerslagcijfers kan worden vermeld dat het KNMI sinds het midden van de 19de eeuw over een regenmeter in Nes beschikt. Hierdoor konden zowel lange termijngemiddelde waarden (1951-1980) worden verstrekt als jaarlijkse gegevens vanaf 1984. Voor het beoordelen van veranderingen in het neerslagklimaat op nog langere termijn zijn gegevens van De Bilt beschikbaar (gegevens van 1735-1997 uit het databestand van Bervaes, zie Figuur 3.11). Uit deze gegevens blijkt dat de regenval tot circa 1900 rond een vrijwel constante gemiddelde waarde van ongeveer 725 mm/jaar schommelde. De jaarlijkse regenval varieerde overwegend van 550 tot 950 mm met uitschieters van 1050 tot 1150 mm in zeer natte jaren en van 400 tot 450 mm in zeer droge jaren. Na 1900 is het gemiddelde geleidelijk toegenomen tot circa 800 mm/jaar in 1950. Sinds die tijd is dat niet meer veranderd. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de gemiddelde waarden uit de gegevens van Nes van de periode 1951-1980 representatief zijn als lange termijngemiddelde voor de huidige situatie.

De gemiddelde neerslag in Nes in de periode 1984-1998 bedroeg 860,4 mm/jaar en was daarmee hoger dan het lange termijngemiddelde van 793,9 mm/jaar. Dit wordt met name veroorzaakt door een aaneenschakeling van natte jaren in de periode 1992-1995 met een extreem nat 1994.



Figuur 3.11 Neerslaggegevens De Bilt 1735-1997

### Verdamping

Ten aanzien van de verdampingscijfers is de situatie wat ingewikkelder. Naar aanleiding van de aanvraag van de gegevens in 1989 werd door het KNMI vermeld dat verdamping voor Ameland niet werd opgetekend. De dichtstbijzijnde locatie hiervoor was Terschelling, waarvoor de verdampingswaarden pas sinds april 1987 werden berekend. De verdampingscijfers worden door het KNMI gepresenteerd als referentiegewas-verdamping gebaseerd op de methode Makkink (zie Appendix 1). Voor de op langjarige metingen gebaseerde normaalwaarden was Den Helder het meest representatieve station. Dit werd ondersteund door een vergelijking van de berekende jaarsom van de verdamping over 1988 voor Den Helder met die van Terschelling; die bedroegen respectievelijk 551,3 mm en 541,5 mm. Het verschil is slechts 2 procent, terwijl per afzonderlijke maand het verschil nooit meer dan circa 4 mm bedroeg. De gegevens van 1989 zijn verstrekt als gegevens voor het station Nes, terwijl die van 1990 weer gelden voor Terschelling. Per 1 januari 1991 is de registratie van de gegevens voor de referentiegewasverdamping op Terschelling gestaakt. De meest nabij gelegen locatie, waar voldoende gegevens worden geregistreerd, is Lauwersoog. Dit station ligt op een kunstmatig eiland in de Lauwersdijk en wordt sinds april 1991 voor het bepalen van de referentiegewasverdamping gebruikt. De gegevens van de periode januari-maart 1991 zijn bepaald voor station De Kooy bij Den Helder. Ook de gegevens van 1992 t/m 1996 en van 1998 gelden voor Lauwersoog, terwijl die van 1997 voor Hoorn gelden.

De gegevens van 1984 t/m 1987 zijn op verzoek van het Alterra later aangevraagd. Deze verdampinggegevens zijn door het KNMI ditmaal gegeven als verdamping van een vrij wateroppervlak te Ameland volgens Penman. Om deze gegevens te kunnen vergelijken met de gewasverdamping volgens Makkink moesten ze worden vermenigvuldigd met een gewasfactor, die voor het gebied op Ameland op 0,8 kan worden gesteld. In dit rapport zijn alle gegevens omgerekend naar Makkink.

Hoewel het wisselen van referentiestation en type verdampingscijfer enige onzekerheid in de resultaten kan introduceren, hetgeen vanuit een weten-



schappelijk oogpunt ongewenst is, zijn de fouten naar verwachting gering. Dit blijkt uit de berekeningen, die het KNMI voor Den Helder en Terschelling heeft gemaakt, en mag ook worden verwacht gezien de geringe gradiënten in de klimaatgegevens van het Waddengebied. Ook moet in dit verband worden bedacht dat de berekende “referentie-gewas-verdamping” slechts een potentiële verdampingssnelheid aangeeft, die alleen plaatsvindt als er ook voldoende water voor verdamping aanwezig is. Tijdens een droge periode is de werkelijke verdamping lager dan de potentiële verdamping. Deze laatste is slechts een parameter om de verdampingscondities te karakteriseren. De verstrekte gegevens zijn in dit verband voldoende betrouwbaar voor dit onderzoek.

De variatie in de gewasverdampingscijfers is zowel in absolute als in relatieve zin beduidend minder dan de variatie in de neerslagcijfers. De over de periode 1984-1998 gemiddelde verdamping lag met 565 mm/jaar iets onder het lange termijngemiddelde van 579 mm/jaar.

De verzamelde neerslag- en verdampingscijfers zijn gegeven in de Tabellen 3.2a-e (1984-1998). Deze zijn opgenomen in Bijlage 1, na de beschrijving van de methode Makkink.

Tabel 3.2d is hier opgenomen vanwege de uitzonderlijke waarden voor Ameland in 1994.

Tabel 3.2d Neerslag en verdamping 1993, 1994 en 1995 te Nes (Ameland) en Lauwersoog

## Nes (Ameland)

Neerslagsommen in millimeters

periode	1951-1980				1993				1994				1995			
	decade 1	decade 2	decade 3	maand	decade 1	decade 2	decade 3	maand	decade 1	decade 2	decade 3	maand	decade 1	decade 2	decade 3	maand
jan	22.7	20.7	21.2	64.6	10.4	22.3	41.7	74.4	33.0	20.6	47.7	101.3	29.1	20.4	84.7	134.2
feb	17.1	16.4	10.4	43.9	0.6	5.6	15.0	21.2	14.4	0.4	19.6	34.4	27.4	44.6	23.6	95.6
mrt	10.4	15.3	18.5	44.2	2.9	2.2	4.9	10.0	35.3	30.6	31.0	96.9	37.7	15.0	36.3	89.0
apr	17.7	15.8	13.0	46.5	19.8	8.3	2.5	30.6	56.8	10.5	24.8	92.1	1.4	8.1	1.5	11.0
mei	14.6	17.1	14.7	46.4	0.5	13.7	55.4	69.6	17.0	33.5	21.4	71.9	0.5	15.6	77.6	93.7
jun	17.1	18.1	22.3	57.5	6.8	10.7	5.2	22.7	21.6	2.4	13.9	37.9	62.0	37.0	0.0	99.0
jul	22.4	27.9	30.6	80.9	12.6	18.5	72.3	103.4	56.5	6.6	14.3	77.4	45.8	32.5	24.7	103.0
aug	25.6	26.4	32.1	84.1	32.1	21.5	42.1	95.7	40.2	38.2	23.3	101.7	0.2	0.0	53.8	54.0
sep	23.4	26.2	23.2	72.8	24.3	40.5	91.4	156.2	56.8	95.7	2.5	155.0	64.7	26.1	48.9	139.7
okt	27.5	23.6	28.9	80.0	70.1	26.1	24.4	120.6	25.5	0.5	63.4	89.4	30.6	0.5	9.0	40.1
nov	33.3	29.9	26.9	90.1	1.0	55.4	0.0	56.4	5.6	47.5	7.7	60.8	29.0	44.0	10.5	83.5
dec	29.8	27.5	25.6	82.9	45.4	85.5	61.0	191.9	24.0	28.4	47.1	99.5	0.0	4.4	18.8	23.2
totaal				793.9				952.7				1018.3				966.0

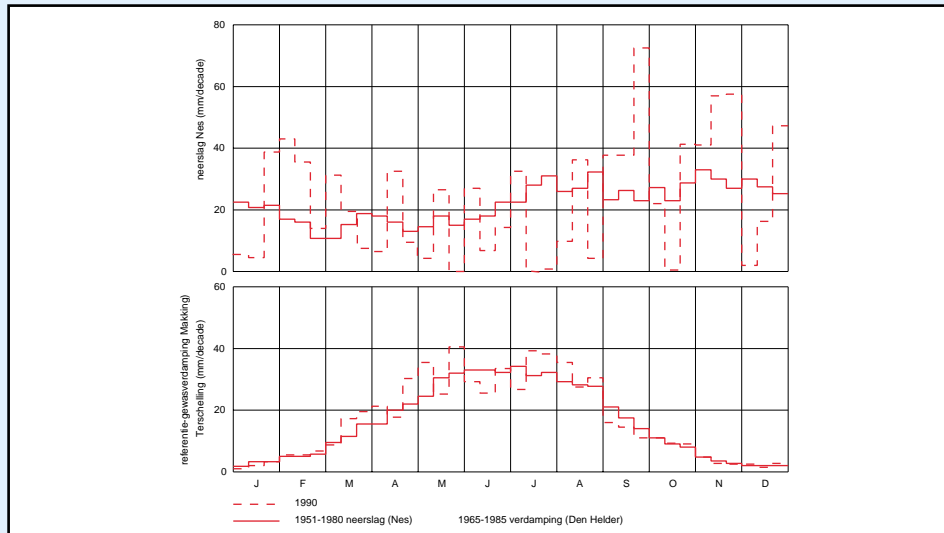
## Lauwersoog (tenzij anders vermeld)

Verdamping in millimeters (Makkink)

periode	1965-1985 Den Helder				1993				1994				1995			
	decade 1	decade 2	decade 3	maand	decade 1	decade 2	decade 3	maand	decade 1	decade 2	decade 3	maand	decade 1	decade 2	decade 3	maand
jan	2.0	3.0	3.0	8.0	1.9	2.6	2.9	7.4	2.0	2.3	3.6	7.9	2.5	3.2	3.3	9.0
feb	5.0	5.0	6.0	16.0	2.4	3.6	5.6	11.6	3.7	6.0	3.8	13.5	3.5	7.1	6.3	16.9
mrt	9.0	11.0	15.0	35.0	9.0	12.5	18.0	39.5	7.6	10.8	14.1	32.5	8.6	12.9	15.2	36.7
apr	15.0	20.0	22.0	57.0	12.5	16.5	30.4	59.4	13.3	17.3	20.9	51.5	16.2	16.6	22.3	55.1
mei	24.0	30.0	32.0	86.0	31.6	29.3	32.2	93.1	19.3	28.4	28.4	76.1	30.9	25.4	37.3	93.6
jun	33.0	33.0	32.0	98.0	39.4	26.3	34.0	99.7	25.3	30.1	37.3	92.7	21.9	24.0	37.8	83.7
jul	34.0	31.0	32.0	97.0	29.7	23.4	22.2	75.3	36.0	44.7	43.8	124.5	36.1	33.6	43.5	113.2
aug	29.0	28.0	27.0	84.0	22.3	23.7	22.7	68.7	36.9	24.2	25.8	86.9	36.3	36.5	28.0	100.8
sep	21.0	17.0	14.0	52.0	16.8	14.2	10.3	41.3	16.3	13.2	15.1	44.6	15.1	17.7	12.6	45.4
okt	11.0	9.0	8.0	28.0	7.5	8.6	5.2	21.3	11.1	10.5	6.1	27.7	11.7	8.5	9.1	29.3
nov	5.0	4.0	3.0	12.0	2.8	3.8	1.9	8.5	5.5	2.6	3.7	11.8	4.6	3.1	2.8	10.5
dec	2.0	2.0	2.0	6.0	1.0	1.7	1.5	4.2	2.2	2.3	1.9	6.4	1.6	1.5	2.2	5.3
totaal				579.0				530.0				576.1				599.5



