
Toepassing van op radar gebaseerde gebiedsreductiefactoren bij de NBW-toetsing

Rudolf Versteeg
Hans Hakvoort
Marijke Visser

Aanleiding

Tijdens de toetsing van het watersysteem van Flevoland aan de normen voor regionale wateroverlast in het Nationaal Bestuursakkoord Water (kortweg NBW-toetsing) in de periode 2005–2008 heeft Waterschap Zuiderzeeland haar watersysteem getoetst met een selectie van neerslaggebeurtenissen uit de gemeten 100-jarige KNMI-neerslagreeks te De Bilt waarop een klimaatcorrectie voor het middenscenario 2050 is uitgevoerd. De berekeningen zijn gemaakt met een SOBEK-RR/1DFLOW-model waarbij de neerslag uniform over de hele polder valt. Op basis van deze berekeningen heeft het Waterschap de wateropgave bepaald, gekwantificeerd als het oppervlak van het beheersgebied dat niet aan de normen voor regionale wateroverlast voldoet.

Het watersysteem werd door de gekozen rekenmethode zeer zwaar belast. De neerslag valt immers overal in dezelfde hoeveelheid tegelijkertijd. De extreme-waardenstatistiek die is gebaseerd op puntmetingen in De Bilt is daarmee gebruikt als een gebiedsdekkende neerslag over geheel Flevoland. Voor kleine peilgebieden kan dit een goede methode zijn, maar de methode is niet zonder meer van toepassing op grote peilgebieden en boezemsystemen.

De laatste decennia is mede door de opkomst van de buienradar meer inzicht ontstaan in de grootte en intensiteit van neerslagsystemen. Uit onderzoek is gebleken dat de neerslagstatistiek van De Bilt geldig is voor Flevoland (Buishand e.a., 2009). Door gebruik te maken van de neerslag van De Bilt is de statistiek echter gebaseerd op puntneerslag, terwijl voor de belasting van de modellen veel meer de regionale neerslag van belang is. De statistiek van regionale neerslag - of gebiedsneerslag- wordt

Rudolf Versteeg en **Hans Hakvoort** zijn werkzaam bij [HKVlijn in water](http://HKVlijn.in.water), Postbus 2120, 8203 AC Lelystad, h.hakvoort@hkv.nl. **Marijke Visser** is werkzaam bij Waterschap Zuiderzeeland, Postbus 229, 8200 AE Lelystad.

doorgaans afgeleid uit de puntstatistiek met behulp van de zogenaamde gebiedsreductiefactor (GRF). De gebiedsreductiefactor is daarbij gedefinieerd als de puntneerslagsom bij een gegeven duur en herhalingsijd gedeeld door de gebiedsgemiddelde neerslag bij dezelfde duur en herhalingsijd.

Voor Oostelijk en Zuidelijk Flevoland is onderzocht in hoeverre het watersysteem te zwaar belast wordt door de puntneerslag van De Bilt uniform op het gehele beheergebied toe te passen. Hiervoor is een literatuuronderzoek naar de gebiedsreductiefactor uitgevoerd, zijn de resultaten daarvan verwerkt in de rekenmethodiek voor de NBW-toetsing en is de invloed op de statistiek van de waterstanden bepaald. In dit artikel zijn de belangrijkste resultaten van het onderzoek samengevat.

Gebiedsreductiefactoren in de literatuur

De neerslagstatistiek zoals algemeen gebruikt en beschreven in Smits e.a. (2004) voor duren van 4 uur tot 9 dagen, in Buishand en Wijngaard (2007) voor duren van 5 tot 120 minuten en in Buishand e.a. (2009) voor de regionale verschillen heeft betrekking op de neerslagsom op één punt. Bij niet te kleine herhalingsijden zijn extremen van gebiedsgemiddelde neerslag echter kleiner dan die van de puntneerslag. Deze extremen van gebiedsgemiddelden worden doorgaans afgeleid van extremen van puntneerslagen met behulp van de gebiedsreductiefactor. Alvorens in te gaan op de effecten van neerslagspreiding op de statistiek van waterstanden is met literatuurstudie bepaald in hoeverre en in welke mate neerslagreductie ten gevolge van neerslagspreiding optreedt en een rol speelt.

