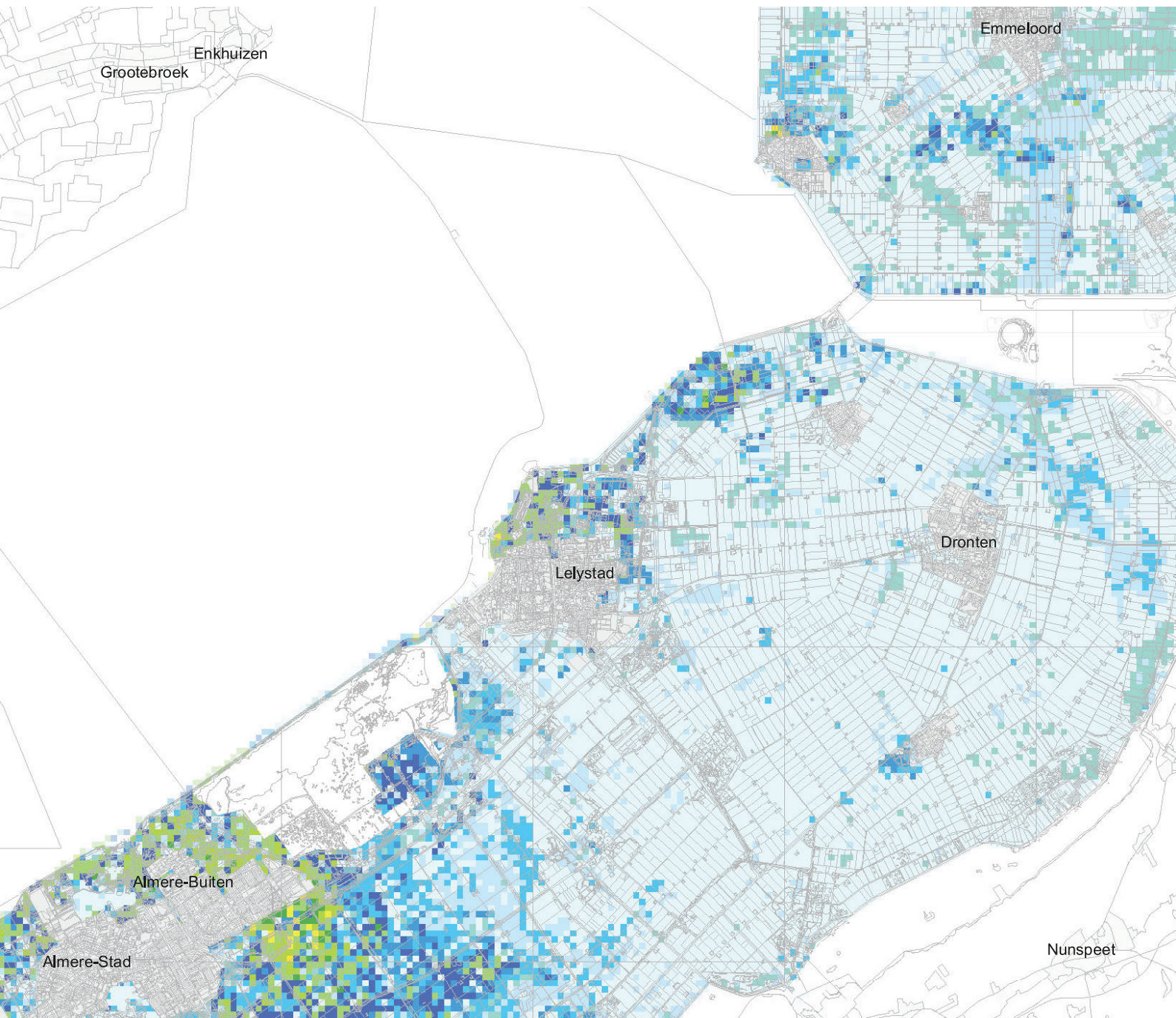


Bodemdalingskaart Flevoland



Bodemdalingskaart Flevoland

Definitief

provincie Flevoland en Waterschap Zuiderzeeland

Grontmij Nederland B.V.
Houten, 23 maart 2012

Verantwoording

Titel	:	Bodemdalingskaart Flevoland
Subtitel	:	
Projectnummer	:	304424
Referentienummer	:	GM-0042778
Revisie	:	D2
Datum	:	23 maart 2012
Auteur(s)	:	drs. G. de Lange, drs. J. Gunnink, ing Y. Houthuessen en ing. R. Muntjewerff
E-mail adres	:	ronald.muntjewerff@grontmij.nl
Gecontroleerd door	:	ir. P.B.J.M. Oude Boerrigter
Paraaf gecontroleerd	:	
Goedgekeurd door	:	drs. J.P.J.J. Theeuwen
Paraaf goedgekeurd	:	
Contact	:	Grontmij Nederland B.V. De Molen 48 3994 DB Houten Postbus 119 3990 DC Houten T +31 30 634 47 00 F +31 30 637 94 15 www.grontmij.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	7
1 Inleiding.....	11
1.1 Aanleiding en opdracht	11
1.2 Doel.....	11
1.3 Werkwijze.....	11
1.4 Leeswijzer	12
2 Bodemdalingsprocessen.....	13
2.1 Inleiding.....	13
2.2 Oorzaken en achterliggende processen	13
2.2.1 Tektonische daling	13
2.2.2 Isostasie	14
2.2.3 Oxidatie en krimp van veen	14
2.2.4 Compactie	14
2.2.5 Rijping	14
2.2.6 Winning delfstoffen	14
2.3 Invloed menselijk ingrijpen.....	15
2.4 Conclusie	15
3 Inventarisatie.....	17
3.1 Achtergronden	17
3.2 Inventarisatie en literatuuronderzoek.....	17
3.3 Analyse hoogteligging rijpingsterreinen	18
3.4 Veld- en laboratoriumonderzoeken rijpingsterreinen en Noordoostpolder	19
3.5 Aanvullend grondonderzoek	20
4 Analyse AHN.....	21
4.1 Beoordeling AHN	21
4.2 Conclusie	24
5 Analyse rijpingsfactor.....	25
5.1 Onderzoeksopzet.....	25
5.2 Analyseresultaten	26
5.3 Interpretatie	26
5.4 Reconstructie maaiveld daling per terrein	30
5.5 Conclusie	32
6 Modelbeschrijving	33
6.1 Methodologie	33
6.2 Geologische basis.....	33
6.3 Het ondergrondmodel	34
6.4 Grondwaterstanden	38
6.5 Parametrisatie ondergrondmodel	38
6.6 Berekeningswijze	39
6.7 Vergelijking modelprognose en metingen.....	41
7 Betrouwbaarheid en onzekerheden.....	43
7.1 Bijdragen aan de onzekerheden.....	43

7.1.1	Ondergrondmodel	43
7.1.2	Grondwaterstand	43
7.1.3	Vergelijking van de ontwikkeling van de grondwaterstand, grondspanningen en bodemdaling en modelresultaat.....	45
7.1.4	Rijping en kleischeuren.....	46
7.1.5	Bodemdalingsmodel	47
7.2	Consequenties voor de prognose	48
7.3	Verschil tussen deze en voorgaande prognoses.....	49
7.4	Conclusies.....	49
8	Bodemdalingskaart Flevoland 2011	51
8.1	Kaartbeelden Bodemdalingkaart Flevoland 2011	51
8.1.1	Vergelijking met Bodemdalingkaart Flevoland 2005.....	51
8.1.2	Vergelijking met overige prognoses.....	52
8.2	Gebruiksmogelijkheden Bodemdalingkaart Flevoland 2011.....	53
8.2.1	Toekomstige peilbesluiten	53
8.2.2	Archeologie	53
8.2.3	Nieuwe stedelijke ontwikkelingen	53
8.2.4	Landbouw.....	53
8.3	Beheer Bodemdalingkaart Flevoland 2011.....	54
8.3.1	Maaiveldhoogten.....	54
8.3.2	Bodemdata.....	54
8.3.3	Grondwaterstanden	54
8.3.4	Actualisatie van de bodemdalingkaart	55
	Literatuuroverzicht en informatiebronnen.....	57

Bijlage 1: Ligging rijpingsterreinen

Bijlage 2: Historische maaiveldddaling rijpingsterreinen

Bijlage 3: Vergelijk maaiveldddalingen en metingen

Bijlage 4: Locaties uitgevoerde boringen

Bijlage 5: Boorprofielen + legenda

Bijlage 6: Analyseresultaten grondmonsters

Bijlage 7: Boordichtheid

Bijlage 8: Grondsoorten per diepte-interval

Bijlage 9: Bodemschematisatie Deelgebieden

Bijlage 10: Bodemdalingkaarten Flevoland 2011 - 2100

Bijlage 11: Maaiveldhoogtekaarten 2011 - 2100

Bijlage 12: Berekende versus gemeten daling rijpingsterreinen

Bijlage 13: Bodemdaling detailgebieden

Bijlage 14: Vergelijking oude en nieuwe prognose

Bijlage 15: Historische maaiveldddaling rijpingsterreinen en prognose 1993 tot 2100

Samenvatting

De opdracht

De provincie Flevoland en het Waterschap Zuiderzeeland hebben een gezamenlijke verantwoordelijkheid voor het creëren van randvoorwaarden waarbinnen de functies wonen, werken, landbouw en natuur zo optimaal mogelijk kunnen bestaan. Ook de bodem en in het bijzonder bodemdalingsprocessen kunnen hierop van invloed zijn. Niet uitgesloten is dat er in gebieden met een relatief grote maaiveldddaling in het kader van het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) een wateropgave ontstaat. Daarom is een betrouwbare prognose van de bodemdaling noodzakelijk om tijdig op de gevolgen te kunnen anticiperen en door de combinatie Grontmij en Deltares/TNO, in opdracht van de provincie Flevoland en het waterschap Zuiderzeeland, is een op de ondergrond gebaseerd bodemdalingsmodel gemaakt.

Informatiebronnen

Belangrijke basisinformatie is vastgelegd in Flevobericht 388, waarin door de RIJP een prognose is afgegeven voor te verwachten maaiveldddaling tot 100 jaar na inpoldering. Mede omdat deze rapportage is gebaseerd op veldgegevens tot 1993, is op enkele geselecteerde locaties nader veldonderzoek uitgevoerd, bestaande uit bodemkundige opnamen, analyses en hoogtemetingen. Bovendien is dankbaar gebruik gemaakt van het AHN-2, de bodemkaart en de in DINO database opgeslagen bodemgegevens.

De resultaten van de uitgevoerde hoogtemetingen zijn vergeleken met de op basis van de AHN-2 afgeleide waarden. Hieruit is opgemaakt dat verschillen niet significant zijn en de AHN-2 goed te gebruiken is als onderligger voor de bodemdalingskaarten.

Modellering

In het door Deltares/TNO/Alterra opgestelde Kennisdocument Bodemdaling is al geconstateerd dat de bodemdaling in de Flevopolders wordt veroorzaakt door rijping van de boven het grondwaterniveau gelegen kleilagen, inklinking (compactie) van de dieper gelegen klei- en veenlagen, alsmede oxidatie van het boven het grondwaterniveau voorkomende veen. Onzeker is in welke mate er nog rijping zal optreden. Daarom is op enkele geselecteerde (bekende) terreinen onderzoek gedaan naar de specifieke bodemeigenschappen die bepalend zijn voor het rijpingsgedrag van de grond en welke volumeafname de betreffende profielen hebben ondergaan sinds het moment van inpoldering. Gemiddeld genomen is het volume van de ondergrond al met 40% gereduceerd, de spreiding is echter zeer groot. Daardoor is het niet mogelijk gebleken om per bodemtype een vlakdekkend rijpingsscenario te ontwikkelen. Omdat rijping en compactie min of meer vergelijkbare processen zijn, is ervoor gekozen om ter bepaling van de rijping gebruik te maken van de in het ondergrondmodel aanwezige compactieformules, gecorrigeerd voor de boven het grondwaterniveau opgetreden bodemprocessen.