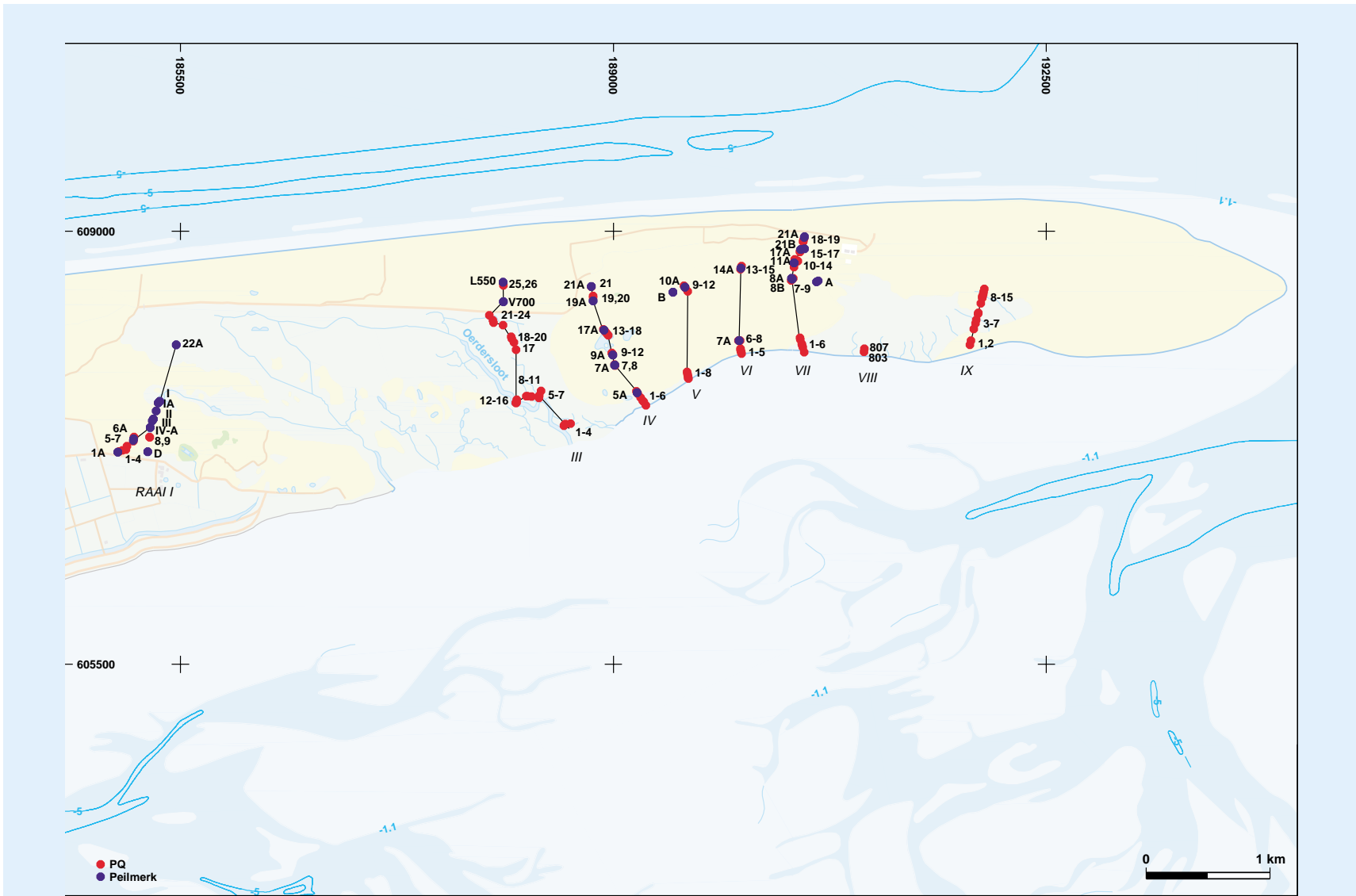
Als voorbeeld zijn de gegevens van 1990 hieronder grafisch uitgezet in Figuur 3.12.



Figuur 3.12 Neerslag en verdamping voor Ameland 1990

### 3.4 Grondwaterstanden en pq's

De grondwaterstand in de duinen is een belangrijke parameter voor de vegetatie in de duingebieden. Omdat hierover op Ameland niets bekend was, is ook in de voorgaande studie reeds bij het merendeel van de permanente quadraten (pq's) in de duingebieden een peilbuis geplaatst. Ten behoeve van het monitoringsonderzoek zijn in de tweede helft van oktober 1988 de raaien I, III, IV, VI, VII en IX van het voorafgaande onderzoek geselecteerd en nagelopen. Ook zijn de oorspronkelijke locaties van de pq's en de bijbehorende grondwaterpeilbuizen weer opgezocht en gemarkeerd. Waar nodig zijn verdwenen peilbuizen herplaatst en in raai VI zijn enkele nieuwe pq's en peilbuizen bijgeplaatst. Uiteindelijk zijn al deze punten en peilbuizen (Figuur 3.13) door de NAM opnieuw ingemeten en gewaterpast. De gegevens hiervan zijn vastgelegd in NAM (1988b).



Figuur 3.13 Raaien voor opslibbings- en vegetatieonderzoek Ameland





In 1990 is een doorgaande zanddijk op Deltahoogte door de Kooiduinen aangelegd. Dit heeft tot het verlies van enkele pq's en grondwaterpeilbuizen in Raai I geleid. In september 1991 zijn hier enkele nieuwe peilbuizen geplaatst. In 1991 zijn tevens de pq's 3 en 7 van kwelderraai VIII weer toegevoegd en meegenomen in de waterpassing van 1991. Rond elke vegetatieopname zijn de betreffende pq's en peilbuizen in de duinen of alleen de pq's op de kwelders opnieuw gewaterpast.

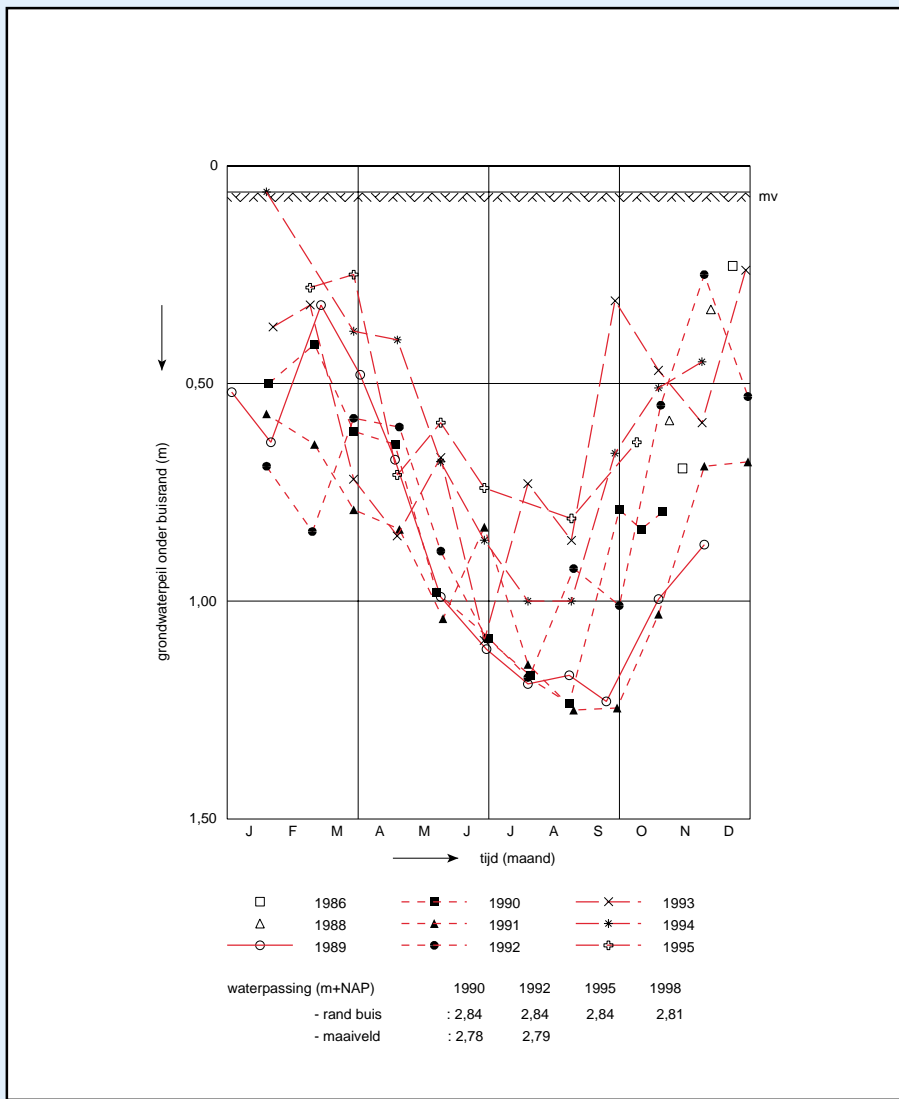
De grondwaterpeilbuizen zijn, op enkele uitzonderingen na, elk in de buurt van een pq geplaatst. Daarnaast wordt ook gebruik gemaakt van de vier bestaande peilbuizen van RWS-Ameland in de Kooiduinen, waarvan er in 1991 ook één (buis III) moest worden vervangen (door buis IIIA) in verband met de aanleg van de zanddijk in de Kooiduinen. De WL/IBN-peilbuizen staken oorspronkelijk slechts tot circa 1,50 m beneden maaiveld en zijn eenvoudig van constructie. Tegen beschadiging door vertrapping zijn beschermbeugels over de buizen geplaatst, hetgeen in de voorgaande studie goed heeft voldaan. Beschadiging door vandalisme blijft mogelijk, maar moest om economische redenen worden aanvaard.

Om het risico van gegevensverlies zo gering mogelijk te houden worden alle pq's en grondwaterpeilbuizen elk jaar na het vakantie seizoen nagelopen en eventueel hersteld.

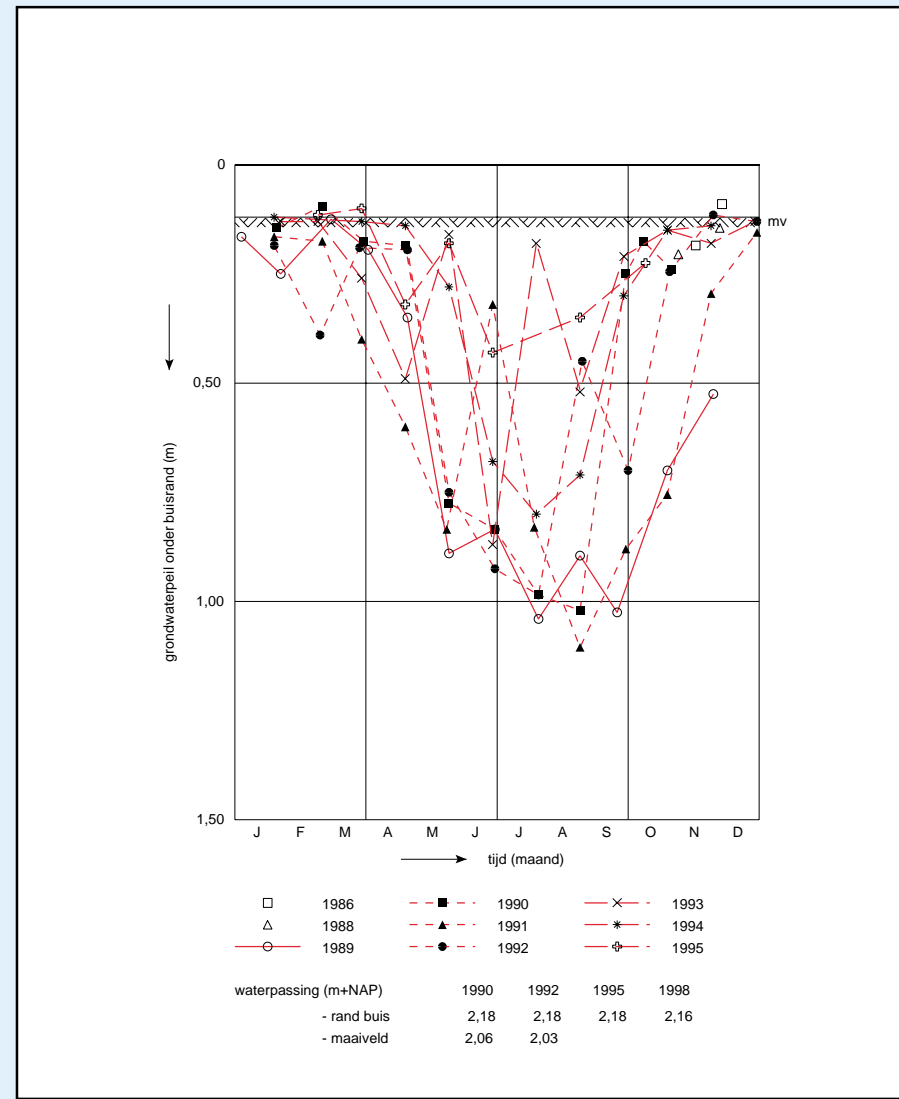
Sinds het najaar van 1988 tot 1995 werden alle 28 grondwaterpeilbuizen in principe maandelijks afgelezen. Door de droge zomer in 1989 viel er een aantal relatief hooggelegen peilbuizen droog. Mede om deze reden, maar voornamelijk voor het meten van grondwaterkwaliteit, zijn naast de oorspronkelijke peilbuizen (a-buizen) nog andere peilbuizen geplaatst (b- en c-buizen). Ook in deze buizen werd tot 1995 maandelijks het grondwaterpeil bepaald. Deze werd in alle buizen ten opzichte van de bovenrand gemeten met een nauwkeurigheid van circa 0,5 cm. Met behulp van de waterpasgegevens kunnen deze aflezingen worden omgerekend tot grondwaterpeilen ten opzichte van NAP (absoluut niveau) of van het maaiveld (relatief niveau). Vanaf 1995 werden de maandelijks aflezingen beperkt tot het groeiseizoen (maart t/m september).