De meest recente en uitgebreide literatuur over gebiedsreductiefactoren voor de Nederlandse situatie is Overeem (2009). De resultaten van Overeem zijn gebruikt omdat 1) de gebiedsreductiefactoren voor alle duren (tot 24 uur), herhalingsijden en gebiedsgrootten beschreven zijn en 2) dit de meest recente studie is voor de Nederlandse klimatologische situatie met de grootste neerslagdataset.

Om een indruk te krijgen van de geldigheid van de uit Overeem (2009) afgeleide gebiedsreductiefactoren en de bandbreedte van gebiedsreductiefactoren zijn deze vergeleken met eerdere standaardwerken, te weten: Buishand en Velds (1980) en Witter (1983). Een belangrijk verschil tussen Overeem (2009) en Witter (1983)/Buishand en Velds (1980) is dat de eerste gebruik maakt van neerslaginformatie uit radarbeelden. De anderen gebruiken neerslaginformatie van grondstations. De informatiedichtheid, het aantal 'meetpunten' per gebied, van Overeem (2009) is daardoor veel groter.

Kenmerken gebiedsreductiefactoren

De gebiedsreductiefactor wordt in de literatuur over het algemeen afhankelijk gesteld van de volgende factoren: 1) duur van de neerslag, 2) oppervlak van het beschouwde gebied en 3) herhalingsijd van het neerslagvolume. Daarbij is de relatie als volgt (let op: een lage gebiedsreductiefactor betekent een hoge reductie van de neerslag):

- Korte duren (convectieve neerslaggebeurtenissen in de zomer) kennen een lage gebiedsreductiefactor, lange duren (neerslagfronten in het najaar en de winter) ken-

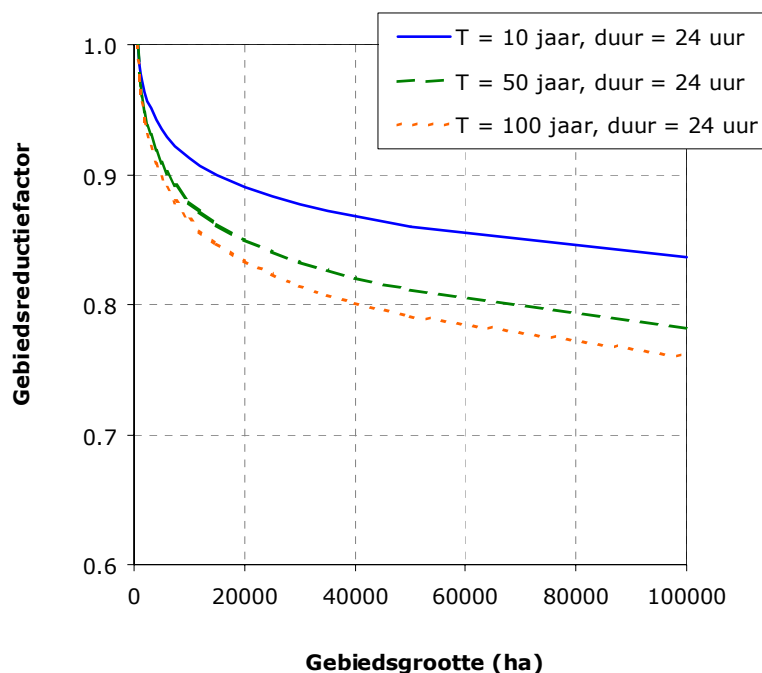
- nen een hoge gebiedsreductiefactor.
- Een relatief groot gebied kent een lagere gebiedsreductiefactor dan een klein gebied. Hoe groter het gebied hoe kleiner immers de kans dat de extreme punt-neerslag op het gehele gebied valt.
 - De gebiedsreductiefactor neemt af bij toenemende herhalingsjijd van de neerslag-gebeurtenis. Hoe zeldzamer een neerslaggebeurtenis is, hoe groter de kans dat die neerslag niet over een groot gebied is gevallen.