Een belangrijke peiler voor de analyse van de maaiveldddaling is de profielopbouw in Flevoland. Ter bepaling van de opbouw van de ondergrond is het door TNO vervaardigde 3D ondergrondmodel gebuikt. In dit model is de ondergrond verdeeld in voxels van 250x250x1 m. Per voxel is de meest waarschijnlijke grondsamenstelling vastgesteld, waarbij dankbaar gebruik is gemaakt van de in de DINO database beschikbare boringen, aangevuld met de uitgevoerde bodemkundige opnamen. Voor detaillering van de bovengrond (tot 1 m beneden maaiveld), in voxels van 250x250x0,25 m, is ook gebruik gemaakt van de bodemkaart.

Zoals vermeld is ook de grondwaterstand van invloed op de processen (compactie, rijping en oxidatie) die bodemdaling tot gevolg hebben. Beoordeling van de grondwaterstanden en tijdreeksen heeft plaatsgevonden op basis van grondwaterstanden uit de DINO database en de

beschikbare gegevens bij het waterschap en de provincie (ook oppervlaktewaterpeilen). Voor het verkrijgen van een vlakdekkend beeld van de freatische grondwaterstanden is gebruik gemaakt van de bestanden uit het NHI (Nationaal Hydrologisch Instrumentarium).

Gebaseerd op de geschematiseerde profielopbouw zijn met behulp van een eenvoudig compactiemodel de berekeningen uitgevoerd, aannemende dat de resulterende verticale compactie een logaritmisch afnemend verloop heeft. Voor het bepalen van het tijdsverloop van de compactie, dat afhankelijk is van de snelheid waarmee water uit de poriën kan stromen, is de consolidatietheorie van Terzaghi gebruikt en voor oxidatie van aanwezig veen is de oxidatiesnelheidsformule gebruikt.

Bodemdalingskaart Flevoland

De prognose van de bodemdaling en toekomstige maaiveldhoogten is met het zo verkregen model berekend ten opzichte van 2011 en op de in bijlage 10 en 11 opgenomen kaartbeelden, weergegeven voor de jaren 2018, 2024, 2030, 2036, 2042, 2050 en 2100.

De Bodemdalingskaart Flevoland geeft inzicht in de gebieden die het meest gevoelig zijn voor bodemdaling en waar op termijn de grootste bodemdaling is te verwachten. Het betreft vooral de nu al relatief laaggelegen gebieden, die in de toekomst nog lager komen te liggen.

Uit de nu beschikbare versie van de bodemdalingskaart is op te maken dat in de gebieden met een relatief dikke Holocene deklaag, bestaande uit klei en veen, afhankelijk van de grondwaterstanden en de diepte van de gevoelige bodemlagen, nog een aanzienlijke bodemdaling te verwachten is. Tot 2018 variëren de dalingen van 0 tot 0,20 m, terwijl tot 2050 een bodemdaling van 0,05 tot 0,60 à 0,70 m is berekend in enkele gebieden rond Almere en Lelystad.

Betrouwbaarheid en onzekerheden

De betrouwbaarheid van het ondergrondmodel is afhankelijk van de datadichtheid en de geologische complexiteit. Uit de analyse is op te maken dat de prognose voor Zuidelijk Flevoland binnen redelijke grenzen voldoet. De verschillen tussen meting en prognose in Oostelijk Flevoland zijn echter te groot. De lage waarden voor de voorspelde daling wijzen erop dat het rijpingsproces hier niet goed gemodelleerd wordt voor de profielen met zandige klei. Het is daarom nodig om voor Oostelijk Flevoland een aparte calibratie uit te voeren. De waarneembare optredende daling wijst erop dat het vochtgehalte in het profiel nog steeds afneemt. De rijping gaat bovendien door als door een warmer wordend klimaat de grondwaterstand daalt. De extra daling in Flevoland zal daardoor in 2050 ca 10-20 cm bedragen, afhankelijk van de feitelijke oxidatiesnelheid.

De prognose voor de Noordoostpolder kan niet worden getoetst met de beschikbare gegevens. De daling in de NOP wordt gedomineerd door oxidatie van veen. De residuele daling door rijping is wegens de ouderdom van de polder een orde kleiner. De patronen van daling komen in de gehele provincie wel overeen met de expressie van de topografie in het AHN. In de gebieden met veen is ook in het AHN een depressie te zien.

Gebruiksmogelijkheden

De bodemdalingskaart kan helpen bij de besluitvorming in het kader van het NBW en bij het toekennen van toekomstige peilbesluiten. De kaart geeft inzicht in de gebieden met de grootste wateropgave. Niet geheel onverwacht betreft het de relatief laag gelegen gebieden in Flevoland.

In de polders liggen meerdere archeologisch waardevolle gebieden en archeologische waarden in de ondergrond opgeslagen. De kaart kan helpen een antwoord te geven op de beoordeling van de gebieden waar als gevolg van bodemdaling de kans op verstoring van de context dan wel een directe aantasting van de waarde het grootst is.

Indien de percelen aan de landbouw worden onttrokken, voor bijvoorbeeld een stedelijke uitbreiding, dan is het vooral in het kader van het beheer en onderhoud van de nieuwe omgeving (onder- en bovengrondse infrastructuur) van belang inzicht te hebben in de toekomstige maaiveld daling. Door de te ontwikkelen locaties zorgvuldig bouwrijp te maken en hiervoor ook voldoende tijd uit te trekken, kunnen de negatieve effecten worden beperkt.

Bodemdaling heeft in de landbouwgebieden tot gevolg dat de percelen op termijn zullen vernat-
ten. Dit kan tot gevolg hebben dat er in de toekomst een keuze gemaakt moet worden tussen
ingrijpen in de waterhuishoudkundige situatie danwel de landbouwkundige betekenis van het
betreffende gebied.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en opdracht

De provincie Flevoland en het Waterschap Zuiderzeeland hebben een gezamenlijke verantwoordelijkheid voor het creëren van randvoorwaarden waarbinnen de functies wonen, werken, landbouw en natuur zo optimaal mogelijk kunnen bestaan. Deze functies zijn direct afhankelijk van het functioneren van het waterhuishoudkundig systeem. Ook de bodem en in het bijzonder bodemdalingsprocessen kunnen hierop van invloed zijn. Daarom is, mede gezien de vele (grootschalige) ontwikkelingen in de provincie Flevoland, een betrouwbare prognose van de bodemdaling noodzakelijk om tijdig op de gevolgen te kunnen anticiperen.

In het bijzonder zorgt de bodemdaling ervoor dat in gebieden waar de waterhuishouding aanvankelijk op orde was op korte of langere termijn een wateropgave ontstaat in het kader van het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW). Daarom is het nadrukkelijk gewenst inzicht te verkrijgen in de op kortere en langere termijn te verwachten bodemdaling. Mede vanuit dit perspectief heeft Grontmij van de provincie Flevoland en het waterschap Zuiderzeeland de opdracht gekregen voor het actualiseren van de bodemdalingskaart voor provincie Flevoland.

1.2 Doel

Doel van de uit te voeren studie is om op basis van beschikbare en te verzamelen data inzicht te verschaffen in de processen die leiden tot bodemdaling, alsmede het opstellen van een prognose voor de bodemdaling in 2018, 2024, 2030, 2036, 2042, 2050 en 2100. De geprognosticeerde bodemdaling voor de bovengenoemde tijdhorizonten is gepresenteerd in de vorm van provinciedekkende bodemdalingskaarten en maaiveldhoogtekaarten.

1.3 Werkwijze

Grontmij heeft ervoor gekozen om de actualisatie van de bodemkaart Flevoland in samenwerking met de kennisinstituten Deltares, TNO en Alterra uit te willen voeren. De overweging daarvoor is dat de kennisinstituten al de beschikking hebben over veel relevante bodemdata, zowel van boven- als ondergrond, en nauwkeurige ondergrondmodellen. Door nu de nieuw te verzamelen bodemdata te koppelen aan de bestaande data zijn we in staat om de bestaande ondergrondmodellen te calibreren op specifieke situaties in de polders en daardoor in staat om een zo betrouwbaar mogelijke prognose te maken van de nog te verwachten bodemdaling.

Een belangrijk aanknopingspunt is het Kennisdocument Bodemdaling [1]. Belangrijke basisgegevens zijn ontleend aan de al beschikbare informatie over bodemopbouw, hoogteligging en grondwaterstanden. Ter verificatie van de opgetreden processen en beoordeling van de huidige terreinsituatie is op enkele geselecteerde locaties aanvullend veldonderzoek uitgevoerd. In dit kader is dankbaar gebruik gemaakt van de oude rijpingsterreinen en door de provincie en het waterschap geselecteerde aandachtgebieden. Als basis voor de maaiveldhoogtekaarten is gebruik gemaakt van een actuele gevalideerde hoogtekaart (AHN-2).

Het resultaat is een modelmatige berekening van de bodemdaling, waarbij zowel rekening is gehouden met de in de ondergrond optredende processen als met het rijpingsgedrag van de bovengrond. Daarmee is het mogelijk kaarten te maken die inzicht geven in de verwachte bodemdaling in 2018, 2024, 2030, 2036, 2042, 2050 en 2100.

1.4 Leeswijzer

De rapportage begint met een algemene beschrijving van de processen die bodemdaling tot gevolg hebben.

In het kader van de actualisatie van de bodemdalingskaart Flevoland zijn in eerste instantie enkele inventarisaties verricht, zoals de uitvoering van veld- en laboratoriumonderzoeken. Een toelichting van de verrichtte inventarisaties is opgenomen in hoofdstuk 3 van het voorliggende rapport. Hierna volgt in hoofdstuk 4 een analyse van de nauwkeurigheid en gebruiksmogelijkheden van de AHN (Actueel Hoogtebestand Nederland). In hoofdstuk 5 is, op basis van de uitgevoerde veld- en laboratoriumonderzoeken, een analyse gemaakt van de rijpingsfactor en de invloed daarvan op het bodemdalingsproces. Hoofdstuk 6 bestaat vervolgens uit een beschrijving van het ondergrondmodel dat is gebruikt voor het bepalen van de bodemdaling in verschillende tijdstappen tussen 2011 en 2100. Een analyse van de betrouwbaarheid en onzekerheden van de gepresenteerde resultaten is beschreven in hoofdstuk 7. Tot slot zijn in hoofdstuk 8 de gebruiksmogelijkheden beschreven en ook aanbevelingen uitgewerkt voor het beheer en onderhoud van de Bodemdalingskaart Flevoland 2011 – 2100. Ook is in hoofdstuk 8 een vergelijking gemaakt met de Bodemdalingskaart 2005 en enkele rond Schokland uitgevoerde verkenningen.

In de tekst zijn verwijzingen opgenomen naar de achter in het rapport opgegeven bronnen. Deze zijn als volgt weergegeven: [1].