Uit de meetresultaten blijkt dat er over het jaar aanzienlijke fluctuaties in de grondwaterspiegel optreden; in de orde van 0,75 m tot 1,0 m (Figuren 3.14a-e). In grote lijnen geven de fluctuaties in de verschillende peilbuizen een zelfde beeld, doch in detail zijn er wel verschillen te zien. Dit komt doordat de mechanismen, die deze fluctuaties veroorzaken, niet overal hetzelfde of even sterk zijn. De geselecteerde punten geven een typisch beeld voor de volgende omstandigheden:

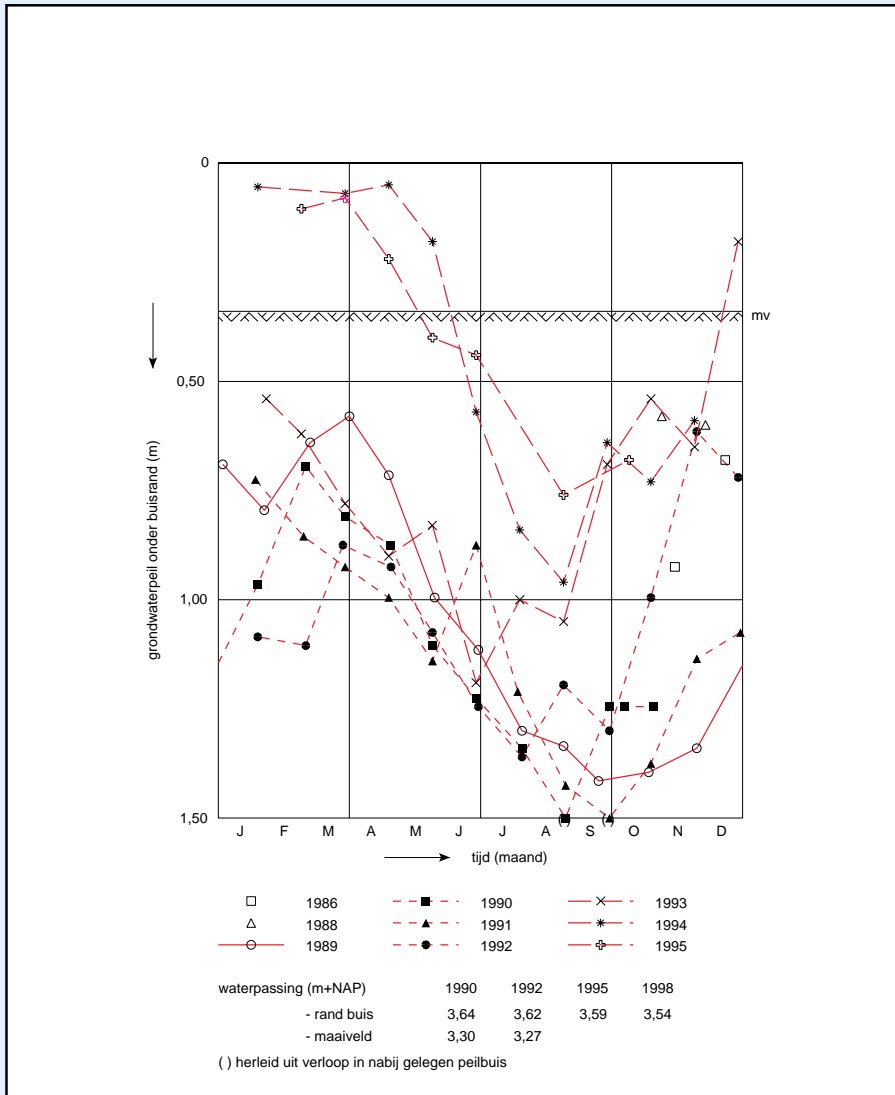
- **Punt D** : een relatief hooggelegen punt in raai I in een kom aan de polderzijde van de Kooiduinen (achter de HW-kering),
- **Punt 22A** : een punt in raai I op het hogere deel van de kwelder Nieuwlandsrijd,
- **Punt 7A** : een vrij hoog gelegen punt in raai IV in een kom in Het Oerd,
- **Punt 21B** : een punt in raai VII in een lage duinvallei bij de NAM-locatie,
- **Punt A** : een punt tussen de raaien VII en VIII in het overgangsgebied tussen de Oerderduinen en De Hon.



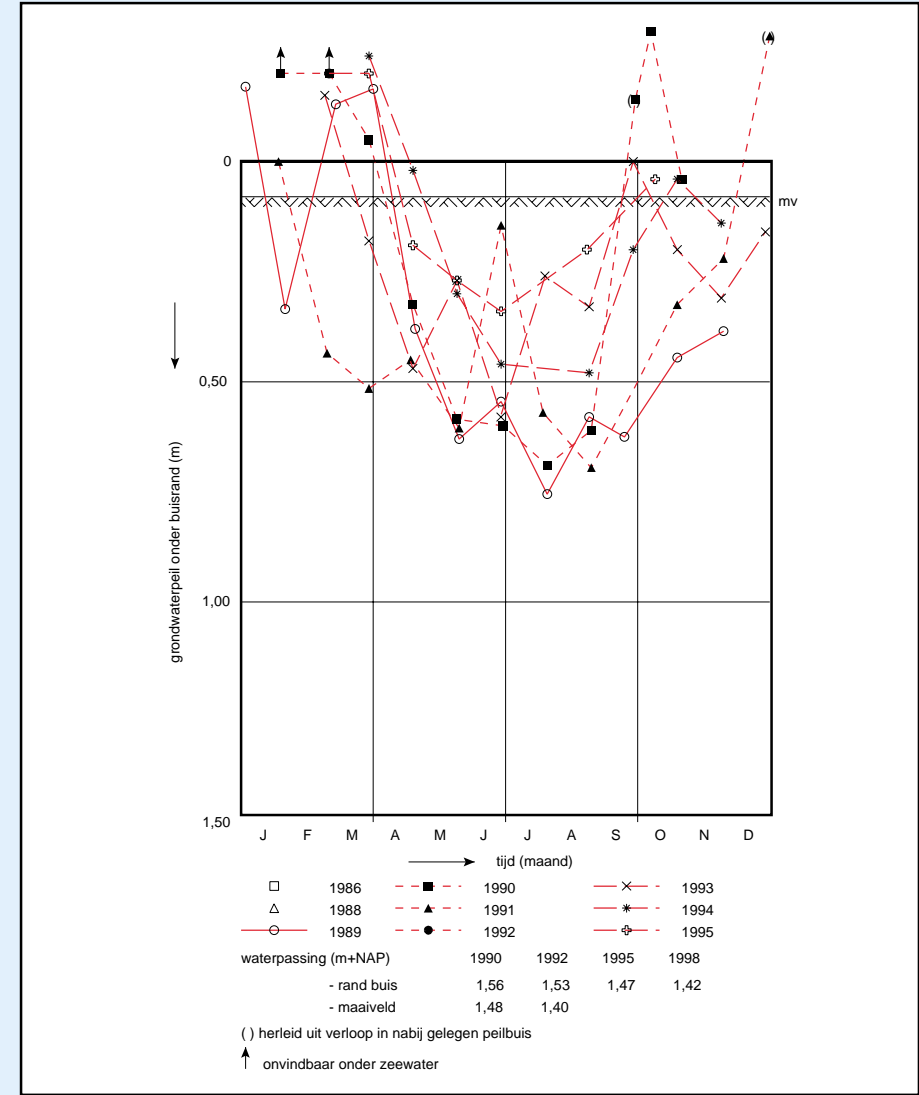
Figuur 3.14a Fluctuaties in grondwaterstand peilbuis Da in raai I, Kooiduinen



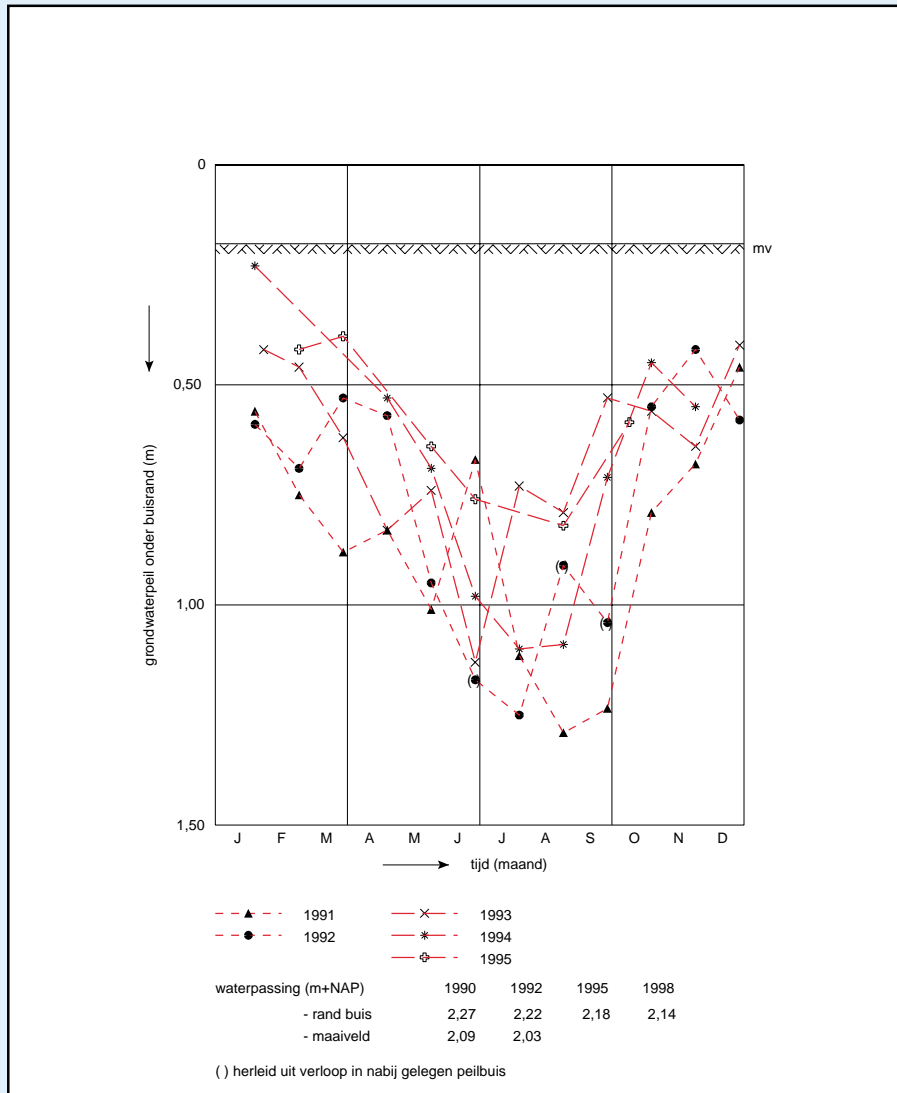
Figuur 3.14b Fluctuaties in grondwaterstand peilbuis 22a in raai I, Zoute Weide



Figuur 3.14c Fluctuaties in grondwaterstand peilbuis 7a in raai IV, Het Oerd



Figuur 3.14d Fluctuaties in grondwaterstand peilbuis 21b in raai VII, Duinvallei



Figuur 3.14e Fluctuaties in grondwaterstand peilbus Ac tussen Raaien VII en VIII, De Hon

De fluctuaties kunnen worden veroorzaakt doordat afwijkingen van de gemiddelde condities optreden, die het gemiddelde grondwaterniveau bepalen. De parameters die hierbij relevant zijn, zijn variaties in:

- neerslag,
- verdamping en
- zeespiegelstand en/of polderpeil.

Uit de langjarige gemiddelde waarden voor neerslag en verdamping blijkt dat er vanaf de derde decade in februari tot de tweede decade in september een lagere netto aanvoer van regenwater is dan gemiddeld en een hogere in de rest van het jaar. Het tekort in de “droge” periode is gemiddeld 208 mm water, i.e. circa 0,5 m grondwaterkolom. Dit deel van de fluctuatie zou voor alle stations gelijk zijn, indien er geen oppervlakteafvoer zou zijn. In werkelijkheid zal bij zware regenval een deel van de neerslag op hoge delen langs het oppervlak naar lagere delen afstromen. Als het via een vallei direct naar zee of een sloot afstroomt, draagt het niet bij aan de grondwaterstand. Indien het echter afstroomt naar een kom, dan wordt het daar opgevangen en draagt het daar extra bij aan de grondwaterstand. Dit leidt op zich tot lokale gradiënten in de grondwaterstand en horizontale grondwaterstroming, waardoor de lokale pieken en dalen in de grondwaterspiegel na een zware regenbui weer vrij snel uitvlakken. Geleidelijke variaties in de (maandgemiddelde) zeespiegelstand of in het polderpeil (Buurdergrie) beïnvloeden de afstroming van het zoete grondwater naar zee. Bij een hogere dan de jaargemiddelde waterstand reduceert de afvoer naar zee en bij een lagere waterstand treedt een versnelde afvoer op. De gemiddelde zeespiegelstand varieert circa 0,3 à 0,4 m over het jaar zoals aangegeven in Figuren 3.2 en 3.3.

De grondwaterstand in de buitendijkse delen wordt bovendien nog beïnvloed door aanvoer van zeewater tijdens stormvloed, waarbij het gebied onder water komt te staan en zeewater in de bodem infiltreert. Hoge zeespiegel en stormvloed treden overwegend op in het najaar en de winter, wanneer er ook een hoger neerslagoverschot is. In het voorjaar en in de zomer is het neerslagoverschot het laagst en is ook de gemiddelde zeespiegel laag. Door



het samenvallen van deze seizoenfluctuaties, kunnen de grote grondwaterspiegelvariaties geheel worden verklaard. Per jaar kan het beeld van de grondwaterfluctuatie sterk verschillen. De minimum grondwaterstand vertoont de minste fluctuatie en het maximum de grootste, terwijl het hele beeld één of twee maanden kan verschuiven als gevolg van een vroeg of laat, een lang of kort stormseizoen.