Naast deze drie factoren is ook de seizoensinvloed genoemd. Hierbij is onderscheid gemaakt in zomer en winter, in Witter (1983) gedefinieerd als respectievelijk mei tot en met september en oktober tot en met april. In Buishand (1980) is gesteld dat het aan te bevelen is om voor gebieden kleiner dan 1000 km² (100.000 ha) bij de punt-extremen van het winterhalfjaar helemaal geen gebiedsreductiefactor toe te passen om gebiedsextremen te verkrijgen. Dit is echter niet nader kwantitatief toegelicht. Witter (1983) heeft de verschillen in zomer en winter gekwantificeerd en vindt bij een duur van 24 uur een gebiedsreductiefactor voor zomer en winter van respectievelijk circa 0,87 en circa 0,95. Zowel Buishand (1980) als Witter (1983) geven aan dat de gebiedsreductiefactor voor een geheel jaar voor duuren tot 24 uur praktisch gelijk is aan die voor het zomerhalfjaar. Dit komt omdat bijna alle extreme neerslaggebeurtenissen in het zomerhalfjaar vallen. Overeem (2009) gaat niet in op de seizoensinvloeden.

Kwantificeren gebiedsreductiefactoren

Overeem (2009) heeft de gebiedsreductiefactor als volgt gekwantificeerd. Allereerst zijn jaarlijkse maxima uit de radardata gehaald voor duuren van 15 minuten tot 24 uur en gebiedsgroottes oplopend van 2,5x2,5 km (de grootte van 1 radarcel op het moment dat hij zijn analyses uitvoerde) tot 40x40 km. Deze radardata is de data na filtering op basis van grondregenmeters. Door deze filtering is de statistiek voor één radarcel vergelijkbaar met de puntstatistiek. Voor elke duur en elk oppervlak heeft hij de extreme waarden statistiek bepaald op basis van een Gegeneraliseerde Extreme Waarden (GEV) verdeling (Jenkinson, 1955). De parameters van de GEV verdeling zijn vervolgens gemodelleerd (en gefit) als functie van duur en gebiedsgrootte. Deze methodiek is analoog aan die voor de bepaling van de neerslagstatistiek in Smits e.a. (2004). Voor meer achtergrond bij de methodiek wordt verwezen naar Overeem (2009). Op basis van de statistiek zijn de gebiedsreductiefactoren uitgerekend. In afbeelding 1 is ter illustratie de gebiedsreductiefactor voor herhalingsjijden van 10, 50 en 100 jaar bij een duur van 24 uur uitgezet tegen de gebiedsgrootte.

Om een indruk te krijgen van de mate van onzekerheid in de gebiedsreductie hebben we de resultaten uit Overeem (2009) naast de bekende standaardwerken van Witter (1983) en Buishand en Velds (1980) gelegd.