2 Bodemdalingsprocessen

2.1 Inleiding

Bodemdaling is het zakken van het niveau van bodem / maaiveld ten opzichte van een referentiepunt, bijvoorbeeld het Normaal Amsterdams Peil (NAP). Bodemdaling is alleen waar te nemen als er zich in het gebied waar daling plaatsvindt, een referentiepunt bevindt dat niet of minder snel daalt. In figuur 2.1 wordt de bodemdaling zichtbaar gemaakt doordat de bunker op een ondergrondse laag is gefundeerd die niet gedaald is terwijl de bodem wel is gedaald. Bodemdaling wordt veroorzaakt door een aantal processen die deels door de mens worden beïnvloed. Met name de waterhuishouding is een belangrijke menselijke ingreep die voor versnelde bodemdaling kan leiden. In de volgende paragrafen worden de processen die bodemdaling veroorzaken besproken.



Figuur 2.1: Bodemdaling: bodem is gedaald, gefundeerde bunker is blijven staan

2.2 Oorzaken en achterliggende processen

Bodemdaling in Nederland is onder te verdelen in de volgende oorzaken:

1. Tektonische daling
2. Isostasie: bodembeweging als gevolg afsmelten van landijsbedekking
3. Oxidatie en krimp van veen
4. Compactie en rijping
5. Winning van delfstoffen: olie, gas, zout

2.2.1 Tektonische daling

Tektonische daling treedt op als gevolg van geologische processen in de diepe ondergrond. De tektonische daling in Nederland wordt geschat op maximaal 1,8 cm per eeuw (Stouthamer en Berendsen, 2000), wat neerkomt op 0,18 mm/jaar.

2.2.2 *Isostasie*

De isostatische bodemdaling is het gevolg van het feit dat in de laatste ijstijd een groot deel van Noorwegen, Zweden en Denemarken bedekt was onder een dikke laag landijs. Deze laag ijs van soms meer dan 2 kilometer dikte zorgde voor een grote druk op de aardkorst, waardoor deze ingedrukt werd. Na het afsmelten van het ijs veert de aardkorst weer terug, wat ten koste gaat van de zuidelijker gelegen gebieden, die daardoor een daling ondergaan. In Nederland wordt de isostatische daling door Kooi et al [9] geschat op maximaal 0,3 mm/jaar. Voor het beheersgebied van Zuiderzeeland wordt een schatting van 0,2 mm/jaar aangehouden.

2.2.3 *Oxidatie en krimp van veen*

Oxidatie en krimp van veen is een van de belangrijkste bodemdalingsprocessen in de Holocene sedimenten in Nederland. Door de blootstelling van organisch materiaal aan de lucht vindt oxidatie plaats, waardoor het veen "verbrandt". In het veenweidegebied is in de laatste decennia een aantal studies uitgevoerd die veel kennis hebben opgeleverd over de snelheid van oxidatie (en daarmee bodemdaling). Krimp van het veen vindt plaats boven de grondwaterstand door uitdroging door ontwatering en vooral door verdamping, voornamelijk door het gewas. Plantenwortels kunnen de grond sterk uitdrogen en veel krimp veroorzaken. Krimp kan worden onderscheiden in reversibele en irreversibele krimp. Irreversibele krimp van veen is vergelijkbaar met rijping van kleigronden. Reversibele krimp vindt plaats in de zomer en kan in zeer droge zomers tijdelijke maaiveld dalingen van meer dan 10 cm veroorzaken.

2.2.4 *Compactie*

Een belangrijke factor in de bodemdaling in Nederland wordt gevormd door compactie. Onder compactie wordt verstaan het samendrukken van sedimentpakketten als gevolg van een bovenbelasting. De poriën van het sediment in de ondergrond zijn in het algemeen gevuld met water en/of gas, dat een deel van de bovenbelasting opvangt. Indien het water of het gas wordt verwijderd (door winning, drainage of verdamping) zal het gewicht van de bovenbelasting toenemen en komt het onderliggende water en gas onder druk te staan en zoekt het een uitweg. De samendrukbaarheid van het korrelskelet en de mate van doorlatendheid van het sediment bepaalt de snelheid van bodemdaling die met compactie samenhangt. Compactie is afhankelijk van de sterkte parameters van de bodem, waarbij veen en klei sterker samendrukbaar zijn dan zand. Iedere grondsoort heeft eigen samendrukbaarheidsparameters, die afhankelijk zijn van de samenstelling van de grond en de al doorgemaakte voorbelasting.

2.2.5 *Rijping*

Rijping is qua proces vergelijkbaar met compactie. Rijping treedt op in de bovenste laag waar water uit verdwijnt door drainage, blootstelling aan de atmosfeer en door verdamping door vegetatie.

Wanneer een grond droogvalt (bijvoorbeeld na inpoldering) is er eerst nog sprake van een tweefasig systeem, bestaande uit een vaste fase en een vloeibare fase. Door verdamping, ontwatering (aanleg sloten en drainage) en door wateropname door plantenwortels verdwijnt er water. De grotere poriën raken leeg en gevuld met lucht. In het zo ontstane driefasig systeem neemt bij verdergaande wateronttrekking de waterspanning af en worden de vaste delen naar elkaar toegedrukt (is toename korrelspanning). Gevolg hiervan is dat de grond in elkaar wordt gedrukt (krimp), met als gevolg dat het maaiveld zakt. Omdat water voornamelijk aan lutum (kleideeltjes) en organische bestanddelen is gebonden, is het waterverlies groter naarmate een grond kleiiger en humeuzer is.

2.2.6 *Winning delfstoffen*

De bodemdaling die gepaard gaat met winning van delfstoffen is in bepaalde gebieden van Nederland de belangrijkste reden voor bodemdaling, denk met name aan de gaswinning in Groningen en de zout- en gaswinning in Noord Friesland. In het beheersgebied van Zuiderzeeland spelen deze processen echter geen rol.

2.3 Invloed menselijk ingrijpen

De bodemprocessen die bijdragen aan de bodemdaling in Flevoland worden sterk beïnvloed door menselijke ingrepen, met name in de waterhuishouding en grondbewerking.

Door ontwatering treedt in de bovenste paar meter van de bodem compactie op: het water tussen de korrels vangt de bovenbelasting niet meer op, waardoor het korrelskelet wordt samengedrukt. De onderliggende lagen worden daardoor blootgesteld aan een bovenbelasting, en het grondwater zal een uitweg proberen te vinden. Door ontwatering zullen aanwezige veenlagen droog komen te liggen en verdwijnen door oxidatie. Naast ontwatering kan ook grondwaterwinning compactie veroorzaken, waarbij de effecten wat betreft bodemdaling afhankelijk zijn van de hydrologische situatie.

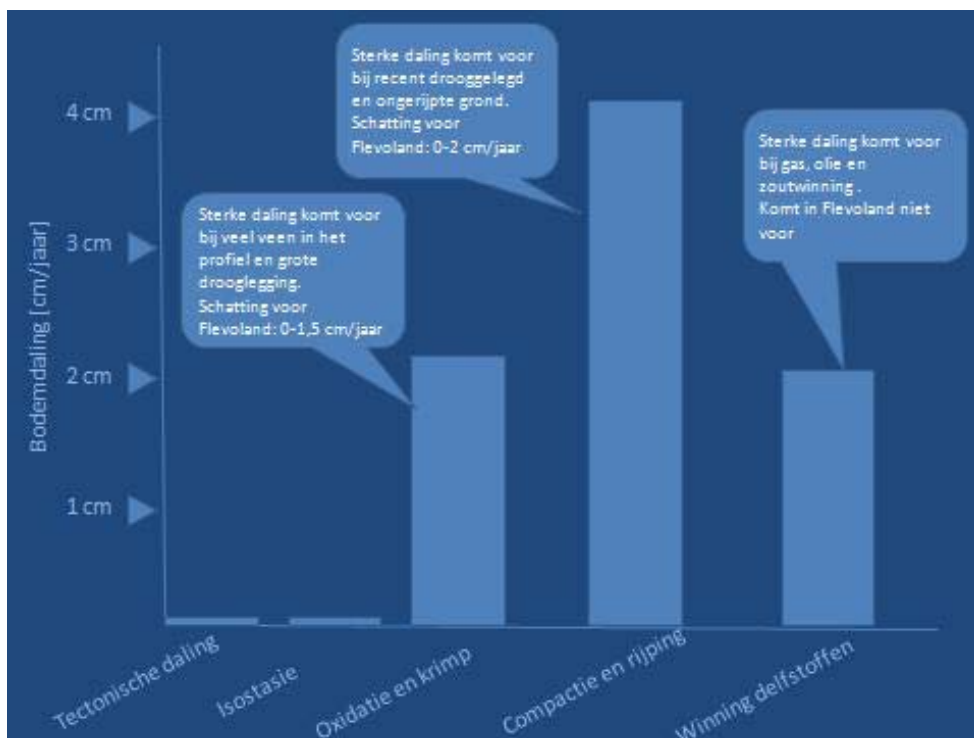
Grondbewerking kan invloed hebben op de mate van bodemdaling. Dit geldt vooral in situaties waar door grondbewerking (ploegen) humeuze lagen aan het oppervlak worden gebracht. Daarnaast geldt dat door bovenbelasting (mechanisatie) verdichting van het bodemprofiel kan optreden.

Een laatste oorzaak van bodemdaling die door menselijk ingrijpen wordt veroorzaakt, is zetting onder invloed van het gewicht van bebouwing en infrastructuur. Met name in slappe klei- en veenpakketten treedt dit effect op. Zetting kan worden beschouwd als een speciaal geval van compactie, namelijk door een externe bovenbelasting.

Uit bovenstaande is duidelijk dat de opbouw van de ondergrond een belangrijk gegeven is voor de bepaling van de gevoeligheid voor bodemdaling en een voorspelling van mogelijke bodemdaling als gevolg van autonome processen en menselijke ingrepen.

2.4 Conclusie

Bodemdaling in Flevoland wordt voornamelijk gestuurd door menselijke oorzaken als inpoldering en ontwatering. De belangrijkste processen die bodemdaling veroorzaken zijn gerelateerd aan deze oorzaken: rijping, compactie en veenoxidatie. In Figuur 2.2 is een overzicht gegeven van de bijdrage die de verschillende processen aan de bodemdaling in theorie kunnen leveren. Uit dit overzicht wordt duidelijk dat oxidatie/krimp en compactie/rijping voor Flevoland de relevante processen zijn.



Figuur 2.2: Bijdrage van verschillende processen aan bodemdaling in Flevoland.

Ieder bodemtype/grondsoort reageert verschillend op deze processen. Het is daarom van belang om het driedimensionaal voorkomen van de bodemtypen en grondsoorten goed te kennen om op die manier een betrouwbare voorspelling van bodemdaling te kunnen geven.

Voor een nadere beschouwing van de beschikbare en relevant geachte kennis van de relevante bodemdalingsprocessen wordt verwezen naar hoofdstuk 3 van het kennisdocument [1].

3 Inventarisatie

3.1 Achtergronden

Uitgebreid onderzoek naar de bodemdaling is verricht door de Rijksdienst IJsselmeerpolders (RIJP). Door de RIJP zijn na de inpoldering verspreid over Oostelijk en Zuidelijk Flevoland 90 rijpingsterrein ingericht, waar de bodemdaling is gevolgd van het moment van droogvallen tot begin jaren negentig. De uitgevoerde metingen betroffen hoogtemetingen van het maaiveld en daarnaast periodieke bemonsteringen van de toplagen (alle grondlagen boven de grondwater-spiegel), waarmee het rijpingsproces werd gevolgd. De laatste metingen op de proefvelden dateren van 1992 (Oostelijk Flevoland) en 1993 (Zuidelijk Flevoland) en zijn in 1996 geëvalueerd [2]. De ligging van de rijpingsterreinen is weergegeven in bijlage 2.