De bodemdaling is globaal een orde geringer dan de jaarlijkse fluctuatie in de grondwaterspiegel, maar wel blijvend. De afstand tussen het maaiveld en de gemiddelde grondwaterstand zal met de lokale bodemdaling afnemen. Deze laatste volgt uit de nauwkeurigheidswaterpassingen. Correcties voor erosie of zandafzetting in het duingebied door wind zijn minimaal als gevolg van de dichte vegetatie. Bovendien is dit, als het optreedt, een natuurlijk verschijnsel dat niet of nauwelijks door de bodemdaling wordt beïnvloed.

### Grondwaterstanden in 1994 in en rond Het Oerd en de Oerderduinen

Naar aanleiding van het sterftevraagstuk rond de meidoorns in enkele valleitjes in de Oerderduinen zijn de grondwaterstanden in dit gebied nog eens nader bekeken voor het extreem natte jaar 1994. Uit de gegevens is een selectie gemaakt van buizen in raai IV dwars over Het Oerd en het Oerdswater, raai VI met buis 7A in vallei 3 in de Oerderduinen en in de valleien ten noorden ervan, raai VII net ten oosten van de Oerderduinen en enkele andere buizen in een raai langs de noordzijde van de Oerderduinen. De grondwaterstanden van januari t/m mei 1994 zijn omgerekend naar NAP. Het peil van de bovenkant buis is geïnterpoleerd tussen de waterpassingen van 1992 en 1995 en het peil van het maaiveld is hier van afgeleid.

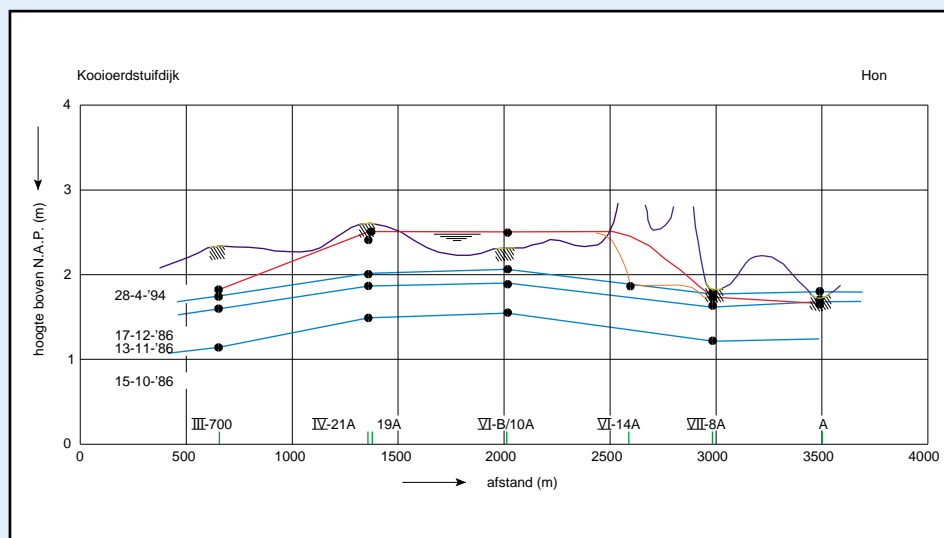
De resultaten staan in Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Grondwaterstanden rond Het Oerd en de Oerderduinen in 1994 (het eerste cijfer van het peilbuisnummer verwijst naar het raainummer)

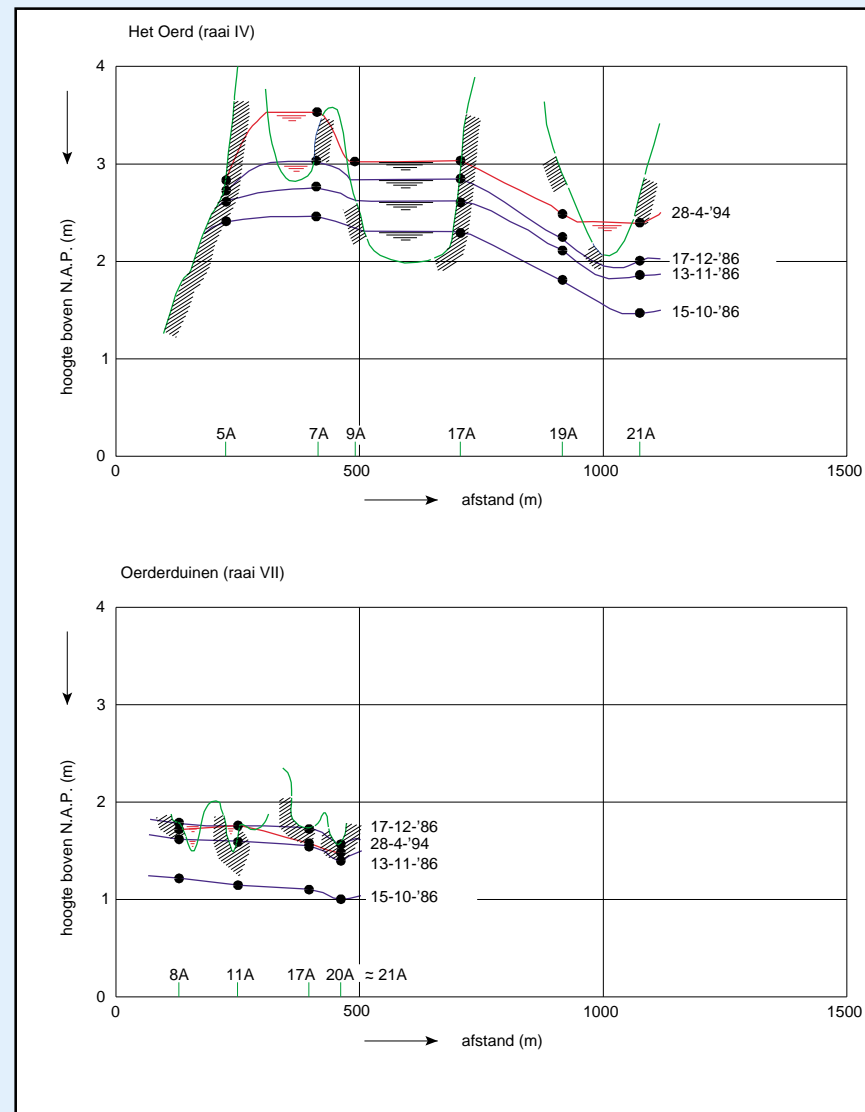
Peilbuis	Coördinaten		1994		28-jan 28 mrt 28-apr 28 mei				1994		28-jan 28 mrt 28-apr 28 mei				Opmerkingen
	X	Y	Peilbuis (m+NAP)	BKB m+mv	waterpeil (cm-BKB)				mv (m+NAP)		waterpeil (m+NAP)				
4-5A	188742	607697	2.96	0.20	7	16	15	27	2.76	2.89	2.80	2.81	2.69	Tot in mei onder water	
4-5Ab	188743	607697	2.96	0.22	5	14	12	22	2.74	2.91	2.82	2.84	2.74	Tot 28 mei onder water	
4-7A	188561	607920	3.60	0.34	5.5	7	5	18	3.26	3.55	3.53	3.55	3.42	Tot na 28 mei onder water	
4-7Ab	188561	607919	3.45	0.17	-9.5	-6	-8	6	3.28	3.55	3.51	3.53	3.39	Tot na 28 mei onder water	
4-9A	188545	607999	3.21	0.36	28	23	18	27	2.85	2.93	2.98	3.03	2.94	Tot na 28 mei onder water	
4-9Ab	188545	607999	3.17	0.27	20	16	13	20	2.90	2.97	3.01	3.04	2.97	Tot na 28 mei onder water	
4-17A	188475	608201	3.15	0.41	20.5	15	11	19	2.74	2.95	3.00	3.04	2.96	Tot na 28 mei onder water	
4-17Ab	188475	608201	3.05	0.23	11	5.5	1	8	2.82	2.94	3.00	3.04	2.97	Tot na 28 mei onder water	
4-19A	188387	608439	vervallen		weg										
4-19Ab	188387	608439	2.88	0.07	34	36	38	48	2.81	2.54	2.52	2.50	2.40		
4-21A	188372	608555	2.72	0.22	25	28	32	57	2.50	2.47	2.44	2.40	2.15	grondwater tot in april vlak onder mv	
4-21Ab	188372	608555	2.54	0.07	9	9	14	36	2.47	2.45	2.45	2.40	2.18	grondwater tot in april vlak onder mv	
6-7A	189567	608116	3.32	0.21	72	80	88	105	3.11	2.60	2.52	2.44	2.27		
6-7Ab	189567	608116	3.06	0.05	44	52	60	79	3.01	2.62	2.54	2.46	2.27		
6-10A	189128	608549	2.36	0.21	17	-15	-13	-0.5	2.15	2.19	2.51	2.49	2.37	Tot na 28 mei onder water	
6-10Ab	189128	608549	2.36	0.21	16	-15	-13	-0.5	2.15	2.20	2.51	2.49	2.37	Tot na 28 mei onder water	
6-14A	189579	608703	2.32	0.55	17	29	42	68	1.77	2.15	2.03	1.90	1.64	Tot in mei onder water	
6-14Ab	189580	608703	2.14	0.39	2	7	20	48	1.75	2.12	2.07	1.94	1.66	Tot in mei onder water	
7-8A	189995	608615	1.74	0.07	-13	2.5	2	18	1.67	1.87	1.72	1.72	1.56	Tot in mei onder water	
7-8Ab	189995	608614	1.75	0.09	-13	2.5	2.5	16	1.66	1.88	1.73	1.73	1.59	Tot in mei onder water	
7-8B	189990	608620	2.21	0.29		42	49	64	1.92		1.79	1.72	1.57	In jan onder water	
7-8Bb	189990	608620	2.22	0.30	32	40	45	62	1.92	1.90	1.82	1.77	1.60	In jan onder water	
7-11A	190012	608745	vervallen												
7-11Ab	190011	608745	1.90	0.30	2	10	12	37	1.60	1.88	1.80	1.78	1.53	Tot in mei onder water	
7-17A	190065	608853	1.93	0.07	6	19	37	63	1.86	1.87	1.74	1.56	1.30	In jan onder water	
7-17Ab	190065	608853	1.96	0.07	9	19	37	62	1.89	1.87	1.77	1.59	1.34	In jan onder water	
7-21A	190093	608950	1.98	0.09	-11	23	51	78	1.89	2.09	1.75	1.47	1.20	In jan onder water	
7-21B	190096	608858	1.49	0.08	-11	-24	2	30	1.41	1.60	1.73	1.47	1.19	Tot in mei onder water	
7-21Bb	190097	608858	1.61	0.28		-11	12	40	1.33		1.72	1.49	1.21	Tot in mei onder water	
7-A	190207	608601	vervallen		weg										
7-Ab	190192	608591	2.16	0.14	-2		50	droog	2.02	2.18		1.66		In jan onder water	
7-Ac	190192	608590	2.19	0.18	23		53	69	2.01	1.96		1.66	1.50		
3-V700	187661	608431	2.33	0.02	34	51	51	70	2.31	1.99	1.82	1.82	1.63		
3-L550	187657	608590	1.94	0.06	1	9	13	25	1.88	1.93	1.85	1.81	1.69	Tot in maart onder water	
3-L550b	187657	608590	1.95	0.07	1	9	13	32	1.88	1.94	1.86	1.82	1.63	Tot in maart onder water	



Uit de grondwaterstanden van buis IV-7A (zie Figuur 3.14c) volgt dat de natte jaren 1993, 1994 en 1995 tot hoge grondwaterstanden hebben geleid. Vooral in het begin van 1994 waren ze extreem hoog en duurde dat zelfs tot eind mei. Om de grondwaterstanden meer in onderlinge samenhang te zien, zijn die van 28 april 1994 geplot in de raaien, zoals gepresenteerd in het voor-spellingsrapport van WL en RIN uit 1987 (Figuren 3.15, en 3.16).