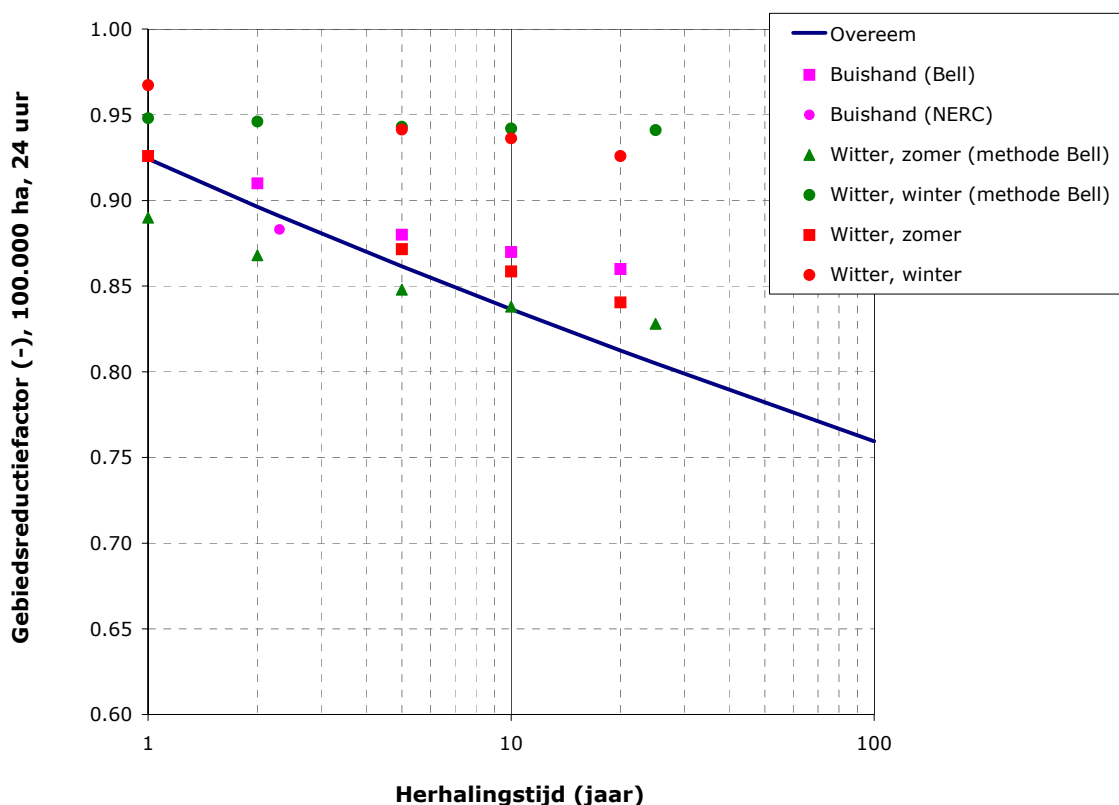


Afbeelding 1: Gebiedsreductiefactor voor herhalingsstijden van 10, 50 en 100 jaar bij een duur van 24 uur uitgezet tegen de gebiedsgrootte.

In afbeelding 2 is de gebiedsreductiefactor van de verschillende bronnen uitgezet. Er is gekozen voor een duur van 24 uur en een gebiedsgrootte van 1000 km² omdat daarvoor de meeste data beschikbaar is. De doorgetrokken lijn in de afbeelding is Overeem (2009). Over het algemeen kan worden gesteld dat de gebiedsreductiefactoren voor de verschillende bronnen voor herhalingsstijden van 1 tot 10 jaar redelijk overeenkomen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de gebiedsreductiefactoren van Witter (1983) voor de winter een afwijkend beeld geven, conform de verklaringen in de literatuur over de seizoensinvloed.

Verder is te zien dat de gebiedsreductiefactor uit Overeem (2009) bij toenemende herhalingsstijd sneller afneemt dan de overige bronnen. Ten opzichte van de eerdere literatuur is de gebiedsreductiefactor van Overeem (2009) bij grote herhalingsstijden voor een duur van 24 uur laag. In Overeem (2009) zijn de gebiedsreductiefactoren overigens vergeleken met die van het NERC (1975) en is geconcludeerd dat deze goed overeenkomen.

Op basis van bovenstaande kan worden gesteld dat de gebiedsreductiefactoren van Overeem (2009) over het algemeen overeenkomen met eerdere literatuur. Geadviseerd is de reductiefactoren van Overeem (2009) te gebruiken. Voor de stroomgebieden in het beheergebied van waterschap Zuiderzeeland met stroomgebieden met een grootte van 30000 tot 50000 ha is de gebiedsreductie van neerslag bij de herhalingsstijden in het interessegebied van de normering significant.



Afbeelding 2: Vergelijking gebiedsreductiefactoren Overeem (2009), Witter (1983) en Buishand (1980) voor een duur van 24 uur en een gebiedsgrootte van 1000 km².

De gebiedsreductiefactoren zijn afhankelijk van de herhalingstijd van de neerslag, de duur van de neerslag, het oppervlak van het te beschouwen gebied en het seizoen. In Overeem (2009) zijn deze afhankelijkheden beschreven, behalve de afhankelijkheid van het seizoen. Voor het winterseizoen wordt daarom aangesloten bij Witter (1983). Voor het gebied van Zuidelijk en Oostelijk Flevoland is voorgesteld de gebiedsreductie als volgt toe te passen:

- Voor de zomergerbeurtenissen (mei tot en met september) wordt de gebiedsreductiefactor uit Overeem (2010) gebruikt.
- Voor de wintergerbeurtenissen (oktober tot en met april) wordt een vaste gebiedsreductiefactor van 0,95 gebruikt bij een gebiedsgrootte groter dan 10000 ha. Bij een gebiedsgrootte kleiner dan 10000 ha wordt geen gebiedsreductiefactor toegepast.
- Als de maatgevende duur van de zomergerbeurtenis langer is dan 24 uur wordt verondersteld dat de gebeurtenis niet het karakter heeft van een zomergerbeurtenis, maar het karakter van een wintergerbeurtenis. In dat geval wordt ook een vaste gebiedsreductiefactor van 0,95 gebruikt.