De belangrijkste conclusie uit deze onderzoeken was dat de werkelijke bodemdaling anno 1992/1993 plaatselijk sterk afwijkt van de aanvankelijk gemaakte prognoses (voorafgaand aan de drooglegging). Geconstateerd werd dat de verwachte bodemdaling 100 jaar na drooglegging in delen van Zuidelijk Flevoland anno 1993 (25 jaar na drooglegging) reeds was bereikt. Het zakkingsverloop in Oostelijk Flevoland kwam daarentegen redelijk overeen met de prognoses.

De geconstateerde afwijkingen konden worden verklaard door een afwijkend rijpingsgedrag van sterk humeuze kleilagen in Zuidelijk Flevoland alsmede een onderschatting van de compactie van de diepe ondergrond. Op basis van deze bevindingen is in Flevobericht 388 per rijpingsterrein een aangepaste prognose gemaakt van de bodemdaling in Zuidelijk Flevoland 100 jaar na drooglegging. De daarbij gevolgde methodiek, ofwel de specifieke formularia voor de berekening van de rijping en voor de compactie van de ondergrond zijn in het rapport gedetailleerd beschreven. Echter, de berekeningen van de bodemdaling per terrein, c.q. het aandeel van rijping en compactie in de totaal berekende bodemdaling, is uit het rapport niet te herleiden.

De rijpingsterreinen vormen een belangrijke schakel in het onderzoek naar bodemdaling in de provincie Flevoland, maar helaas zijn de metingen na 1992/1993 niet gecontinueerd. Het is zelfs zeer de vraag of essentiële meetgegevens van de proefvelden überhaupt nog beschikbaar zijn. In het kader van dit onderzoek is het niet gelukt om de relevante data te ontsluiten.

3.2 Inventarisatie en literatuuronderzoek

Naast Flevobericht 388 is door RIJP een groot aantal rapporten opgesteld over de bodemopbouw van Flevoland. Er is een inventarisatie gemaakt van de voor de uitwerking van het model van belang geachte informatie. Voorwaarde was dat deze informatie eenvoudig is te ontsluiten.

Voor de uit te voeren analyse van het zakkingsverloop van de rijpingsterreinen worden vooral meetdata van deze specifieke terreinen van belang geacht. In Flevobericht 388 zijn uitsluitend de hoogteligging en locaties van de terreinen vermeld, alsmede de jaarlijks gemeten zakkingen van de terreinen vanaf het moment van inpoldering tot begin jaren negentig. Het rapport bevat geen boorprofielen, geen beschrijving van de bodemopbouw per terrein, laat staan gedetailleerde informatie zoals de periodieke analyses van lutum-, organische stof- en watergehalten. Voor zover wij hebben kunnen nagaan zijn deze resultaten ook nooit in een afzonderlijk rapport gedocumenteerd. In diverse rapporten van RIJP wordt een beschrijving gegeven van uitgevoerde metingen en/of wordt aan meetdata gerefereerd, maar ontbreekt een uitputtende beschrijving van de meetresultaten. In publicaties van Dooremolen e.a. [2], Rijniersce [6] en De Gloppe [7] zijn bodemdata van enkele rijpingsterreinen beschreven, die in het onderzoek zijn gebruikt. De belangrijkste bron van informatie over de samenstelling van de bodem direct na inpoldering vormt Flevobericht 143, Van der Scheer [5]. In de bijlagen van laatstgenoemd rapport zijn van

een groot aantal rijpingsterreinen de lutum-, organische stof- en watergehalten vermeld voor de situatie direct na inpoldering. Helaas beperkt dit rapport zich tot de aanwezige kleilagen en ontbreken de venige lagen die in de ondergrond van Zuidelijk Flevoland frequent voorkomen. Van de laatstgenoemde lagen zijn daarom nagenoeg geen meetdata bekend. Eveneens zijn van geen enkel terrein analysegegevens van de jaren na inpoldering bekend. Er zijn uitsluitend analyseresultaten (lutum-, organische stof- en watergehalten) teruggevonden van de initiële situatie (bij droogvallen).

Bekend is dat veel bodemdata van RIJP aan NITG-TNO is overgedragen en toegevoegd aan DINO loket. In het archief van TNO is de originele profielbeschrijving van de boringen ter plaatse van de rijpingsterreinen in Zuidelijk Flevoland teruggevonden. Er blijkt geen informatie beschikbaar te zijn van de terreinen in Oostelijk Flevoland. In het archief van TNO blijken eveneens geen analysegegevens van specifieke bodemlagen (lutum-, organische stof- en watergehalten) aanwezig te zijn.

3.3 Analyse hoogteligging rijpingsterreinen

Voor het verkrijgen van de actuele maaiveldhoogte ter plaatse van de in Flevovericht 388 beschreven rijpingsterreinen is gebruik gemaakt van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Het AHN bevat gedetailleerde maaiveldhoogten, die met behulp van laseraltimetrie vanuit een vliegtuig zijn gemeten. Van de provincie Flevoland zijn twee AHN-bestanden beschikbaar: de eerste versie van het AHN, ofwel het AHN-1, dat is opgenomen in 1997-1998 en het AHN-2 dat dateert van 2009. Naast de opnameperiode is er een belangrijk verschil in de opnametechniek en datacontrole, waardoor de punt dichtheid en nauwkeurigheid van het AHN-2 groter is, dan die van het AHN-1, zie Kwaliteitsdocument AHN-2 [8]. Het AHN-1 en het AHN-2 zijn gebruikt voor het herleiden van de maaiveldddaling ter plaatse van de rijpingsterreinen in 1998 en 2009.

Door RIJP werd de maaiveldhoogte bepaald door per rijpingsterrein in drie vaste raaien de maaiveldhoogte te meten. Zodoende werden 21 punten gemeten binnen een vast terrein van 60*48 m, waarvan het gemiddelde als representatieve periodieke maaiveldhoogte werd gerapporteerd. In Flevovericht 388 zijn uitsluitend de centrumcoördinaten van de rijpingsterreinen vermeld en bovendien in het oude Amersfoortstelsel. Omrekening van deze coördinaten in het Rijksdriehoekstelsel leverde een kaartbeeld op, dat op punten niet goed overeen kwam met de locaties van de rijpingsterreinen zoals weergegeven op het overzichtskaartje (fig. 4.1) in Flevovericht 388. Bovendien kwamen op basis van deze coördinaten niet alle terreinen op het juiste kavelnummer volgens Flevovericht 388 uit. Er is daarom besloten de ligging van de rijpingsterreinen op gedetailleerde kaarten te laten aangeven door de heer E. van der Veen, voormalig medewerker van RIJP, die de metingen op de rijpingsterreinen jarenlang heeft uitgevoerd. Op deze wijze zijn de locaties van de rijpingsterreinen alsmede de oriëntatie en de vier hoekpunten van het meetterrein nader bepaald. De locaties van de rijpingsterreinen zijn weergegeven in bijlage 1.

Met de aldus vastgestelde contouren van de rijpingsterreinen is de minimale, maximale en gemiddelde maaiveldhoogte anno 1998 bepaald op basis van het AHN-1 en tevens voor het jaar 2009 op basis van het AHN-2. Voor beide analyses is gebruik gemaakt van een gerasterd hoogtebestand met gridcellen van 5x5 m. Hoewel het AHN-2 in hogere resolutie beschikbaar is (gridcellen van 0,5x0,5 m), is dit bestand in eerste instantie niet gebruikt. Dit is ingegeven door de beperking dat er geen werkbaar hoogtebestand met gridcellen van 0,5x0,5 m kan worden vervaardigd voor de gehele provincie Flevoland, zelfs niet wanneer een uitsnede wordt gemaakt van alleen de rijpingsterreinen. Dit leidt overigens tot vrijwel dezelfde gemiddelde maaiveldhoogte van het rijpingsterrein; de afgeleide gemiddelde maaiveldhoogte uit het 0,5x0,5 m en 5x5 m rasterbestand vertoont slechts een geringe variatie doordat de randen van het rijpingsterrein fijnmaziger/grofmaziger kunnen worden bepaald. Daarnaast zal de spreiding van de maaiveldhoogten binnen het terrein door gebruik van het grovere raster afnemen.

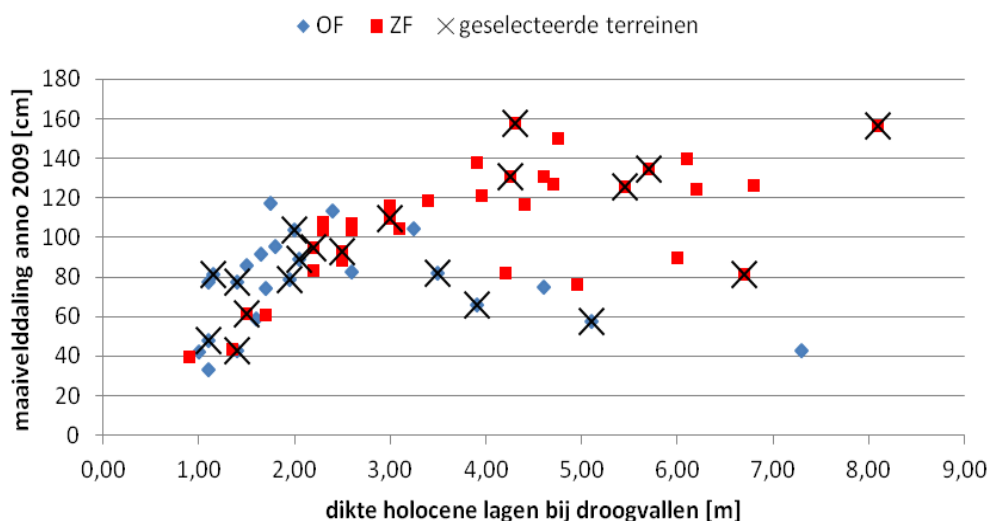
De afgeleide maaiveldddaling in 1998 en 2009 is toegevoegd aan het historisch verloop van de maaiveldddaling en per rijpingsterrein grafisch weergegeven in bijlage 2. Voor de jaren 1998 en 2009 is de maaiveldddaling berekend op basis van de gemiddelde maaiveldhoogte van het rij-

pingsterrein zoals afgeleid uit AHN-1 en AHN-2. Daarnaast is de bandbreedte van de maaiveld-daling aangegeven op basis van de minimale en maximale maaiveldhoogte binnen het rijpingsterrein, teneinde de betrouwbaarheid van de maaiveldhoogten in het AHN te kunnen beoordelen. Hiermee wordt duidelijk dat de maaiveldhoogten uit het AHN-1 veelal een grote spreiding vertonen. De berekende maaiveld-daling op basis van de gemiddelde maaiveldhoogte van een rijpingsterrein op basis van AHN-1 past in de meeste gevallen niet in het historische dalingsverloop van het betreffende terrein. De spreiding in de maaiveldhoogten van het terrein op basis van AHN-2 is vrijwel zonder uitzondering kleiner dan op basis van AHN-1 en de afgeleide maaiveld-daling op basis van de gemiddelde maaiveldhoogte ligt in de meeste gevallen redelijk in de lijn van het historische dalingsverloop.