Figuur 3.16 Grondwaterstanden Kooioerdstuifdijk-De Hon (langsraai)



Figuur 3.15 Grondwaterstanden in het Oerd en de Oerderduinen (raaien IV en VII)



Uit de figuren blijkt het volgende:

1. De grondwaterspiegel in duinen neemt in perioden met regenoverschot min of meer gelijkmatig toe en kan in duinpannen en valleien met drempels tot boven maaiveld stijgen.
2. Door verschil in verhouding tussen de grootte van een duinpan en het bijbehorende "stroomgebied" kunnen de waterstanden in verschillende duinpannen, vooral na hevige regenval, verschillen.
3. Het grondwater uit Het Oerd en de Oerderduinen stroomt uiteindelijk zijdelings af. Aan de zuidzijde gebeurt dit rechtstreeks naar de Waddenzee, aan de westzijde gebeurt dit gedeeltelijk via het Nieuwlandsrijd en aan de noord en oostzijde gedeeltelijk via oppervlakteafvoer door de valleien naar de Waddenzee en gedeeltelijk via grondwaterstroming naar de Noordzee en de Waddenzee.
4. In de vallei ten noorden van het duincomplex (met de buizen IV-19A en 21A, VI-B en 10A) zit een drempel, waardoor er in 1994 water in bleef staan tot NAP +2,49 m in april en NAP +2,37 m eind mei (zie Figuur 3.16).
5. In de valleien zonder drempel vindt vrije afstroming plaats, waardoor daar de grondwaterspiegel in de beschouwde periode vlak boven of onder het maaiveld stond (Figuur 3.16, buizen VI 14A, VII-8A en A).
6. Uit Figuur 3.15 blijkt duidelijk dat de (grond-)waterstand in de duinen tussen de peilbuis IV-5A op de zuidflank en die in de vallei aan de noordzijde (buis IV-7A) hoger was dan aan de randen.
7. Buis VI-7A staat niet op de zuidflank van de Oerderduinen, maar nabij vallei 3 en kan representatief worden gesteld voor de grondwaterstand in de valleitjes 3, 4 en 5. waar de meidoornsterfte is opgetreden. De grondwaterstand in al deze valleien is gelijk. Tijdelijk kunnen echter kleine verschillen optreden tussen de grondwaterstanden in deze valleitjes. Dit ontstaat door verschil in trechterwerking bij zware regenval. Op 28 april 1994 stond de grondwaterstand op NAP + 2,44 m in buis VI-7A in vallei 3 aan de zuidzijde en NAP + 2,49 in buis VI-10A aan de noordzijde van de Oerderduinen. Eind mei was dit peil waarschijnlijk nog maar 0,15 à 0,20 m gezakt.

Naast de extreme regenval kunnen ook de hoge stormvloed, die in 1994

zijn opgetreden (NAP + 3 m werd 2x overschreden in januari en 1x in maart), van invloed zijn geweest op de hoge grondwaterstanden. Enerzijds kan hierdoor zeewater zijn aangevoerd naar valleien met lage drempels (directe bijdrage aan grondwater) en anderzijds wordt de afstroming van grondwater naar zee door een hoge zeestand geremd (minder verhang in grondwaterspiegel).

### 3.5 Grondwaterkwaliteit

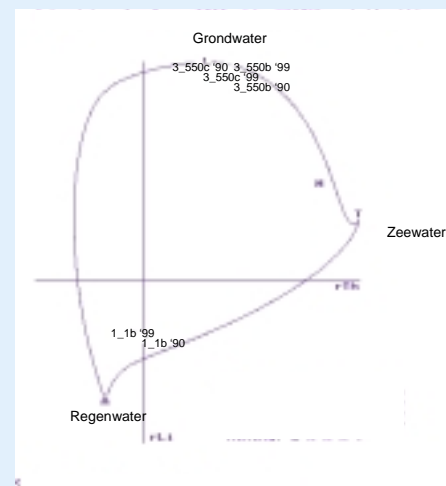
De variabiliteit van waterkwaliteit in ongestoorde duinvalleien is één van de parameters die van invloed zal zijn op het type vegetatie dat zich daar kan handhaven. Verzamelen van informatie op dit vlak leidt, naast de informatie van andere relevante parameters en de vegetatieopnamen, tot meer inzicht in de relatie tussen het type vegetatie en de omgevingscondities. Omdat er nog weinig ervaring op dit gebied bestaat, was het moeilijk om op voorhand criteria te formuleren voor de gewenste nauwkeurigheid, het noodzakelijk aantal locaties en de frequentie van bemonstering. Daarom is aanvankelijk gekozen om gedurende twee jaar éénmaal per kwartaal een bemonstering van het ondiepe grondwater uit te voeren.

In het najaar van 1989 zijn extra grondwaterbuizen geïnstalleerd op 28 locaties die representatief worden geacht voor de diverse groepen van proefvakken. Er is zowel een buis met een diep filter als een buis met een ondiep filter geplaatst. De filterlengte is 30 cm. Het ondiepe filter staat even onder het niveau van de geschatte gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand (meestal tussen 20-70 cm beneden maaiveld). Het diepe filter staat circa 20 cm onder het laagste zomerpeil van 1989 (meestal tussen 120-200 cm -mv; zie Tabel 3.4).

Tabel 3.4 Filterdiepten van grondwaterbuizen

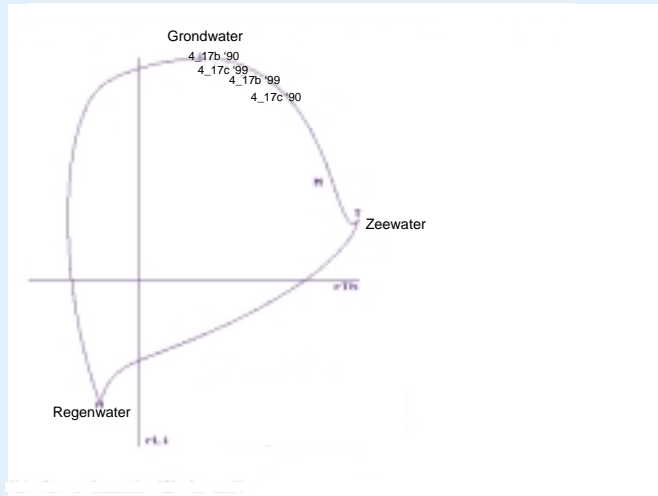
Buis no.	diepte filter (cm beneden maaiveld)		Buis no.	diepte filter (cm beneden maaiveld)		Buis no.	diepte filter (cm beneden maaiveld)	
<b>Raai I</b>			<b>Raai III</b>			<b>Raai VI</b>		
D	0	- 123	V700	0	- 150	7A	0	- 130
Db	140	- 170	V700b	195	- 225	7Ab	213	- 243
Dc	50	- 80	V700c	50	- 80	7Ac	50	- 80
1A	0	- 117	L550	0	- 132	10A	0	- 131
1Ab	140	- 170	L550b	120	- 150	10Ab	90	- 120
1Ac	50	- 80	L550c	40	- 70	10Ac	20	- 50
6A	0	- 114?				14A	0	- 93
6Ab	140	- 170	<b>Raai IV</b>			14Ab	127	- 157
6Ac	40	- 70	5A	0	- 106	14Ac	10	- 40
IVA	0	- 218	5Ab	90	- 120	B	0	- 109
IVAb	90	- 120	5Ac	10	- 40	Bb	100	- 130
IVAc	10	- 40	7A	0	- 114	Bc	10	- 40
III	0	- 277	7Ab	185	- 215			
IIIb	190	- 210	7Ac	40	- 70	<b>Raai VII</b>		
II	0	- 266	9A	0	- 116	8A	0	- 109
IIb	190	- 210	9Ab	120	- 150	8Ab	80	- 110
I	0	- 189	9Ac	40	- 70	8Ac	40	- 70
Ib	100	- 130	17A	0	- 109	8B	0	- 120
Ic	10	- 40	17Ab	165	- 195	8Bb	90	- 120
IA	0	- 110	17Ac	30	- 60	8Bc	40	- 70
IAb	130	- 150	19A	0	- 98	11A	0	- 74
IAc	50	- 88	19Ab	220	- 250	11Ab	61	- 91
22A	0	- 106	19Ac	50	- 80	11Ac	10	- 40
22Ab	135	- 165	21A	0	- 128	17A	0	- 108
22Ac	10	- 40	21Ab	220	- 250	17Ab	137	- 167
			21Ac	50	- 80	17Ac	30	- 50
<b>Overige</b>						21A	0	- 115
A	0	- 100				21B	0	- 91
Ab	90	- 120				21Bb	93	- 123
Ac	40	- 70				21Bc	30	- 50

De analyse van het grondwater omvatte een beperkt aantal factoren: de zuurgraad (pH), het elektrisch geleidingsvermogen (EC of EGV genaamd), alsmede de concentratie van Calcium (Ca) en Chloride (Cl). Uit de laatste twee factoren wordt de ionenratio (IR) afgeleid. De ionenratio is gedefinieerd als de verhouding tussen de Ca-ionen en Cl-ionen ( $IR = \frac{[half\ Ca]}{[half\ Ca] + [Cl]}$ ). Deze factoren zijn relatief eenvoudig te meten. In een zgn. IR/EC-diagram (Figuren 3.21-3.25) geven deze een goed beeld van ecologisch belangrijke aspecten, zoals de verzuring door toenemende regenwaterinvoer of verzilting door toenemende inundatie met zeewater (Van Wirdum, 1981).

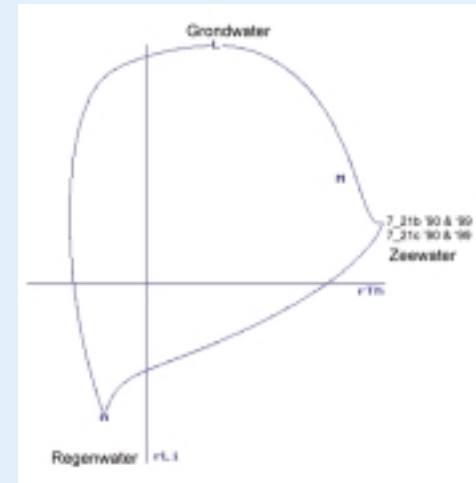


Figuur 3.17: Gelijkenisdiagram voor de uitvoeriger geanalyseerde grondwatermonsters (1990 en 1999) van transect I (Kooiuidunen en Nieuwlandsrijd) en transect III (Oerderduinen); zie voor ligging monsterpunten figuur 3.13.





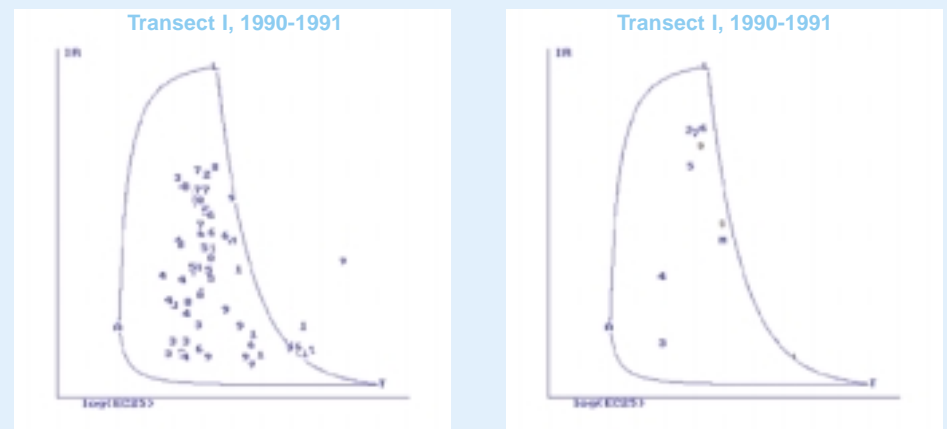
Figuur 3.18: Gelijkenisdiagram voor de uitvoeriger geanalyseerde grondwatermonsters (1990 en 1999) van transect IV (Oerderduinen); zie voor ligging monsterpunten figuur 3.13.



Figuur 3.20: Gelijkenisdiagram voor de uitvoeriger geanalyseerde grondwatermonsters (1990 en 1999) van transect VII (jonge zoute valleien); zie voor ligging monsterpunten figuur 3.13.



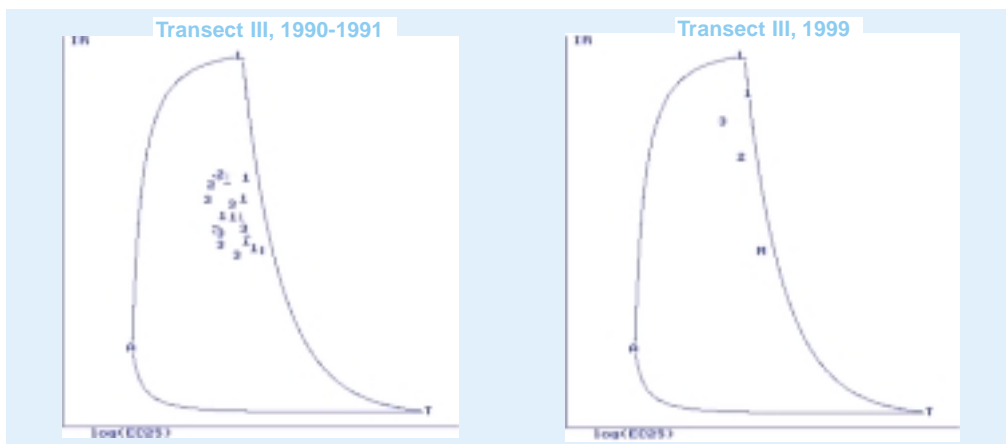
Figuur 3.19: Gelijkenisdiagram voor de uitvoeriger geanalyseerde grondwatermonsters (1990 en 1999) van transect VI (verruigde en Schoenus-valleien); zie voor ligging monsterpunten figuur 3.13.