Met deze laatste toevoeging wordt dus geen strikt onderscheid gemaakt in zomer- en wintergerbeurtenissen op basis van de periode in het jaar waarin de gebeurtenis valt. Het onderscheid wordt met deze methode juist gemaakt op basis van het karakter van de gebeurtenis die ook de mate van gebiedsreductie bepaalt. De te onderscheiden gebeurtenissen zijn dan 1) de korte duren (convectieve neerslaggerbeurtenissen in de zomer) met een lage gebiedsreductiefactor en 2) de lange duren (neerslagfronten in het najaar en de winter) met een hoge gebiedsreductiefactor.

De in de praktijk doorgaans gebruikte naamgeving van zomer- en wintergebeurtenissen is daarom ongelukkig. Zogenaamde ‘wintergebeurtenissen’ – langdurige neerslag veroorzaakt door een neerslagfront – kunnen immer ook voorkomen in augustus en september. Er kan beter worden gesproken over ‘convectieve neerslag’ en ‘frontale neerslag’.

Toepassen gebiedsreductiefactoren op een bui

Voor de NBW-toetsing maakt het waterschap gebruik van de zogenaamde tijdreeksmethode. Uit de continue neerslagreeks van De Bilt is door het waterschap een set van tien neerslaggebeurtenissen geselecteerd om de tijdreeksmethode tijdsefficiënt toe te kunnen passen. Opvallend is dat vier van de tien geselecteerde gebeurtenissen midden in de zomer (juni en juli) vallen. Nog eens drie gebeurtenissen vallen aan het eind van de zomer in augustus. Dit is conform de kenmerken van de statistiek van neerslag: in die periode treden de hoogste neerslagpieken op voor zowel uurwaarden als dagwaarden.

Voor de tien gebeurtenissen is het maximale neerslagvolume voor een tijdvenster met uren van 1, 2, 4, 8, 12 uur en 1, 2, 4, 8 en 9 dagen bepaald. Voor elk van deze uren is de herhalingstijd bepaald volgens de statistiek van Smits e.a. (2004) en Buis-hand en Wijngaard (2007), zie tabel 1 voor het resultaat bij enkele uren.

Vervolgens is bepaald welke duur de grootste herhalingstijd heeft. Dit noemen we de maatgevende duur. De maatgevende duur en bijbehorende herhalingstijd voor de tien geselecteerde gebeurtenissen zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Maatgevende uren en herhalingstijd van geselecteerde gebeurtenissen.

Naam gebeurtenis	Jaar	Periode piek	Maatgevende duur (uur)	Herhalingstijd (jaar)
Bui 14	1912	augustus	216	101
Bui 87	1946	februari	24	26
Bui 99	1952	juli	8	94
Bui 102	1953	juni	1	77
Bui 118	1960	oktober	96	109
Bui 120	1961	juni	2	77
Bui 131	1966	juli	4	40
Bui 192	1994	augustus	24	23
Bui 199	1997	augustus	1	11
Bui 203	1998	november	216	116

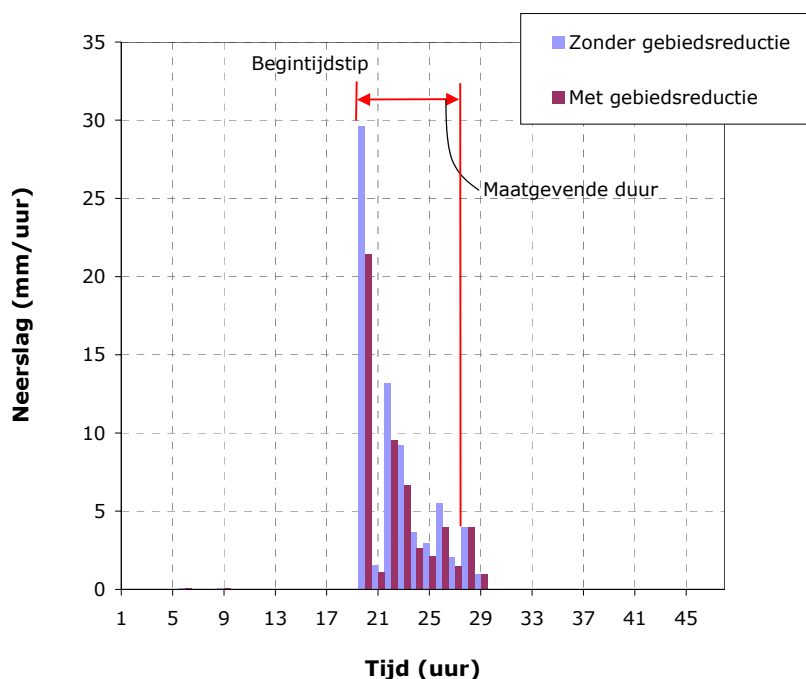
Voor deze duur en herhalingstijd is de gebiedsreductiefactor bepaald op basis van Overeem (2009) en de aanvullingen zoals beschreven in de vorige paragraaf. De berekende gebiedsreductiefactoren zijn weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: Gebiedsreductiefactoren voor de geselecteerde gebeurtenissen.