3.4 Veld- en laboratoriumonderzoeken rijpingsterreinen en Noordoostpolder

De afgeleide maaiveld-daling op basis van het AHN-2 is één van de criteria geweest in de selectie van in totaal 21 rijpingsterreinen in Oostelijk en Zuidelijk Flevoland voor het uitvoeren van aanvullend onderzoek. Primair dient het aanvullend onderzoek voor het verkrijgen van inzicht in het rijpings- en compactieproces van de ondergrond en slechts zijdeling ter controle van de betrouwbaarheid van het AHN-2. Vanuit deze optiek zijn op voorhand uitsluitend terreinen geselecteerd waarvan de afgeleide maaiveld-daling op basis van het AHN-2 goed past in het historische dalingsverloop. Overige criteria die bij de selectie zijn gehanteerd zijn:

- Zekerheid over de ligging van het terrein: er zijn uitsluitend rijpingsterreinen geselecteerd waarvan de positie met zekerheid is vastgesteld. Dit wil zeggen: de coördinaten volgens Flevobericht 388 en/of de aangegeven positie van het terrein door de heer E. van der Veen, komt overeen met het kavelnummer volgens Flevobericht 388.
- Ruimtelijke spreiding: aanvankelijk zijn er tien terreinen gekozen in Zuidelijk Flevoland en tien terreinen in Oostelijk Flevoland. Vervolgens zijn deze terreinen gelijkmatig over het betreffende gebied verdeeld. Gedurende het veldonderzoek is één extra terrein (ZF 13) toegevoegd, omdat hiervan gedetailleerde bodemgegevens beschikbaar bleken te zijn.
- Grondgebruik: de meeste terreinen zijn gelegen op akkerland en een beperkt aantal in grasland, boomgaard of bos- /natuurgebied. De geselecteerde terreinen zijn globaal naar rato over de voorkomende grondgebruiksfuncties verdeeld.
- De variatie in bodemopbouw en opgetreden zakking: de bodemopbouw is ontleend aan de beschikbare boringen van RIJP (Zuidelijk Flevoland) of bepaald op basis van nabijgelegen boringen in DINO loket (Oostelijk Flevoland). De opgetreden bodemdaling is grafisch uitgezet tegen de dikte van het pakket slappe bodemlagen, zie figuur 3.1. De geselecteerde terreinen zijn verdeeld over gebieden met wisselende laagdikten. Daarbij zijn zowel terreinen geselecteerd die bij de gegeven laagdikte een gemiddelde, geringe of grote maaiveld-daling vertonen. Met inachtneming van de overige (bovenstaande) criteria heeft dit geleid tot de selectie van de gemarkeerde punten in figuur 3.1.



Figuur 3.1: Opgetreden maaiveld-daling rijpingsterreinen Oostelijk en Zuidelijk Flevoland vs. dikte Holocene lagen bij droogvallen

Het aanvullend onderzoek op de bovengenoemde rijpingsterreinen heeft bestaan uit een hoogtemeting van ieder rijpingsterrein op 30 punten, die in een raster van 12x12 over het rijpingsterrein (48x60 m) werden verdeeld. De hoogtemetingen zijn uitgevoerd met een GPS-systeem, waarbij gebruik is gemaakt van lokaal opgestelde referentiepunten (GPS-RTK). De maaiveldhoogten kunnen daarmee met een maximale afwijking van +/- 0,02 m worden gegarandeerd.

Naast een gedetailleerde hoogtemeting is per terrein een handmatige boring uitgevoerd tot aan de vaste zandondergrond (3 à 7 m beneden het maaiveld). Van de bij de boring vrijkomende grond is een gedetailleerde beschrijving gemaakt, waarbij per onderscheiden laag een schatting is gemaakt van bodemkundige karakteristieken zoals het lutum- en organische stofgehalte en de structuurvorming/aeratiegraad. Per boring is een schatting gemaakt van de gemiddelde hoogste en de gemiddelde laagste grondwaterstand (GHG en GLG) op basis van roest- en reductieverschijnselen in het boorprofiel.

Uit de boorgaten zijn ongeroerde grondmonsters gestoken ten behoeve van laboratoriumonderzoek naar de rijpingsgraad. Boven het GLG-niveau of tot een maximale diepte van 1,5 m –mv zijn ongeroerde grondmonsters in kopeckyringen gestoken op vooraf vastgestelde diepten: 0,30-0,60-0,90-1,20-1,50 m –mv. Onder het GLG-niveau en/of dieper dan 1,5 m –mv zijn monsters gestoken met een guts. Van alle 196 grondmonsters is in het laboratorium het volumegegewicht en watergehalte bepaald, alsmede het lutum- en organische stofgehalte.

In afwijking van het aanvankelijke plan van aanpak is er vanaf gezien sonderingen uit te voeren. Dit is enerzijds ingegeven door de moeilijke bereikbaarheid van de onderzoekslocaties en de kans op gewasschade, maar in nog belangrijkere mate door de beperkte dikte van de holocene lagen. Vanwege de beperkte laagdikte kon deze kostenefficiënt worden verkend met alleen handmatige boringen, die allen tot de vaste zandondergrond zijn uitgevoerd. Door het uitvoeren van boringen en de bijkomende bemonstering en analyse van grondmonsters, werd bovendien een gedetailleerder inzicht in de samenstelling van de ondergrond verkregen dan door het uitvoeren van sonderingen kan worden bereikt.

Ook op een tiental geselecteerde terreinen in de Noordoostpolder zijn bovenstaande onderzoeken uitgevoerd. Er zijn tien boringen verricht in diepte variërend van 3,0 tot 5,5 m. Binnen deze polder zijn in het verleden geen rijpingsproefvelden ingericht, noch locaties bekend waar de maaiveldddaling periodiek is gevolgd. De selectie van de tien meetlocaties in de Noordoostpolder heeft daarom uitsluitend plaatsgevonden op basis van de bodemopbouw (ontleend aan DINO) en de geografische spreiding.

Op basis van de boringen zijn rijpingsprofielen afgeleid en is een beeld verkregen in de mate waarin de ondergrond in de Noordoostpolder is gerijpt. De actuele rijpingstoestand van de kleilagen in de ondergrond van de Noordoostpolder (die veel eerder is drooggelegd) is mogelijk ook een waardevolle referentie voor de situatie die op termijn in Zuidelijke en Oostelijk Flevoland zal ontstaan.

3.5 Aanvullend grondonderzoek

Het ondergrondmodel is gevuld met alle beschikbare boringen en sonderingen uit DINO, aanvullend met informatie over de bodemopbouw uit de beschikbare bodemkaarten van het gebied. In aanvulling op deze informatie en de uitgevoerde boringen ter plaatse van de rijpingsterreinen, zijn 28 aanvullende boringen uitgevoerd ter plaatse van enkele, op basis van de verwachte bodemopbouw en toekomstige ontwikkelingen, geselecteerde aandachtsgebieden. De betreffende boringen zijn allen doorgezet tot in de vaste zandondergrond en variëren in diepte van circa 2 tot 8 m beneden het maaiveld. Van de boringen is een gedetailleerde profielbeschrijving gemaakt. De boorpunten zijn ingemeten in het RD-stelsel en de maaiveldhoogte ter plaatse is gemeten ten opzichte van NAP. Hiervoor is gebruik gemaakt van het 06-GPS systeem.

De locaties van alle uitgevoerde boringen in het kader van het onderzoek zijn weergegeven op de situatietekening in bijlage 4. Resultaten van de boringen zijn in de vorm van getekende boorprofielen weergegeven in bijlage 5.

4 Analyse AHN

4.1 Beoordeling AHN

Het AHN is in eerste instantie gebruikt voor de bepaling van de geactualiseerde hoogteligging van alle 76 rijpingsterreinen die in 1992/1993 nog door de RIJP werden gevolgd. Daarbij is zowel de maaiveldddaling op basis van het AHN-1 als het AHN-2 beschouwd, zie §2.3 en bijlage 2. Eenvoudig valt af te leiden dat op basis van AHN-1 voor vrijwel geen van de onderzochte terreinen een bruikbare maaiveldddaling wordt afgeleid. Dit wil zeggen: de afgeleide maaiveldddaling op basis van de gemiddelde maaiveldhoogte van een rijpingsterrein past meestal niet in het historisch zakkingsverloop van het betreffende terrein. In vele gevallen is de afgeleide maaiveldddaling aantoonbaar onjuist (stijging van het maaiveld sinds 1992/1993). De spreiding in de maaiveldhoogten van een terrein volgens AHN-1 is in de meeste gevallen zeer groot. In tegenstelling tot het AHN-1 lijkt het AHN-2 in eerste instantie bruikbare waarden op te leveren. De afgeleide maaiveldddaling op basis van de gemiddelde maaiveldhoogte uit het AHN-2 past voor de meeste terreinen goed in het historisch zakkingsverloop en de spreiding in de maaiveldhoogte van een terrein is in het algemeen beperkt.

De betrouwbaarheid van het AHN-2 is in beperkte mate te controleren aan de hand van terreinmetingen ter plaatse van de geselecteerde rijpingsterreinen. Hierbij dient met nadruk te worden vermeld dat de controle van de hoogte volgens het AHN-2 geen primair doel van het onderzoek was. De analyse van de maaiveldddaling volgens het AHN-2 is in eerste instantie gebruikt voor de selectie van de te onderzoeken terreinen, waarbij terreinen met een niet aanneemelijke c.q. afwijkende terreinhoogte op basis van het historisch dalingsverloop niet zijn geselecteerd. Er is dus bewust voor gekozen om terreinen waar potentieel (grotere) meetfouten voorkomen in het AHN-2 bestand, niet mee te nemen in de selectie. Ten aanzien van de controle van het AHN-2 kan dus zeker niet worden gesproken van een representatieve steekproef.

Daarnaast moet worden bedacht dat de hoogtemetingen ten behoeve van het AHN-2 in het voorjaar van 2009 zijn uitgevoerd en de controlemetingen in het voorjaar 2011. Voor de meeste terreinen geldt dat tussentijds meerdere grondbewerkingen hebben plaatsgevonden. Desondanks kan uiteraard worden beoordeeld in hoeverre de gemeten terreinhoogten op de in totaal 31 onderzochte terreinen (21 rijpingsterreinen in Oostelijk en Zuidelijk Flevoland en de 10 onderzoeklocaties in de Noordoostpolder), die verspreid over de provincie Flevoland verdeeld liggen, afwijken van de maaiveldhoogte volgens het AHN-2. In het kader van het onderzoek zijn op ieder rijpingsterrein (48x60 m) dertig maaiveldhoogtemetingen uitgevoerd in een raster van 12x12 m. De betreffende metingen werden uitgevoerd met GPS-RTK, waarbij gebruik werd gemaakt van lokaal opgestelde referentiepunten. De fout van deze hoogtemetingen bedraagt maximaal +/-0,02 m.