Legenda

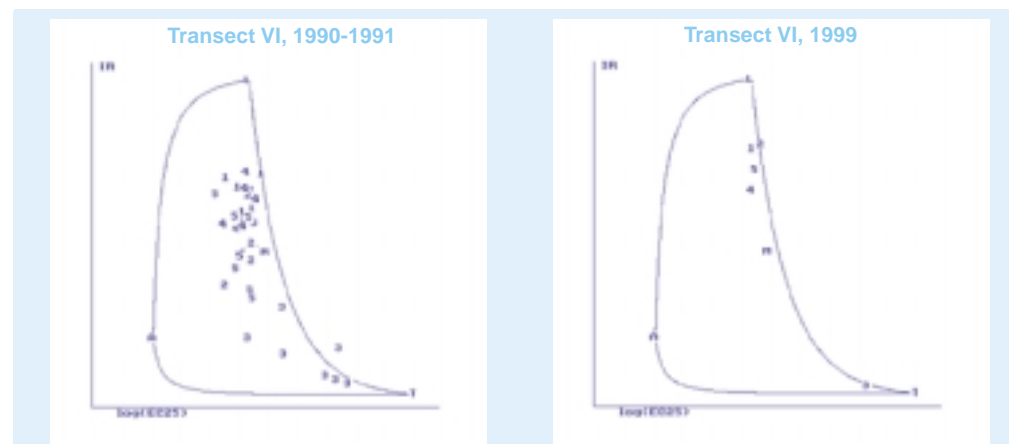
- |           |          |          |
|-----------|----------|----------|
| 1. 1_22Ab | 4. 1_6Ab | 7. 1_1Ib |
| 2. 1_III  | 5. 1_D_b | 8. 1_IVb |
| 3. 1_1Ab  | 6. 1_IAb | 9. 1_1_b |

Figuur 3.21: IR/EC-diagram transect I voor de buizen met een diep filter (Kooiuidinen en Nieuwlandsrijd); zie voor ligging monsterpunten figuur 3.13. L: Grondwater (lithotroof), A: Regenwater (atmotroof), T: Zeewater (thalassotroof), M: Rijnwater (molunotroof)



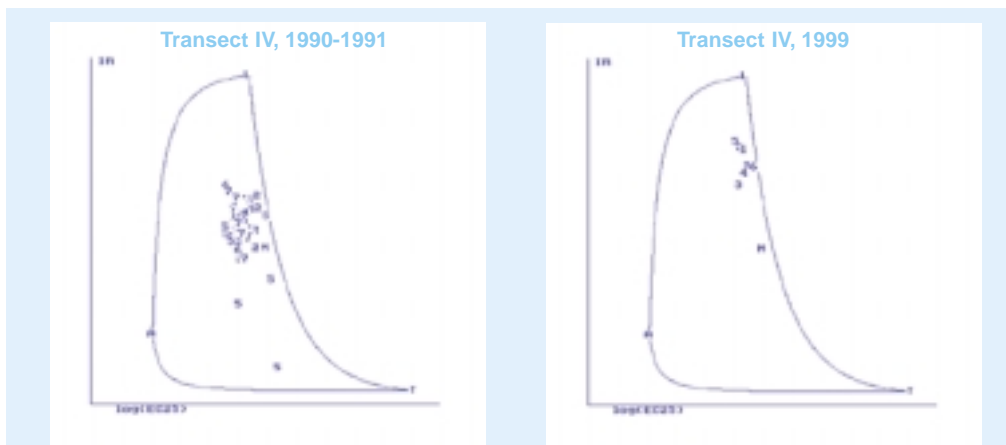
- Legenda
- 1. 3\_550b
  - 2. 3\_550c
  - 3. 3\_700b

Figuur 3.22: IR/EC-diagram transect III voor de buizen met een diep filter (Oerderduinen); zie voor ligging monsterpunten figuur 3.13. L: Grondwater (lithotroof), A: Regenwater (atmotroof), T: Zeewater (thalassotroof), M: Rijnwater (molunotroof).



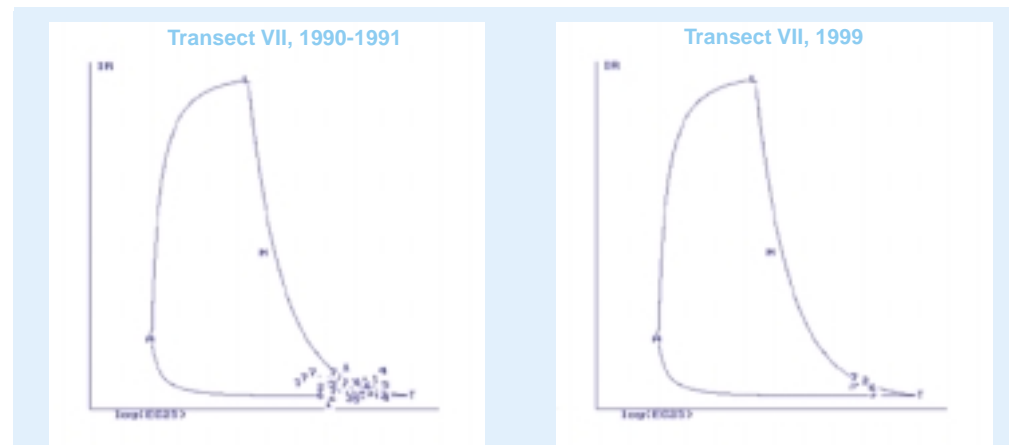
- Legenda
- 1. 4\_17Ab
  - 2. 4\_17Ac
  - 3. 4\_19Ab
  - 4. 4\_21Ab
  - 5. 4\_5Ab
  - 6. 4\_7Ab

Figuur 3.24: IR/EC-diagram transect VI voor de buizen met een diep filter (verruigde en Schoenus-valleien); zie voor ligging monsterpunten figuur 3.13. L: Grondwater (lithotroof), A: Regenwater (atmotroof), T: Zeewater (thalassotroof), M: Rijnwater (molunotroof)



- Legenda
- 1. 4\_17Ab
  - 2. 4\_17Ac
  - 3. 4\_19Ab
  - 4. 4\_21Ab
  - 5. 4\_5Ab
  - 6. 4\_7Ab
  - 7. 4\_9Ab

Figuur 3.23: IR/EC-diagram transect IV voor de buizen met een diep filter (Oerderduinen); zie voor ligging monsterpunten figuur 3.13. L: Grondwater (lithotroof), A: Regenwater (atmotroof), T: Zeewater (thalassotroof), M: Rijnwater (molunotroof).



- Legenda
- 1. 7\_11Ab
  - 2. 7\_17Ab
  - 3. 7\_21A
  - 4. 7\_21Bb
  - 5. 7\_21Bc
  - 6. 7\_8laagb
  - 7. 7\_8hoogb

Figuur 3.25: IR/EC-diagram transect VII voor de buizen met een diep filter (jonge zoute valleien); zie voor ligging monsterpunten figuur 3.13. L: Grondwater (lithotroof), A: Regenwater (atmotroof), T: Zeewater (thalassotroof), M: Rijnwater (molunotroof).

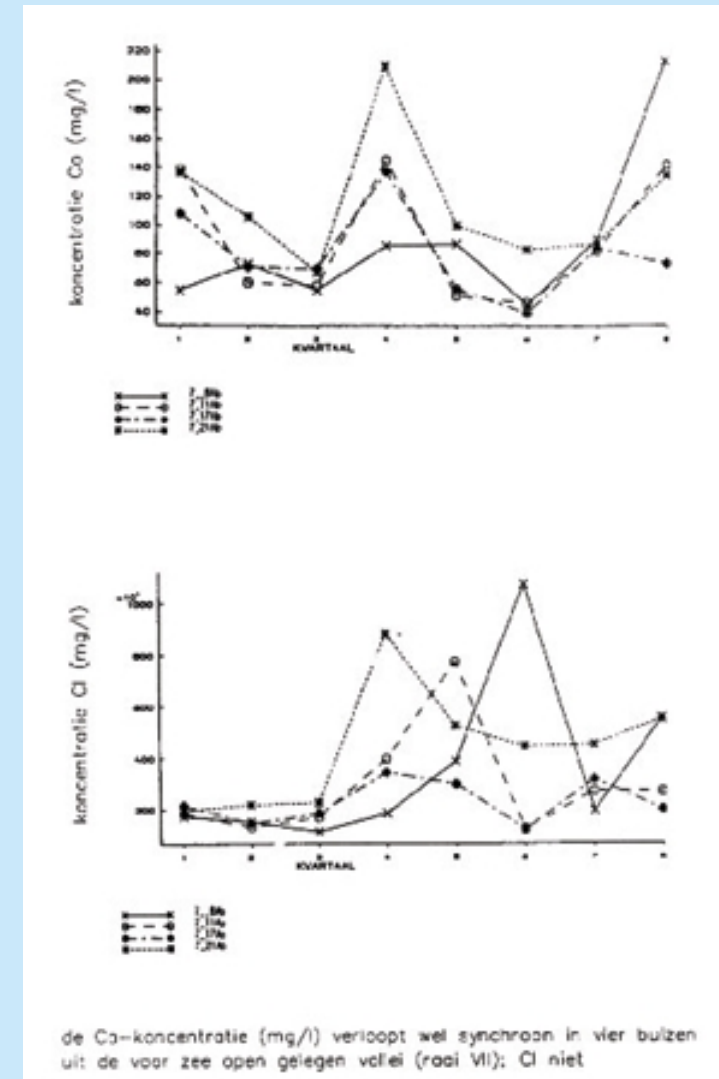


In 1990 en 1991 zijn gedurende twee jaar de buizen bemonsterd op 28 januari, 28 april, 28 juli en 28 oktober (met een marge van enkele dagen). Er zijn dus maximaal acht monsters per buis. Een buis werd met een handpompje eerst leeggepompt. Het toestromende water werd gebruikt voor het monster. In het veld werden meteen pH en EC gemeten. De monsters zijn in bevroren toestand bewaard. In het laboratorium van het Alterra zijn de Ca- en Cl-concentraties bepaald.

Op 5 mei 1990 zijn op zes locaties monsters genomen waarin een groter aantal factoren is geanalyseerd. Dit geeft voor enkele uiteenlopende milieusituaties een wat breder referentiekader dan alleen pH, EC, Ca en Cl. Deze monsters zijn na bemonstering dezelfde dag nog aangeboden aan het laboratorium van het Waterleidingbedrijf Midden-Nederland (WMN), die de analyse heeft uitgevoerd.

Voor de resultaten van de beperkte analyses zijn voor alle buizen het gemiddelde en de standaarddeviatie berekend (Wiertz, 1992). Voor de buizen met een diep filter waren doorgaans acht monsters beschikbaar. Voor die buizen zijn de resultaten in een IR/EC-diagram uitgezet (Figuur 3.21 t/m 3.25). Voor de ondiepe buizen waren doorgaans minder monsters (en in een variërend aantal) beschikbaar, mede door het relatief droge karakter van 1991. De resultaten zijn tevens door Wiertz (1992) in een IR/EC-diagram geplaatst. Terwille van de leesbaarheid zijn de buizen groepsgewijs afgebeeld in zo'n diagram. Tenslotte zijn de meetresultaten per buis ook in een grafiek tegen de tijd uitgezet en is globaal nagegaan welke buizen dezelfde periodiciteit vertoonden. De grafieken van enkele buizen zijn als voorbeeld weergegeven in Figuur 3.26.

Voor de uitgebreide analyse zijn de resultaten weergegeven in een gelijkenisdiagram waaruit de verwantschap blijkt met referentiepunten voor zeewater ("ZEEWATER") en kalkrijk grond- of kwelwater ("GRONDWATER"; Figuur 3.17 t/m 3.20). Dit is gebeurd met het programma MAION van het Alterra (Souer, 1988; Van Wirdum, 1991).