Naam gebeurtenis	Jaar	Periode piek	Gebiedsreductiefactor (-)			
			LA ZOF	HA ZOF	HA+TA NOP	LA NOP
Bui 14	1912	augustus*	0,95	0,95	0,95	0,95
Bui 87	1946	februari*	0,95	0,95	0,95	0,95
Bui 99	1952	juli	0,69	0,72	0,79	0,73
Bui 102	1953	juni	0,54	0,58	0,68	0,59
Bui 118	1960	oktober*	0,95	0,95	0,95	0,95
Bui 120	1961	juni	0,61	0,63	0,73	0,65
Bui 131	1966	juli	0,68	0,71	0,78	0,71
Bui 192	1994	augustus	0,83	0,84	0,89	0,85
Bui 199	1997	augustus	0,62	0,65	0,75	0,66
Bui 203	1998	november*	0,95	0,95	0,95	0,95

* Deze gebeurtenissen zijn op basis van maatgevende duur of periode in het jaar gekarakteriseerd als 'wintergebeurtenis' en kennen daarmee een afwijkende gebiedsreductiefactor

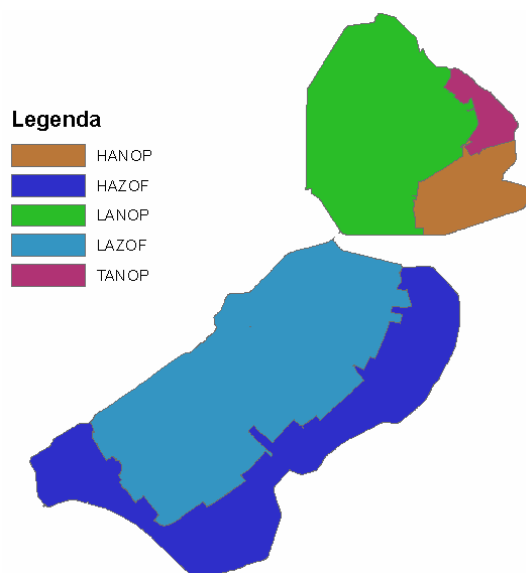
Om de neerslaghoeveelheden in de neerslaggebeurtenissen aan te passen wordt de gebiedsreductiefactor vervolgens toegepast op de neerslaggebeurtenis. De gebiedsreductie wordt niet toegepast op de gehele neerslaggebeurtenis maar enkel op het maatgevende deel. De overige neerslag in de neerslaggebeurtenis is niet aangepast. De gebiedsreductiefactor is immers enkel geldig voor de extreme waarden. Vervolgens is getoetst of door de gebiedsreductie een andere duur binnen de gebeurtenis maatgevend is geworden. Dit is voor de tien gekozen gebeurtenissen niet het geval. Als voorbeeld is in afbeelding 3 het resultaat voor één bui opgenomen.



Afbeelding 3: Neerslagintensiteiten voor de gebeurtenis van juli 1952, zonder en met gebiedsreductie.

Effect van neerslagspreiding op waterstanden

Het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland wordt gekenmerkt door een aantal grote bemalingsafdelingen (afbeelding 4). Dit zijn de Lage Afdeling in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland (LAZOF, 58000ha), de Hoge Afdeling in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland (HAZOF, 39000 ha), de Lage Afdeling in de Noordoostpolder (LANOP, 35000 ha) en de Hoge en Tussen Afdeling in de Noordoostpolder (HANOP+TANOP, 13000 ha).