Op basis van de 30 hoogtemetingen per rijpingsterrein is een gemiddelde maaiveldhoogte berekend en vergeleken met de gemiddelde terreinhoogte volgens het AHN-2. Resultaten van deze analyse zijn vermeld in tabel 4.1 en wijzen uit dat het verschil tussen de gemiddelde maaiveldhoogte volgens het AHN-2 en de terreinmetingen door Grontmij varieert van slechts enkele centimeters tot maximaal -0,12 m. De gemiddelde afwijking bedraagt -0,05 m. Opmerkelijk is dat de terreinmetingen in alle gevallen leiden tot een lagere gemiddelde terreinhoogte dan de gemiddelde terreinhoogte volgens het AHN-2. Hoewel dit op zich aannemelijk is in een gebied dat aan bodemdaling onderhevig is, is op basis van het historisch zakkingsverloop niet te verklaren dat de terreinen in de afgelopen twee jaar meer dan 1 à 3 centimeter zouden zijn gezakt. In bijlage 3 zijn de resultaten van de terreinmetingen toegevoegd aan het historisch maaivelddalingsverloop van de rijpingsterreinen. Hieruit blijkt duidelijk dat de afgeleide maaiveldddaling op

basis van de terreinmeting structureel groter is dan op basis van AHN-2 wordt afgeleid. De afgeleide maaiveldddaling op basis van de terreinmetingen lijkt in het algemeen beter aan te sluiten op het historisch maaivelddalingsverloop.

Tabel 4.1: *Verschillen tussen de gemiddelde maaiveldhoogten van rijpingsterreinen in Oostelijk en Zuidelijk Flevoland op basis van terreinmetingen en volgens AHN-2 (raster 5x5 m)*

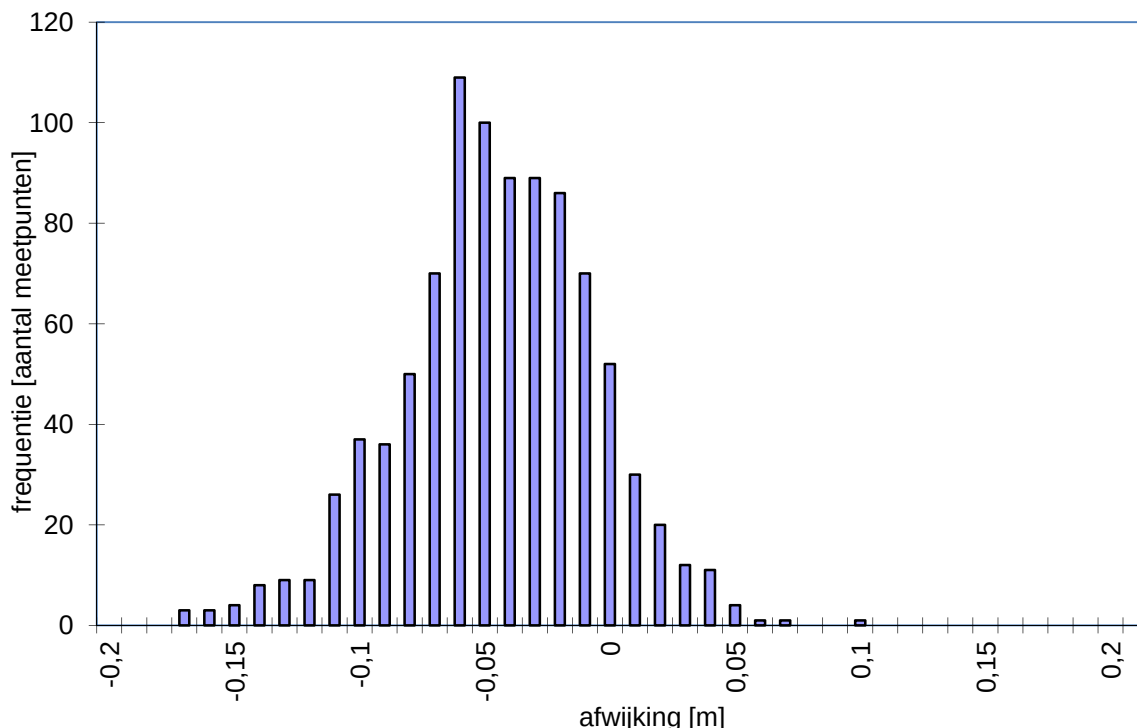
rijpingsterrein	gemiddelde maaiveldhoogte in m + NAP d.d.:		verschil (m)
	2009 (AHN-2, raster 5x5 m)	2011 (terreinmeting)	
OF 9	-4,49	-4,56	-0,07
OF 10	-4,18	-4,20	-0,02
OF 18	-4,17	-4,19	-0,02
OF 20	-2,94	-2,96	-0,02
OF 26	-2,98	-3,03	-0,04
OF 33	-4,47	-4,48	-0,01
OF 34	-4,45	-4,49	-0,04
OF 36	-3,45	-3,57	-0,12
OF 39	-4,17	-4,22	-0,04
OF 40	-3,82	-3,89	-0,07
ZF 3	-2,82	-2,88	-0,05
ZF 6	-3,03	-3,06	-0,04
ZF 11	-3,51	-3,62	-0,11
ZF 13	-4,11	-4,20	-0,09
ZF 15	-4,15	-4,22	-0,06
ZF 19	-4,60	-4,64	-0,04
ZF 20	-4,80	-4,86	-0,06
ZF 26	-4,15	-4,22	-0,07
ZF 30	-4,98	-5,01	-0,03
ZF 33	-4,55	-4,64	-0,09
ZF 39	-3,82	-3,88	-0,07

Naast een vergelijking van de gemiddelde maaiveldhoogte per rijpingsterrein zijn de afwijkingen tussen het AHN-2 en de 930 individuele hoogtemetingen beschouwd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de gerasterde AHN-bestanden met gridcellen van 0,5x0,5 m. De maaiveldhoogte van iedere individuele hoogtemeting is daarbij vergeleken met de maaiveldhoogte van de betreffende gridcel in het AHN-2. Een histogram van de geconstateerde afwijkingen is weergegeven in figuur 4.1. Hieruit valt af te leiden dat de afwijking varieert tussen +0,09 m en -0,17 m. Zowel de gemiddelde als mediane afwijking bedraagt -0,05 m. Dit komt overeen met de gemiddelde afwijking die bovenstaand werd afgeleid voor de gemiddelde maaiveldhoogte per rijpingsterrein. De geconstateerde afwijkingen ter plaatse van de individuele meetpunten vallen binnen de bandbreedte die op basis van de opgegeven nauwkeurigheid van het AHN-2 mogen worden verwacht.

Een nadere analyse van de hoogtemetingen per rijpingsterrein wijst uit dat de afwijkingen ook per rijpingsterrein min of meer normaal zijn verdeeld. Met andere woorden: er zijn geen terreinen waar de maaiveldhoogte van alle dertig gemeten punten bijvoorbeeld structureel 0,1 m lager zijn dan de hoogte volgens het AHN-2.

Tenslotte is nagegaan of de dertig gemeten punten een voldoende representatieve steekproef zijn voor het bepalen van de gemiddelde maaiveldhoogte en dus als zodanig kunnen worden vergeleken met de gemiddelde waarde volgens AHN-2. Om dit te onderzoeken is voor alle rijpingsterreinen de gemiddelde maaiveldhoogte bepaald op basis van de 30 gemeten hoogten en de overeenkomstige 30 gridcellen uit het AHN-2 bestand (met gridcellen van 0,5x0,5 m). De aldus afgeleide gemiddelde maaiveldhoogten zijn vergeleken met de afgeleide gemiddelde maaiveldhoogte voor de rijpingsterreinen uit het gerasterde AHN-2 met gridcellen van 5x5 m. Resultaten van deze vergelijking zijn vermeld in tabel 4.2 en tonen aan dat de berekende gemiddelde maaiveldhoogte van een rijpingsterrein op basis van het AHN-2 met gridcellen van 5x5 m tot nagenoeg dezelfde gemiddelde maaiveldhoogte leidt als het gebruik van de dertig

cellen uit het 0,5x0,5 m rasterbestand (overeenkomend met de meetpunten uit 2011). Dit toont aan dat de 30 gehanteerde meetpunten per terrein een representatieve steekproef zijn voor het bepalen van de terreinhoogte. Meest objectief is om de afgeleide gemiddelde terreinhoogte op basis van de terreinmetingen, te vergelijken met de gemiddelde hoogte van de 30 overeenkomstige gridcellen uit het AHN-2 bestand, zie tabel 4.2. Dit leidt echter tot nagenoeg dezelfde afwijkingen als genoemd in tabel 4.1.



Figuur 4.1: Histogram van de afwijking tussen terreinhoogtemetingen en AHN-2 hoogte voor de 930 gemeten hoogten ter plaatse van de rijpingsterreinen

Tabel 4.2: Verschillen tussen de maaiveldhoogte van de rijpingsterreinen bij gebruik volledig of gedeeltelijk AHN-2 bestand van het betreffende (rijpings)terrein

Onderzoekslocaties NOP en Rijpingsterrein OF en ZF	gemiddelde maaiveldhoogte in m + NAP o.b.v.:			verschil in m	
	AHN-2: 0,5x0,5m (30 punten)	AHN-2, 5x5m (gehele terrein)	terreinmeting (30 punten)	A - B	A - C
	A	B	C		
NOP 1	-1,82	-	-1,89	-	-0,07
NOP 2	-2,68	-	-2,69	-	-0,01
NOP 3	-3,61	-	-3,67	-	-0,07
NOP 4	-2,98	-	-3,05	-	-0,07
NOP 5	-3,11	-	-3,12	-	-0,01
NOP 6	-3,68	-	-3,70	-	-0,02
NOP 7	-4,42	-	-4,48	-	-0,05
NOP 8	-4,55	-	-4,64	-	-0,09
NOP 9	-4,58	-	-4,59	-	-0,01
NOP 10	-4,17	-	-4,21	-	-0,04
OF 9	-4,49	-4,49	-4,56	0,004	-0,07
OF 10	-4,18	-4,18	-4,20	-0,007	-0,02
OF 18	-4,16	-4,17	-4,19	0,009	-0,03
OF 20	-2,93	-2,94	-2,96	0,018	-0,03
OF 26	-2,98	-2,98	-3,03	0,008	-0,05
OF 33	-4,46	-4,47	-4,48	0,006	-0,02
OF 34	-4,44	-4,45	-4,49	0,004	-0,05
OF 36	-3,46	-3,45	-3,57	-0,007	-0,11

OF 39	-4,18	-4,17	-4,22	-0,001	-0,04
OF 40	-3,82	-3,82	-3,89	-0,001	-0,07
ZF 3	-2,83	-2,82	-2,88	-0,003	-0,05
ZF 6	-3,04	-3,03	-3,06	-0,010	-0,03
ZF 11	-3,51	-3,51	-3,62	-0,005	-0,10
ZF 13	-4,12	-4,11	-4,20	-0,007	-0,08
ZF 15	-4,17	-4,15	-4,22	-0,014	-0,05
ZF 19	-4,60	-4,60	-4,64	0,002	-0,04
ZF 20	-4,80	-4,80	-4,86	0,003	-0,06
ZF 26	-4,14	-4,15	-4,22	0,007	-0,08
ZF 30	-4,98	-4,98	-5,01	-0,004	-0,02
ZF 33	-4,56	-4,55	-4,64	-0,013	-0,08
ZF 39	-3,82	-3,82	-3,88	0,000	-0,07

4.2 Conclusie

Het AHN-1 is niet geschikt voor het afleiden van de maaiveldddaling ter plaatse van de rijpings-terreinen. Het AHN-2 lijkt voor de meeste terreinen wel bruikbaar en levert voor de meeste terreinen een maaiveldddaling op die, visueel beschouwd, past in het historisch maaivelddalingsverloop. Aan de hand van de uitgevoerde terreinmetingen op in totaal 31 terreinen worden echter structureel iets lagere gemiddelde terreinhoogten afgeleid dan uit het AHN-2. De geconstateerde verschillen tussen het AHN-2 en de terreinmetingen zijn, gegeven de nauwkeurigheid van de beide meetmethoden en een tijdsbestek van twee jaar tussen de beide metingen, niet significant. Geredeneerd vanuit het doel van het onderzoek zijn de verschillen tussen de maaiveldddaling berekend op basis van het AHN-2 en op basis van de terreinmetingen relatief fors. Aan de hand van de afgeleide maaiveldhoogten op basis van het AHN-2 wordt voor de rijpings-terreinen verspreid over Oostelijk en Zuidelijk Flevoland een maaiveldddaling variërend van enkele millimeters tot 1,5 cm per jaar berekend. De gemiddelde maaiveldddaling over de periode 1993-2009 bedraagt 0,6 cm per jaar. Wordt uitgegaan van de resultaten van de terreinmetingen dan wordt een 50% hogere dalingssnelheid berekend, oftewel een gemiddelde maaiveldddaling van 0,9 cm per jaar.