Figuur 3.26 Concentratieverloop Ca en Cl in de tijd voor enkele diepe filters in Raai VII in 1990 en 1991

Tabel 3.5 Resultaten van de beperkte analyses voor de grondwatermonsters van 1990, 1991 en 1999 EGV25=elektrische geleiding bij 25° C

Buisnr. Monstercode	datum	pH	Ca mg l <sup>-1</sup>	Cl mg l <sup>-1</sup>	EGV25 mS m <sup>-1</sup>	Buisnr. Monstercode	datum	pH	Ca mg l <sup>-1</sup>	Cl mg l <sup>-1</sup>	EGV25 mS m <sup>-1</sup>	Buisnr. Monstercode	datum	pH	Ca mg l <sup>-1</sup>	Cl mg l <sup>-1</sup>	EGV25 mS m <sup>-1</sup>	Buisnr. Monstercode	datum	pH	Ca mg l <sup>-1</sup>	Cl mg l <sup>-1</sup>	EGV25 mS m <sup>-1</sup>
1_22Ab	900129	8.0	101	312	120	1__D_b	990504	6.9	50.5	45.9	42.5	3_550b	900507	7.5	63	97	54	4_21Ab	910426	7.7	59	101	46
1_22Ab	900507	7.3	42	429	480	1__D_c	900129	7.7	5	37	20	3_550b	900729	7.5	61	93	43	4_21Ab	910725	7.9	51	96	41
1_22Ab	900728	8.0	36	250	647	1__D_c	900129	7.7	5	37	20	3_550b	901030	8.1	52	66	70	4_21Ab	911028	7.8	45	75	64
1_22Ab	901030	8.5	105	1347	214	1__IAb	900129	7.4	10	111	43	3_550b	910129	7.7	62	132	90	4_21Ac	900319	7.9	33	97	58
1_22Ab	910129	8.1	227	1839	176	1__IAb	900507	8.0	134	1390	560	3_550b	910426	8.4	58	115	74	4_21Ac	900507	8.3	46	77	62
1_22Ab	910427	7.6	184	2286	684	1__IAb	900728	7.9	25	51	85	3_550b	910725	7.9	59	107	76	4_21Ac	910128	7.9	32	87	64
1_22Ab	910725	7.8	145	1644	801	1__IAb	901029	6.3	27	54	45	3_550b	911028	7.6	84	130	64	4_21Ac	910426	8.4	38	95	61
1_22Ab	911028	7.6	174	234	675	1__IAb	910128	7.9	43	433	165	3_550c	900129	7.4	30	33	33	4_5Ab	900130	7.4	35	53	104
1_22Ab	990504	7.1	130	2000	709	1__IAb	910427	7.7	39	160	45	3_550c	900507	7.9	44	46	48	4_5Ab	900507	8.5	19	293	140
1_22Ac	900129	7.4	102	34	175	1__IAb	910427	7.7	36	71	59	3_550c	910129	8.5	45	44	40	4_5Ab	900727	7.9	36	83	55
1_III_	900129	6.7	21	24	28	1__IAb	911028	8.0	39	63	58	3_550c	910426	7.9	38	38	45	4_5Ab	901030	8.5	65	286	51
1_III_	900507	7.7	39	39	52	1__IAb	990504	7.4	89.2	46.9	60.2	3_700b	900129	7.5	27	47	70	4_5Ab	910128	7.6	81	259	120
1_III_	900728	7.6	33	43	38	1__IAc	900129	7.6	7	16	518	3_700b	900507	8.9	65	115	36	4_5Ab	910426	8.4	40	85	52
1_III_	901030	7.3	43	56	42	1__IAc	900507	7.9	54	1375	348	3_700b	900729	7.9	33	60	41	4_5Ab	910725	7.8	34	69	42
1_III_	911028	7.7	39	49	38	1__IAc	910128	7.1	32	1101	17	3_700b	901030	7.7	35	36	36	4_5Ab	911028	7.9	30	60	47
1_IIIb	900728	7.4	19	32	86	1__II_	900129	7.7	23	25	44	3_700b	910129	8.4	17	23	53	4_5Ab	990505	7.5	67.8	38	49.8
1_IIIb	901030	7.8	31	57	28	1__II_	900507	7.9	29	33	46	3_700b	910426	7.2	21	43	40	4_5Ac	900130	7.6	29	133	69
1_IIIb	911028	7.9	74	45	36	1__II_	900728	7.7	32	45	35	3_700b	910725	8.2	44	57	30	4_5Ac	910426	8.3	45	858	192
1__IAb	900129	8.6	40	42	24	1__II_	901030	8.1	34	37	34	3_700b	911028	7.8	41	94	59	4_7Ab	900130	7.6	42	44	36
1__IAb	900507	7.2	7	65	21	1__II_	910725	7.4	51	48	36	3_700b	990504	7.5	60.7	30.5	40.7	4_7Ab	900507	7.7	38	69	53
1__IAb	900728	6.9	7	48	42	1__II_	911028	7.5	34	48	25	3_700c	900319	7.9	41	98	66	4_7Ab	900727	8.4	41	67	49
1__IAb	901029	8.4	14	70	22	1__II_	990504	7.4	62.1	33.9	42	4_17Ab	900130	7.3	51	63	69	4_7Ab	901030	7.4	47	61	51
1__IAb	910128	8.0	3	37	27	1__IIb	900728	7.7	31	44	38	4_17Ab	900507	7.6	39	74	68	4_7Ab	910128	7.8	41	65	59
1__IAb	910427	8.0	4	53	28	1__IIb	901030	7.5	37	45	40	4_17Ab	900727	7.8	38	52	74	4_7Ab	910426	6.5	29	65	50
1__IAb	910725	7.7	4	50	19	1__IIb	910128	7.9	29	53	44	4_17Ab	901030	7.6	67	87	53	4_7Ab	910725	7.6	32	61	52
1__IAb	911028	6.9	5	47	30	1__IIb	910725	7.6	44	42	41	4_17Ab	910128	8.2	53	71	53	4_7Ab	911028	8.4	41	66	55
1__IAc	900129	7.0	4	33	17	1__IIb	911028	7.7	37	45	50	4_17Ab	910426	8.2	42	82	61	4_7Ab	990505	7.0	109	89	82.2
1__6Ab	900129	6.6	10	33	16	1__IIb	990504	7.8	71.2	40.4	49.1	4_17Ab	910725	7.8	62	77	60	4_7Ac	900319	8.1	66	127	87
1__6Ab	900507	8.2	13	60	19	1__IVb	900129	8.3	16	22	44	4_17Ab	911028	6.7	63	96	45	4_7Ac	900507	7.7	49	112	52
1__6Ab	900728	8.5	27	59	24	1__IVb	900507	7.5	21	90	44	4_17Ac	900319	8.3	55	82	61	4_7Ac	910128	8.4	40	64	73
1__6Ab	901030	7.8	20	60	40	1__IVb	900728	7.5	36	49	43	4_17Ac	900507	7.6	66	103	62	4_7Ac	910426	8.3	36	68	54
1__6Ab	910128	7.9	3	41	29	1__IVb	901030	7.7	46	42	64	4_17Ac	900727	7.3	57	78	85	4_9Ab	900130	7.9	38	43	38
1__6Ab	910427	8.0	12	42	27	1__IVb	910128	7.9	9	43	32	4_17Ac	910128	8.2	76	105	71	4_9Ab	900507	8.4	35	45	47
1__6Ab	910724	6.9	15	47	34	1__IVb	910427	7.8	17	39	26	4_17Ac	910426	7.7	37	81	81	4_9Ab	900727	7.8	31	43	44
1__6Ab	911028	7.5	9	51	30	1__IVb	910725	6.9	79	92	30	4_17Ac	910725	8.2	65	116	81	4_9Ab	901030	7.9	52	63	48
1__6Ab	990504	6.4	10.7	35.8	19.8	1__IVb	911028	7.6	34	91	58	4_17Ac	911028	7.7	85	101	83	4_9Ab	910128	7.9	46	114	60
1__6Ac	900129	8.0	11	100	27	1__IVb	990504	7.2	72.7	38.8	57	4_19Ab	900130	8.2	28	41	53	4_9Ab	910426	7.1	37	68	55
1__6Ac	900507	7.3	7	68	35	1__IVc	900129	7.9	12	79	18	4_19Ab	900507	8.0	21	42	44	4_9Ab	910725	7.7	39	76	65
1__6Ac	901030	8.1	4	47	15	1__IVc	900507	8.2	11	97	30	4_19Ab	900729	7.8	29	49	35	4_9Ab	911028	7.4	46	75	50
1__6Ac	910128	8.1	2	37	17	1__IVc	910128	7.4	5	37	44	4_19Ab	901030	7.8	22	55	52	4_9Ab	990505	7.4	73.1	45.4	54.8
1__6Ac	910427	6.5	3	42	20	1__I_b	900129	7.6	59	312	85	4_19Ab	910128	8.2	34	60	35	4_9Ac	900319	8.3	34	58	55
1__D_b	900129	8.3	20	69	57	1__I_b	900507	7.9	134	2264	167	4_19Ab	910426	7.6	43	75	52	4_9Ac	900507	7.6	38	50	50
1__D_b	900507	6.7	40	61	51	1__I_b	900728	7.3	15	206	141	4_19Ab	910725	7.9	38	74	44	4_9Ac	910128	8.4	48	116	42
1__D_b	900728	6.2	28	84	35	1__I_b	901030	8.1	102	1406	53	4_19Ab	911028	7.7	40	75	36	4_9Ac	910426	7.7	38	91	58
1__D_b	901029	8.2	44	104	49	1__I_b	910128	7.4	34	366	462	4_19Ab	990505	7.6	64.4	66.8	54.2	4_9Ac	910725	8.2	35	63	42
1__D_b	910128	7.9	32	99	54	1__I_b	910427	7.2	71	494	125	4_19Ac	900319	8.4	37	75	45	6_10Ab	900130	7.9	39	35	35
1__D_b	910427	7.5	58	91	50	1__I_b	910724	7.4	36	48	99	4_19Ac	900507	8.4	35	51	29	6_10Ab	900507	8.6	76	76	49
1__D_b	910724	8.1	39	93	60	1__I_b	911028	7.9	55	153	1838	4_19Ac	910426	8.0	23	18	48	6_10Ab	900727	8.6	58	49	92
1__D_b	911028	7.3	34	82	59	1__I_b	990504	7.6	74.3	64.3	67.5	4_21Ab	990505	7.2	77.4	68.2	62	6_10Ab	901030	8.0	59	62	71
						1__I_c	900129	8.0	11	59	2669	4_21Ab	900130	7.9	38	63	49	6_10Ab	910129	7.8	81	104	72
						1__I_c	900507	8.3	154	2029	139	4_21Ab	900507	8.2	28	53	67	6_10Ab	910425	7.4	90	146	51
						1__I_c	910128	8.3	60	450	35	4_21Ab	900729	7.6	24	54	49	6_10Ab	910725	7.9	37	50	55
						1__I_c	910427	7.4	20	335	167	4_21Ab	901029	7.8	48	70	60	6_10Ab	911028	7.3	61	119	77
						3_550b	900129	8.4	45	46	74	4_21Ab	910128	7.8	38	75	46	6_10Ac	900130	7.6	35	39	64



Tabel 3.5 Resultaten van de beperkte analyses voor de grondwatermonsters van 1990, 1991 en 1999 EGV25=electrische geleiding bij 25° C