Afbeelding 4: Bemalingsafdelingen binnen het beheergebied van Waterschap Zuiderzeeland.

De invloed van de neerslagspreiding op de waterstand op de hoofdvaarten in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland is bepaald voor 10 neerslaggebeurtenissen, waarop de gebiedsreductiefactor (GRF) door ons is toegepast.

Vervolgens zijn twintig berekeningen met een SOBEK-model (modules RR en 1DFLOW) van Zuidelijk en Oostelijk Flevoland gemaakt: 10 berekeningen met en 10 berekeningen zonder gebiedsreductie van de neerslag.

De gemiddelde waterstandsreductie als gevolg van gebiedsreductie is weergegeven in tabel 3. Deze waarde is bepaald als het gemiddelde van de waterstandsreductie van alle in het model opgenomen rekenpunten in de Lage Vaart, respectievelijk de Hoge Vaart.

In de tabel is te zien dat de waterstandsreductie voor de wintergebeurtenissen varieert van 7 tot 22 cm (gemiddeld 13 cm), voor de zomergebeurtenissen kan de reductie 7 tot 52 cm bedragen (gemiddeld 30 cm).

Tabel 3: Gemiddelde waterstandsreductie¹ in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland voor tien gebeurtenissen.

Gebeurtenis	Waterstandsreductie [cm]	
	Lage Vaart	Hoge Vaart
augustus 1912	12	7
februari 1946	21	22
juli 1952	35	39
juni 1953	52	44
oktober 1960	7	7
juni 1961	45	41
juli 1966	19	18
augustus 1994	22	24
augustus 1997	31	33
november 1998	15	7

Het is voor de toetsing aan de normen belangrijk te weten hoe dit doorwerkt in de statistiek van waterstanden. Om de jaarmaxima grafisch weer te kunnen geven op waarschijnlijkheidspapier wordt daarvoor gebruik gemaakt van plotposities. Over het algemeen wordt gebruik gemaakt van de plotposities van Benard en Bos-Levenbach (1953):

$$F_i = \frac{i - 0.3}{N + 0.4},$$

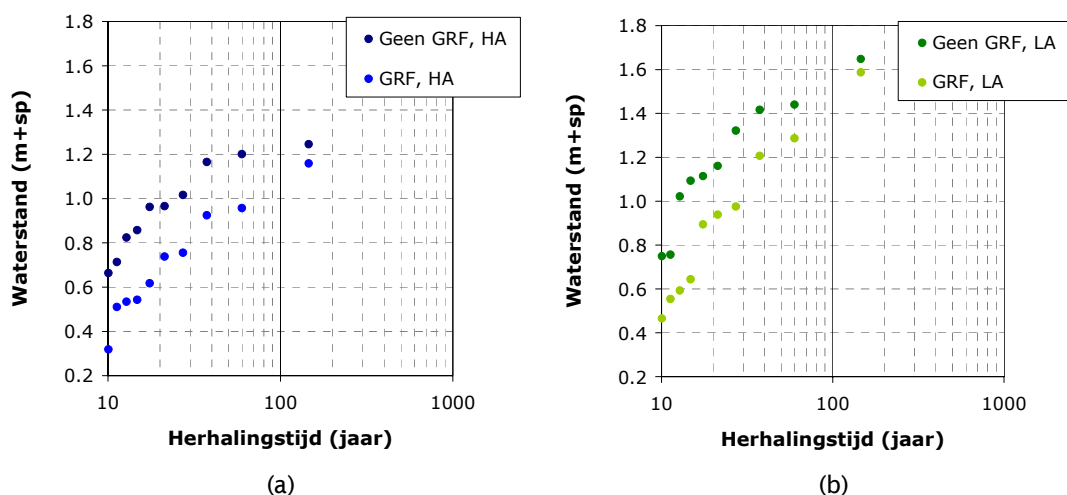
waarbij F_i staat voor de plotpositie van het jaarmaximum als een kanswaarde, i voor het rangnummer van de jaarmaxima (gesorteerd van hoog naar laag: het hoogste jaarmaximum heeft dan rangnummer 1) en N voor het aantal jaren. Hierbij is aangenomen dat de 10 gekozen gebeurtenissen de meest extreme gebeurtenissen zijn.