Opgemerkt wordt dat niet expliciet kan worden gesteld welke benadering de juiste is (gebruik AHN-2 ofwel de terreinmetingen). Wanneer het historisch maaivelddalingsverloop wordt beschouwd, zien we in opeenvolgende jaren ook relatief grote verschillen in de maaiveldddaling. Deze spreiding wordt waarschijnlijk slechts deels door meetfouten veroorzaakt en hangt ook samen met terreinomstandigheden (al dan niet uitgevoerde grondbewerkingen voorafgaand aan de meting) en klimatologische factoren (natte en droge jaren). Dergelijke effecten middelen redelijk uit bij uitvoering van jaarlijkse metingen zoals door RIJP werden uitgevoerd. Een beschouwing van de maaiveldddaling op basis van twee individuele meetpunten (1993 versus 2009 of 2011) is vanuit deze optiek feitelijk niet verantwoord en pleit ervoor om de toekomstige maaiveldddaling frequenter te bepalen dan in de afgelopen twintig jaar is gebeurd. Het moge duidelijk zijn dat toekomstige AHN-bestanden hierbij een waardevol instrument zijn, vooral omdat deze een vlakdekkend karakter hebben. Bij het verschijnen van het AHN-3 wordt het daarom mogelijk een vlakdekkend beeld van de opgetreden maaiveldddaling vanaf 2011 (opname AHN-2) te genereren. Het wordt daardoor mogelijk het verloop van de maaiveldddaling in de toekomst redelijk nauwkeurig te volgen.

Los van het feit of gebruik gemaakt wordt van het AHN-2 of de terreinmetingen is duidelijk dat de in 1996 door RIJP opgestelde herziene eindprognoses van de maaiveldddaling, zoals beschreven in Flevovericht 388, weinig realistisch blijken. Voor een aantal rijpingsterreinen geldt dat anno 2009/2011 opnieuw de eindprognose van de maaiveldddaling (100 jaar na inpoldering) is overschreden. Gegeven de opgetreden maaiveldddaling in de afgelopen 20 jaar en de nog resterende marge tussen de actuele maaiveldddaling en de eindprognose, mag worden verondersteld dat voor een groot aantal terreinen de herziene eindprognose van de maaiveldddaling binnen 100 jaar na inpoldering zal worden overschreden.

5 Analyse rijpingsfactor

5.1 Onderzoeksopzet

Voor de bepaling van de opgetreden rijping en compactie van de ondergrond is op alle geselecteerde rijpingsterreinen in Oostelijk en Zuidelijk Flevoland en de onderzoekslocaties in de Noordoostpolder een boring uitgevoerd tot aan de vaste zandondergrond. De locaties van de betreffende boringen zijn weergegeven in bijlage 4. Resultaten van deze boringen zijn in de vorm van getekende boorprofielen opgenomen in bijlage 5. Naast de boorprofielen zijn de bemonsterde trajecten van het boorprofiel aangeduid. Dit betreft in totaal 195 monsters, waarvan er 132 werden gestoken in kopeckyringen (stalen monsterringen met een volume van 100 cc). De resterende 63 monsters zijn gestoken met een guts, uitsluitend uit grondlagen beneden het laagste grondwaterstandsniveau.

Van alle 195 grondmonsters is in het laboratorium van Grontmij het veldvochtige en droge volumegewicht bepaald, alsmede het daaruit af te leiden watergehalte. Van de grondmonsters die boven de grondwaterspiegel zijn gestoken (in kopeckyringen) is tevens het watergehalte na verzadiging bepaald om inzicht te krijgen in het poriënvolume en de verzadigingsgraad. Monsters die met een guts zijn gestoken (onder de grondwaterspiegel) konden in het laboratorium niet worden verzadigd. Er mag echter worden aangenomen dat deze reeds bij bemonstering volledig met water verzadigd waren.

Naast het volumegewicht en watergehalte is van alle 195 monster het lutum- en organische stofgehalte geanalyseerd in het laboratorium van Alcontrol B.V. te Hoogvliet.

Doel van de bovengenoemde analyses is het bepalen van het actuele 'specifieke volume' (SV) en het zogeheten 'klei-humusgetal' (L+3H). Blijkens door RIJP uitgevoerd onderzoek onderhoudt het specifieke volume een nauwe relatie met het klei-humusgetal en een bepaalde rijpingstoestand van de grond. Gegeven het klei-humusgetal van een bepaalde bodemlaag en de diepteligging van deze laag ten opzichte van het maaiveld kan het specifieke volume in de eindtoestand (100 jaar na inpoldering) worden bepaald met door RIJP vastgestelde relaties. Vervolgens kan de volumevermindering van deze laag (=bodemdaling) eenvoudig worden bepaald uit het specifieke volume in de huidige toestand en in de eindtoestand.

De gedachte bij de opzet van het onderzoek is dat door het vaststellen van het specifieke volume en klei-humusgetal van de verschillende grondlagen in de ondergrond en de door RIJP vastgestelde relaties kan worden bepaald hoeveel bodemdaling er nog is te verwachten. Bij beschikbaarheid van voldoende historische analysegegevens kan bovendien worden nagegaan hoeveel bodemdaling reeds door rijping van de ondergrond ter plaatse van de rijpingsterreinen is opgetreden. Het is essentieel om het aandeel van rijping in de totale maaiveldaling te bepalen teneinde de bodemdaling door rijping, compactie van de ondergrond en eventuele oxidatie van veenlagen, afzonderlijk te kunnen modelleren. Om inzicht te krijgen in de compactie van de ondergrond is, voor de uitvoering van het veldonderzoek, besloten om ook van diepere lagen (bodemplagen onder de grondwaterspiegel c.q. dieper dan 1,50 m beneden het maaiveld) grondmonsters te verzamelen voor de bepaling van het specifieke volume. Hoewel deze lagen niet aan rijping onderhevig zijn, kan op basis van het specifieke volume en historische analyses van RIJP worden vastgesteld hoeveel deze lagen (door compactie) sinds de inpoldering in volume zijn afgenomen.

5.2 Analyseresultaten

De geanalyseerde volumegewichten en water-, lutum- en organische stofgehalten zijn per grondmonster vermeld in bijlage 6. Naast de analyseresultaten zijn afgeleide parameters vermeld, waaronder het specifieke volume en klei-humusgetal. Het specifieke volume (SV) is voor de monsters die zijn gestoken in kopeckyringen, rechtstreeks te berekenen uit het (vaste) monstervolume en droge volumegewicht. Voor de gutsmonsters, met een variabel en onbekend volume is het monstervolume herleid uit het watergehalte en het droge volumegewicht. Daarbij is voor water uitgegaan van een soortelijke dichtheid van 1 kg/liter. Voor de vaste gronddelen is een variabele dichtheid gehanteerd die is berekend uit het organische stofgehalte en het gehalte aan overige (minerale) bestanddelen. Hierbij is voor de organische stof een soortelijke dichtheid van 1,47 kg/liter aangehouden en voor de minerale delen een soortelijke dichtheid van 2,65 kg/liter. Het berekende klei-humusgehalte (L+3H) is berekend uit het percentage lutum (L) plus drie maal het percentage organische stof (H) en is een maat voor het waterbindend vermogen van grond. In dit kader wordt aangenomen dat het waterbindend vermogen van een gram organische stof drie maal hoger is dan van een gram lutum. Opgemerkt dient te worden dat door RIJP uitgebreid onderzoek is uitgevoerd naar de verhouding tussen het waterbindend vermogen van de lutum- en de organische stoffractie (Van der Scheer [5]) en dat in de loop der tijd verschillende verhoudingsfactoren werden gehanteerd voor de verschillende sedimenten in de Flevopolder. Hier is uitgegaan van een vaste verhoudingsfactor van 1:3 voor het waterbindend vermogen van lutum:organische stof voor alle voorkomende sedimenten. Dit is conform de aanbeveling in Flevovericht 388.

5.3 Interpretatie

In de door RIJP ontwikkelende methodiek wordt de bodemdaling als gevolg van rijping berekend door het specifieke volume van de sedimenten in de initiële toestand te vergelijken met het specifieke volume van vergelijkbare sedimenten in een referentiepolder, waarvan wordt aangenomen dat de rijping er reeds is voltooid. Door RIJP zijn verschillende polders onderzocht die als mogelijke referentie zouden kunnen dienen en uiteindelijk is gekozen om hiervoor de Johannes Kerkhovenspolder te gebruiken. Deze polder in noord Groningen is in 1875 bedijkt en in 1964 bemonsterd ter bepaling van de specifieke volumina van het sediment (De Glopper [7]). De betreffende polder is relatief diep ontwaterd en de bodem was ten tijde van de bemonstering tot een diepte van gemiddeld 1,5 m beneden het maaiveld geëereerd. De bodem bestond er uit kleiige afzetting die in lutumgehalte variëren van enkele procenten tot meer dan 50%. Het organische stofgehalte van de sedimenten is er zonder uitzondering laag (0,5-3,5 %). De bemonstering is op tien punten verspreid over de polder uitgevoerd, zodanig dat de volledige range van voorkomende lutumgehalten op verschillende diepten is onderzocht. De ondergrond is hiervoor vanaf het maaiveldniveau tot 1,5 m beneden het maaiveld bemonsterd in lagen van 0,10 m dikte, uitgezonderd de toplaag die in een laag van 0,2 m werd bemonsterd. Voor de sedimenten in de Johannes Kerkhovenspolder blijkt er in 1964 een duidelijke relatie te bestaan tussen het klei-humusgetal en het specifieke volume, op de verschillende bemonsteringsdiepten. Deze relaties zijn vermeld in tabel 5.1.