Buisnr. Monstercode	datum	pH	Ca mg l <sup>-1</sup>	Cl mg l <sup>-1</sup>	EGV25 mS m <sup>-1</sup>	Buisnr. Monstercode	datum	pH	Ca mg l <sup>-1</sup>	Cl mg l <sup>-1</sup>	EGV25 mS m <sup>-1</sup>	Buisnr. Monstercode	datum	pH	Ca mg l <sup>-1</sup>	Cl mg l <sup>-1</sup>	EGV25 mS m <sup>-1</sup>
6_10Ac	900507	8.5	48	94	69	7_17Ab	900728	9.0	70	1850	452	7_8Bb	901030	8.0	107	2643	631
6_10Ac	910129	8.0	51	122	69	7_17Ab	901030	8.0	138	3459	1276	7_8Bb	910129	8.2	89	1994	252
6_10Ac	910425	8.0	61	198	34	7_17Ab	910129	8.3	56	3003	622	7_8Bb	910425	7.6	36	1197	624
6_14Ab	900129	7.7	51	58	493	7_17Ab	910425	8.6	39	1220	980	7_8Bb	910725	8.7	99	1524	362
6_14Ab	900507	8.3	102	1822	496	7_17Ab	910725	8.0	84	3165	772	7_8Bb	911028	8.5	109	1652	628
6_14Ab	900727	7.5	54	384	62	7_17Ab	911028	8.9	73	1986	992	7_8hob	990505	7.4	153	2800	907
6_14Ab	901029	7.4	90	391	157	7_17Ab	990505	7.4	189	3900	1210	7_8Bc	900319	7.7	74	1890	770
6_14Ab	910129	8.1	83	1721	648	7_17Ac	900319	7.6	87	2047	1040	7_8Bc	900507	8.5	50	1466	356
6_14Ab	910425	7.6	74	1831	900	7_17Ac	901030	8.2	124	3384	1086	7_8Bc	901030	8.8	79	2208	928
6_14Ab	910725	8.1	105	1022	161	7_17Ac	910129	8.8	48	2040	718	7_8Bc	910129	8.9	74	2217	720
6_14Ab	911028	8.7	146	1266	712	7_21A_	900319	8.0	84	2172	969	7_8Bc	910425	8.7	38	943	620
6_14Ac	900129	7.6	29	162	201	7_21A_	900319	8.1	84	2172	1340	7_A_b	900319	9.0	110	2154	986
6_14Ac	900507	8.2	124	2264	1210	7_21A_	901030	9.3	211	7374	1048	7_A_b	900507	8.9	62	1513	493
6_14Ac	901030	8.4	88	508	98	7_21A_	901030	8.7	211	7374	1175	7_A_b	900727	7.4	31	866	316
6_14Ac	910129	8.3	103	3615	1798	7_21A_	910129	8.0	52	3018	969	7_A_b	901030	8.4	183	3011	1329
6_7Ab	900130	8.9	39	32	59	7_21A_	910129	8.7	52	3018	1175	7_A_b	910129	8.6	159	2695	648
6_7Ab	900507	7.9	42	63	51	7_21A_	910425	9.3	62	3495	1048	7_A_b	910425	8.7	39	1243	994
6_7Ab	900727	7.6	47	78	46	7_21A_	910425	7.5	62	3495	2126	7_A_b	910725	7.5	86	2776	983
6_7Ab	901030	8.1	48	49	58	7_21A_	910725	7.5	72	3902	2126	7_A_b	911028	8.3	107	5187	1332
6_7Ab	910129	7.8	45	72	55	7_21A_	910725	8.1	72	3902	1340	7_A_c	900319	8.7	77	1656	702
6_7Ab	910425	8.6	48	106	55	7_21A_	911028	8.6	86	3248	1156	7_A_c	900507	8.6	100	1959	1122
6_7Ab	910725	8.1	46	54	77	7_21A_	911028	8.6	86	3248	1156	overAb	990505	7.4	101	1550	530
6_7Ab	911028	7.9	46	72	33	7_21A_	990505	7.6	123	2700	915						
6_7Ab	990505	7.3	70.9	75.1	64.5	7_21Bb	900319	8.4	137	1959	2322						
6_B_b	900130	7.9	29	32	27	7_21Bb	900507	8.5	106	2191	1375						
6_B_b	900507	7.7	48	69	45	7_21Bb	900728	8.1	67	2280	752						
6_B_b	900729	8.0	47	124	46	7_21Bb	901030	8.6	211	8840	1537						
6_B_b	901030	8.1	39	57	66	7_21Bb	910129	9.4	100	5263	1509						
6_B_b	910129	7.9	41	141	68	7_21Bb	910425	7.9	83	4470	1708						
6_B_b	910425	8.8	30	115	71	7_21Bb	910725	7.4	87	4534	2487						
6_B_b	910725	8.1	43	98	52	7_21Bb	911028	8.6	135	5511	1327						
6_B_b	911028	8.4	28	43	75	7_21Bc	900319	8.8	110	2339	1156						
6_B_b	990505	7.3	83	67.8	71	7_21Bc	900507	7.3	88	2118	2521						
6_B_c	900130	8.0	44	108	59	7_21Bc	901030	9.4	216	8927	1630						
6_B_c	900507	8.5	58	266	54	7_21Bc	910129	8.8	91	5675	1185						
6_B_c	910129	8.6	30	84	45	7_21Bc	910425	8.7	87	3731	1422						
6_B_c	910425	8.7	23	60	111	7_21Bc	910725	7.8	87	3983	1934						
7_11Ab	900319	8.8	139	1839	912	7_21Bc	911028	8.1	170	6502	1687						
7_11Ab	900507	8.5	60	1330	599	7_8Ab	900319	8.7	55	1738	715						
7_11Ab	900728	7.3	58	1708	1229	7_8Ab	900507	8.9	73	1529	883						
7_11Ab	901030	8.0	146	3990	986	7_8Ab	900728	7.3	55	1147	657						
7_11Ab	910129	8.5	51	7741	565	7_8Ab	901030	8.3	86	1850	695						
7_11Ab	910425	8.8	46	1251	1876	7_8Ab	910129	8.5	87	3882	462						
7_11Ab	910725	9.2	82	2716	488	7_8Ab	910425	8.8	45	736	414						
7_11Ab	911028	7.9	142	2681	1947	7_8Ab	910725	9.3	90	1946	1229						
7_11Ab	990505	7.2	98.1	2450	848	7_8Ab	911028	7.7	215	5535	1605						
7_11Ac	900319	8.7	98	2320	1247	7_8lab	990505	7.2	166	4700	1460						
7_11Ac	900507	7.5	45	1624	2060	7_8Ac	900319	9.3	55	1755	991						
7_11Ac	901030	7.3	127	3610	1146	7_8Ac	900507	8.6	80	1689	776						
7_11Ac	910129	8.3	52	4635	1703	7_8Ac	901030	8.6	89	2136	851						
7_11Ac	910425	9.1	65	1020	555	7_8Ac	910129	7.4	60	2937	774						
7_11Ac	911028	8.6	212	7199	748	7_8Bb	900319	8.4	40	728	293						
7_17Ab	900319	8.1	108	2154	599	7_8Bb	900507	7.6	66	1513	847						
7_17Ab	900507	7.5	71	1466	1094	7_8Bb	900728	9.0	46	840	727						

Table 3.6 Resultaten van de uitgebreide analyses voor de grondwatermonsters van 1990 en 1999

buisnr. monstercode	datum	pH	Ca mg l <sup>-1</sup>	Mg mg l <sup>-1</sup>	Na mg l <sup>-1</sup>	K mg l <sup>-1</sup>	Cl mg l <sup>-1</sup>	HCO <sub>3</sub> mg l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> mg l <sup>-1</sup>	Fe mg l <sup>-1</sup>	EGV <sub>25</sub> mS m <sup>-1</sup>	IR %	x %	y %	pH <sub>sat</sub> -
1__1_b	990508	5.6	6.5	5.7	36	3	64	14	27	4.8	25	15	-3	-22	9.69
1__1_b	990503	5.8	4.9	5.7	23.5	7.41	48.3	20	15.5	5.68	20.6	15	3	-22	9.64
3_550b	990508	7	130	12.5	31	1.6	96	340	36	0.17	78	71	-1	-15	7.11
3_550b	990503	6.9	122	11.5	28.9	2.3	38	412	2.8	1.2	74.1	85	3	-3	7.04
3_550c	990508	7.7	97	5	35	1.7	46	320	19	3.5	58	79	-1	-16	7.23
3_550c	990503	7.2	95.7	6.74	24.4	0.92	76.5	245	16.9	11.9	62.5	69	-1	-6	7.35
4_17Ab	990508	7.2	100	12	33	1.7	59	345	6	0.1	65	75	0	-11	7.2
4_17Ab	990504	7.4	91.2	6.31	31.2	3.46	58.5	284	7.2	0.107	63.3	73	1	-2	7.31
4_17Ac	990508	7.4	130	13	43	1.1	106	265	110	0.65	85	69	-1	-16	7.23
4_17Ac	990504	7.4	92.3	2.75	40.3	2.75	74.6	286	21	1.81	68.7	69	-4	-2	7.3
6_10Ab	990508	7.2	145	12	32	1.6	77	270	145	0.03	83	77	0	-19	7.18
6_10Ab	990504	7.2	93.5	9.83	28.1	2.29	56	308	3.6	0.014	65.7	75	1	0	7.26
6_10Ac	990508	7.7	90	7.3	45	0.9	86	255	22	1.6	255	65	0	72	7.37
6_10Ac	990504	6.9	123	14.1	42.1	1.73	68.7	350	4.9	3.22	84.8	76	8	3	7.11
6_14Ab	990508	6.9	215	175	1450	60	2720	435	280	0.55	820	12	0	-8	7.06
6_14Ab	990504	7	166	270	2430	95	4600	766	121	0.074	1390	6	-2	2	7
7_21Bb	990508	7.5	155	310	3000	110	5300	295	700	0.34	1470	5	-1	-8	7.48
7_21Bb	990504	7.5	131	1.5	2800	111	5200	454	500	0.742	1550	4	-11	5	7.33
7_21Bc	990508	7.7	140	306	2800	120	4900	290	660	0.34	1380	5	0	-8	7.52
7_21Bc	990504	7.6	124	300	2640	108	5000	496	431	0.328	1480	4	-3	1	7.33

EGV<sub>25</sub>=electrische geleiding bij 25° C; x=afwijking van de ionenbalans; y=het verschil tussen de gemeten en de op basis van de ionensamenstelling berekende electrische geleiding; pH<sub>sat</sub>=verzadigings-pH bij 10° C; IR=ionenratio: [halfCa]/[halfCa]+[Cl].

De resultaten van de standaardanalyse van de grondwatermonsters zijn weergegeven in Tabel 3.5 en die van de uitgebreide analyse in Tabel 3.6

In het algemeen is de variatie in de grondwaterkwaliteit per locatie gering. Alleen op de locatie 5A in raai IV is de variatie in de tijd groter (zie Figuur 3.23), omdat deze op de overgang naar het wad ligt. Over het hele gebied genomen varieert de grondwaterkwaliteit sterk. Het type grondwater varieert van regenwaterachtig (in de buurt van de norm "REGENWATER") met geringe spreiding in de elektrische geleiding (EGV<sub>25</sub>) in bijv. locatie 6A in raai I (Figuur 3.21), tot zeer brak water (in de buurt van de norm "ZEE-WATER") in bijv. de locaties 21A en 21B in raai VII (Figuur 3.25), of kalkrijk grondwater (in de buurt van de norm "GRONDWATER") in b.v. de locatie 550 in raai III (Figuur 3.22). Op de meeste locaties is het grondwater een mengsel van deze drie typen (type "RIJNWATER") waarbij, afhankelijk van de locatie, één van de drie standaardtypen meer of minder overheerst. Zo is de

invloed van zeewater groot op lage plaatsen die frequent door zeewater worden overspoeld.

In het algemeen is een goed beeld verkregen van de samenstelling en variatie van het ondiepe grondwater in de duinvalleien op Ameland-Oost. Voor bijna alle diepe filters op ca. 120-200 cm-mv geeft de serie van acht kwartaalmonsters een bruikbare referentie voor vergelijking met de situatie in 1998 of later (Wiertz, 1992).

Weergave van de standaarddeviatie in het IR/EC-diagram geeft op duidelijke wijze een indruk van de 'normal operating range' van het ecosysteem. Er is een kwantitatief beeld verkregen van het gemiddelde en de fluctuatie van de grondwaterkwaliteit in diverse typen duinvalleien die variëren van afgesloten, reeds verzuurde valleien tot nog jonge, door zeewater overspoelde zoute valleien (Wiertz, 1992).

Op 3 en 4 mei 1999 zijn nogmaals monsters uit de grondwaterbuizen genomen en geanalyseerd om na te gaan of er verschuivingen in de grondwaterkwaliteit zijn opgetreden. De monsters werden koel bewaard en op 6 mei aangeboden aan het WMN, alwaar de analyses hebben plaatsgevonden. Ook nu werd voor het grootste deel van de monsters een beperkte analyse uitgevoerd. Tevens werden uitgebreide analyses uitgevoerd voor de locaties die in 1990 eveneens uitgebreid werden geanalyseerd (zie Tabellen 3.5 en 3.6). De beperkte analyses zijn ter vergelijking met 1990/91 geplaatst in een IR/EC-diagram. De uitgebreide analyses staan weergegeven in een gelijkenisdiagram, samen met de monsters uit 1990. Er wordt zo een goed beeld verkregen van de eventuele verschuivingen in de grondwaterkwaliteit. Over het algemeen zijn er vanaf 1990/91 weinig veranderingen in de grondwaterkwaliteit. In de duinvalleien, die geïsoleerd zijn van zeewater (geen overfloeding), is het grondwater verder verzoet (zie Figuren 3.17 t/m 3.25). Met name bij het ondiepe monster van buis 10Ac van raai VI is dit duidelijk te zien (Figuur 3.19). Ook op locatie 5Ab van raai IV is de waterkwaliteit enigszins richting "GRONDWATER" verschoven. Dit in tegenstelling tot de gevreesde verzilting van deze locatie. Opgemerkt moet wel worden dat de variatie bij deze monsterbuis groot is (Figuur 3.23).



Op de locaties waar het zeewater nog vrij toegang heeft is niets veranderd (met name raai VII, zie o.a. Figuur 3.20 en 3.25).

### 3.6 Conclusies

De waterstandgegevens van het getijstation Nes, met name de gegevens van hoogwater, zijn representatief voor de waterstanden bij de kwelders Nieuwlandsrijd en De Hon. Met name het gedrag van het gemiddeld hoogwater ten opzichte van het kwelderniveau en het niveau van lage duinvalleien is belangrijk. De gemiddelde overschrijdingsfrequenties van hoge stormvloed in de periode 1981-1998 waren hoger dan in de voorgaande periode. Door bodemdaling zullen kwelders en lage duinvalleien, die in open verbinding met de Waddenzee staan, frequenter door de zee worden overspoeld.

Neerslag- en verdampingscijfers zijn belangrijk voor de interpretatie van veranderingen in de vegetatie. Voor Ameland zijn de neerslaggegevens van het station Nes bij het KNMI opgevraagd. Verdampingscijfers worden niet voor Nes bepaald; die zijn daarom opgevraagd voor het meest dichtbij gelegen station waarvoor ze wel werden bepaald.

Er is inmiddels veel informatie en inzicht verkregen in het gedrag van het grondwaterpeil op Ameland-Oost. Dit geeft een goede basis voor de interpretatie van waargenomen veranderingen in de duin- en kweldervegetatie op het eiland.

De grondwaterspiegel vertoont grote fluctuaties over het jaar (orde 0,5-1,0 m) als gevolg van seizoensvariaties in de regenval/verdamping en de gemiddelde zeespiegel. Hoge waarden worden bereikt in de winter en lage waarden in de zomer. Tijdens een extreem nat jaar kunnen lage, gesloten duinvalleitjes hierdoor onder water komen te staan. Door bodemdaling komt de grondwaterspiegel, zoals verwacht, dicht bij het maaiveld te liggen en kan bovengenoemd verschijnsel iets vaker optreden. Ook ten aanzien van de kwaliteit van het grondwater is in 1990/91 een goed beeld verkregen.

Over het algemeen zijn er tussen 1990/91 en 1999 nauwelijks veranderingen in de grondwaterkwaliteit opgetreden. De van zeewater geïsoleerde duinvalleien zijn iets verder verzoet, terwijl in de jonge zoute valleien het water nog steeds een sterke gelijkenis heeft met zeewater.

Indien wordt besloten om de monitoring voort te zetten, dan wordt aanbevolen ook de verzameling van bovengenoemde grondwatergegevens voort te zetten.