De plotposities van jaarmaxima kunnen ook uitgedrukt worden als frequentiewaarden (aantal per jaar) of herhalingstijden (jaar) middels de benaderingsrelatie van Langbein (1949). Hierdoor wordt F_i getransformeerd tot $F_{i,jaar}$ en $T_{i,jaar}$:

$$F_{i,jaar} = -\ln(1 - F_i), \text{ en } T_{i,jaar} = \frac{1}{F_{i,jaar}}$$

De resultaten zijn weergegeven in afbeelding 5.

¹ Opgemerkt wordt dat het beschikbare model nog niet naar tevredenheid gekalibreerd is. Wel is het model door het waterschap gecontroleerd op plausibiliteit. Samen met een beoordeling van de berekeningsresultaten in dit onderzoek verwachten wij dat de conclusies die we verbinden aan de berekende waterstandsreducties ook na modelkalibratie 'overeind blijven'.



Afbeelding 5: Waterstanden ten opzichte van streefpeil (sp) zonder en met gebiedsreductie (GRF) van neerslag voor een locatie op (a) de Hoge Vaart, HA, en (b) de Lage Vaart, LA, in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland.

Waterschap Zuiderzeeland hanteert voor de NBW-toetsing een andere classificatie van maatgevend landgebruik met bijbehorende herhalingstijden en maaiveldcriteria dan aangegeven in het Nationaal Bestuursakkoord Water.

Bij de in Flevoland maatgevende herhalingstijden van 50 en 80 jaar leert afbeelding 5 dat de extreme waterstanden op de hoofdvaarten in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland ten gevolge van gebiedsreductie ongeveer 20 centimeter lager uitvallen.

Tot slot

In deze publicatie is aangegeven dat het effect van het toepassen van een gebiedsreductiefactor groot kan zijn op de berekende maatgevende waterstanden. Een reductie van ongeveer 20 cm zal zeker gevolgen hebben op de grootte van de wateropgave en de te nemen maatregelen om deze wateropgave op te lossen.

De resultaten zijn bepaald voor de hoofdvaarten van Zuidelijk en Oostelijk Flevoland. Op deze locaties is het stroomgebied al behoorlijk groot en is gebiedsreductie op zijn plaats. Als we meer bovenstrooms kijken, speelt gebiedsreductie een steeds kleinere rol, omdat het stroomgebied op die locaties kleiner is. Anders geformuleerd: voor het verantwoord toepassen van gebiedsreductie moet rekening worden gehouden met deze glijdende schaal van grootte van afwaterend gebied binnen een stroomgebied. In het onderzoek zijn enkele methodes onderzocht om de gebiedsreductie voor dit schalingsaspect te corrigeren, maar omwille van de lengte van dit artikel zijn die hier niet behandeld.

Literatuur

Benard A. en E.C. Bos-Levenbach (1953) The plotting of observations on probability paper; *Statistica*, 7, pag 163–173.

Buishand T.A. en C.A. Velds (1980) *Klimaat van Nederland 1, Neerslag en verdam-*

- ping; KNMI De Bilt, april 1980.
- Buishand T.A. en J.B. Wijngaard (2007)** Statistiek van extreme neerslag voor korte neerslagduren; KNMI Technical report TR - 295, De Bilt, 2007.
- Buishand T.A., R. Jilderda en J.B. Wijngaard (2009)** Regionale verschillen in extreme neerslag; KNMI Scientific report WR 2009-01. De Bilt, 2009.
- Jenkinson, A.F. (1955)** The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements; *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 81, pag 158-171.
- NERC (1975)** Flood Studies Report. Natural Environment Research Council, London.
- Overeem, A. (2009)** Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar; Wageningen, december 2009.
- Smits, I., M. Kok, R. Versteeg en J. Wijngaard (2004)** Statistiek van extreme neerslag in Nederland; STOWA rapport 2004 26, Utrecht november 2004.
- Witter, J.V. (1983)** Statistical areal reduction factors in the Netherlands; Scientific Procedures Applied to the Planning, Design and Management of Water Resources Systems, *IAHS Publication*, no. 147, augustus 1983.