Tabel 5.1: Relatie tussen het specifieke volume (SV) en het klei-humusgetal (L+3H) voor de verschillende bemonsteringsdieptes in de Johannes Kerkhovenspolder (ontleend aan Flevovericht 388 [2])

Beginsituatie (afzettingen bij droogvallen in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland)		
$SV = 0,58 + 0,025 * (L + 3 * H)$		
Eindsituatie (100 jaar na droogvallen, Johannes Kerkhovenspolder als referentiepolder) op verschillende dieptes (in cm beneden maaiveld)		
0 - 20		$SV = 0,58 + 0,038 * (L + 3 * H)$
20 - 30		$SV = 0,58 + 0,049 * (L + 3 * H)$
30 - 40		$SV = 0,58 + 0,065 * (L + 3 * H)$
40 - 50		$SV = 0,58 + 0,075 * (L + 3 * H)$
50 - 80		$SV = 0,58 + 0,081 * (L + 3 * H)$
80 - 120		$SV = 0,58 + 0,092 * (L + 3 * H)$
120 - 150		$SV = 0,58 + 0,010 * (L + 3 * H)$
SV	=	specifiek volume [cm^3/g]
L	=	lutum [als gewichtsperscentage van de droge stof]
H	=	organische stof [als gewichtsperscentage van de droge stof]

Op grond van de relaties in tabel 5.1 is door RIJP de maaivelddaling als gevolg van rijping bepaald voor de rijpingsterreinen in Oostelijk en Zuidelijk Flevoland. Onduidelijk is of daarbij voor de verschillende terreinen werd uitgegaan van de aangetroffen specifieke volumina in de initiële toestand of dat daarbij werd uitgegaan van een algemene relatie tussen het specifieke volume en het klei-humusgetal, zoals beschreven in tabel 5.1. Flevovericht 388 geeft hierover geen nadere informatie, noch de waarden van de berekende maaivelddaling als gevolg van rijping per rijpingsterrein. Uitsluitend is een prognose gegeven van de totale maaivelddaling per terrein, 100 jaar na inpoldering, inbegrepen de te verwachten compactie van de ondergrond. De prognose van de compactie werd gebaseerd op geëxtrapoleerde waarnemingen ter plaatse van een negental bijzondere rijpingsterreinen in Zuidelijk Flevoland. Ter plaatse van de bijzondere rijpingsterreinen zijn op verschillende dieptes in de bodem schroefankers aangebracht, waarmee de volume-afname van de verschillende bodemlagen in de ondergrond in de tijd kon worden gevolgd. Op grond van deze waarnemingen is in Flevovericht 388 een verband gepresenteerd tussen de volumeafname (geëxtrapoleerd voor de eindsituatie =100 jaar na inpoldering) en de diepte van een bodemlaag bij droogvallen. Dit verband is door RIJP gebruikt voor de bepaling van de compactie van de ondergrond.

Zoals reeds gesteld is de geprognosticeerde maaivelddaling in de eindsituatie in Flevovericht 388 niet gespecificeerd in een aandeel door rijping en een aandeel door compactie van de ondergrond. Wel is de methodiek beschreven waarmee de verschillende zakkingscomponenten zijn bepaald.

Gegeven het feit dat de maaivelddaling voor een groot aantal rijpingsterreinen de door RIJP geprognosticeerde maaivelddaling nagenoeg hebben bereikt, kan worden verondersteld dat het rijpingsproces is voltooid en/of het specifieke volume van de verschillende grondmonsters de verwachte eindtoestand heeft bereikt. Om dit te controleren zijn in eerste instantie de door ons geanalyseerde specifieke volumina van de grondmonsters tot een diepte van 1,2 m beneden het maaiveld vergeleken met de verwachte eindtoestand op grond van de relaties in tabel 5.1. Resultaten van deze analyse zijn gepresenteerd in figuur 5.1. Ter referentie zijn hierin het initiële specifieke volume aangegeven en het specifieke volume in de eindtoestand, beide gebaseerd op de relaties uit tabel 5.1 en de individuele waarnemingen uit de Johannes Kerkhovenspolder (JKP), ontleend aan De Glopper [6].

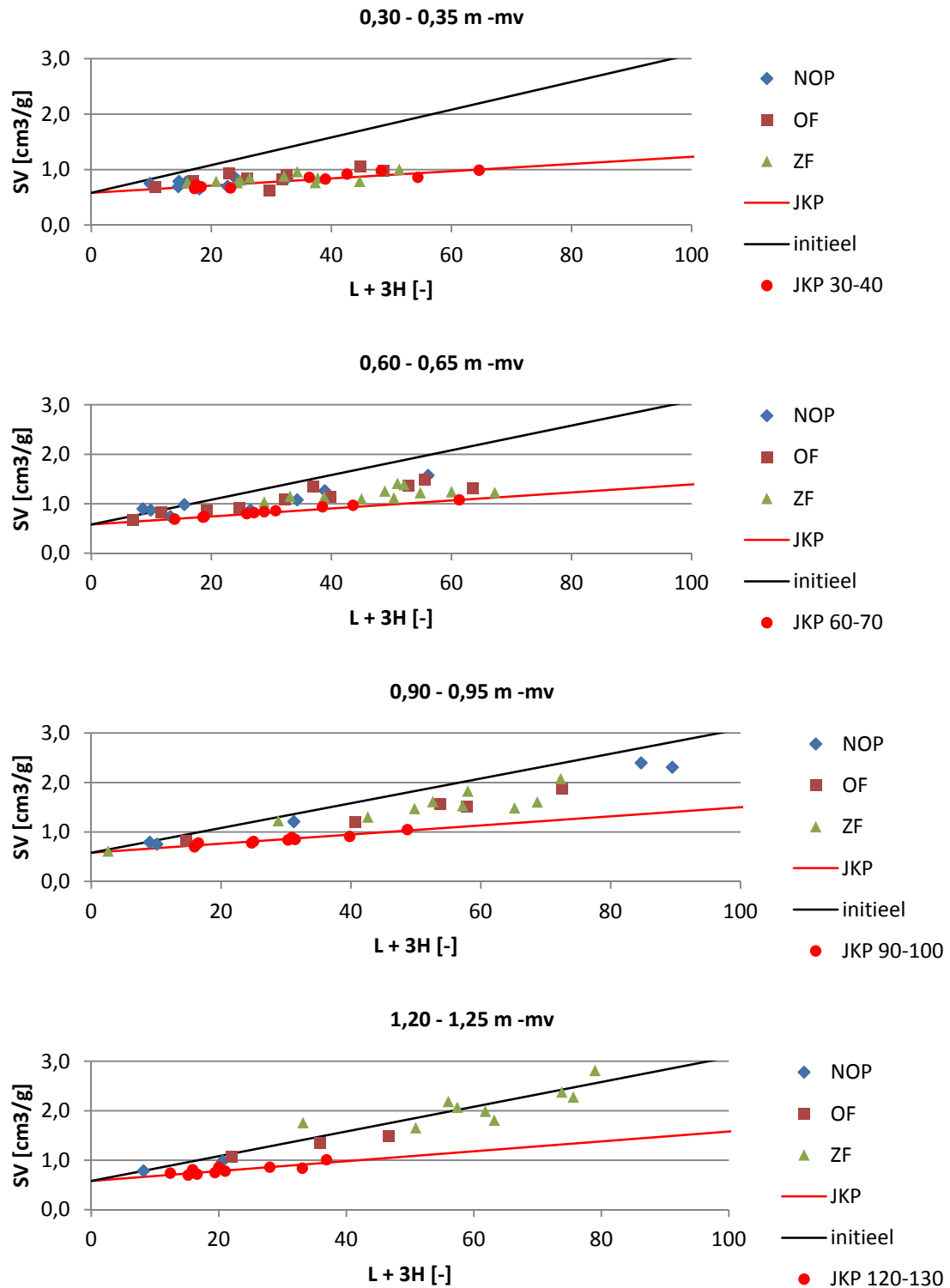
Uit figuur 5.1 kan worden afgeleid dat de bodem op een diepte van 0,30 à 0,35 m beneden het maaiveld het verwachte specifieke volume in de eindtoestand benadert. Dit geldt zowel voor de Noordoostpolder (NOP) als voor Oostelijk en Zuidelijk Flevoland (resp. OF en ZF). Op een diepte van 0,60 à 0,65 m beneden het maaiveld ligt het actuele specifieke volume ruim boven de verwachte waarde in de eindtoestand. Opvallend daarbij is tevens dat de Noordoostpolder en

Oostelijk Flevoland verder van de verwachte eindtoestand liggen, of in minder mate zouden zijn gerijpt, dan Zuidelijk Flevoland. Met de toename van de diepte geldt dat het specifieke volume van de onderzochte monsters steeds verder van het verwachte specifieke volume in de eindtoestand af ligt. Op een diepte van 1,20 à 1,25 m beneden het maaiveld zou het actuele specifieke volume zelfs gelijk zijn aan het initiële specifieke volume en zou de bodem dus in het geheel niet zijn gerijpt. Een nadere analyse wijst uit dat deze conclusie niet terecht is en dat de algemene relatie tussen het klei-humusgetal en het initiële specifieke volume, het specifieke volume van sterk humeuze grondlagen direct na inpoldering structureel is onderschat. De betreffende grondlagen zijn wel degelijk in volume afgenomen.

Vraag is nu of de grondlagen op een diepte van 0,6 tot 1,2 m beneden het maaiveld nog verder in volume zullen afnemen en uiteindelijk zullen naderen tot de eindtoestand, zoals die in de Johannes Kerkhovenspolder is aangetroffen. Dit is onzes inziens zeer twijfelachtig vanwege de sterk afwijkende samenstelling van de sedimenten in de ondergrond van Flevoland, ten opzichte van de Johannes Kerkhovenspolder. In Flevoland wordt aan het maaiveld een zwak tot matig humeuze toplaag aangetroffen die qua samenstelling (tot 0,30 à 0,35 m) goed vergelijkbaar is met de aangetroffen toplaag in de Johannes Kerkhovenspolder. Reeds vanaf een diepte van 0,60 à 0,65 m beneden het maaiveld komen grote verschillen voor in de samenstelling van de sedimenten in beide polders.

In de Johannes Kerkhovenspolder neemt het organische stofgehalte met de diepte af en komen onder de teelaardelaag geen organische stofgehalten van betekenis meer voor. In Flevoland daarentegen neemt het organische stofgehalte overwegend toe met de diepte, vooral in Zuidelijk Flevoland. Dit blijkt uit de veel hoge klei-humusgetallen (zie figuur 5.1) die in Flevoland voorkomen vanaf 0,60 m beneden het maaiveld. Doordat in figuur 5.1 ook de originele waarnemingen in de Johannes Kerkhovenspolder zijn gepresenteerd, wordt duidelijk dat in de ondergrond van Flevoland sedimenten voorkomen die een klei-humusgetal bezitten dat ver buiten de range van klei-humusgetallen liggen die in de Johannes Kerkhovenspolder zijn aangetroffen. Daarbij moet worden bedacht dat alle sedimenten uit Flevoland met klei-humusgetallen boven de 30 à 40 per definitie afwijkend zijn van die in de Johannes Kerkhovenspolder. Het lutumgehalte van de afzettingen in Flevoland is namelijk zelden hoger dan 30 en dus bevatten de sedimenten met een klei-humusgetal groter dan 30 per definitie een aanzienlijk percentage organische stof. In de Johannes Kerkhovenspolder is daarentegen het percentage organische stof in de ondergrond verwaarloosbaar. Klei-humusgetallen van 30 à 60 komen hier uitsluitend voor omdat er (zware) klei met een lutumpercentage van 30 à 60% worden aangetroffen, die hooguit 1 à 2% organische stof bevatten.

Wegens de verschillen in sedimenten wordt sterk betwijfeld of het specifieke volume van de ondergrond in Flevoland in de eindtoestand zal naderen aan die in de Johannes Kerkhovenspolder. Hierover kan echter geen uitsluitsel worden gegeven, vooral omdat geen historische gegevens over de ontwikkeling van het specifieke volume op de verschillende dieptes in de tijd beschikbaar zijn gekomen. Van de rijpingsterreinen in Oostelijk en Zuidelijk Flevoland zijn uitsluitend de soortelijke volumina van de bodem bij droogvallen en anno 2011 bekend.



Figuur 5.1: Actueel specifieke volume versus het klei-humusgetal op de verschillende bemonsteringsdiepten in Flevoland in relatie tot de Johannes Kerkhovenpolder

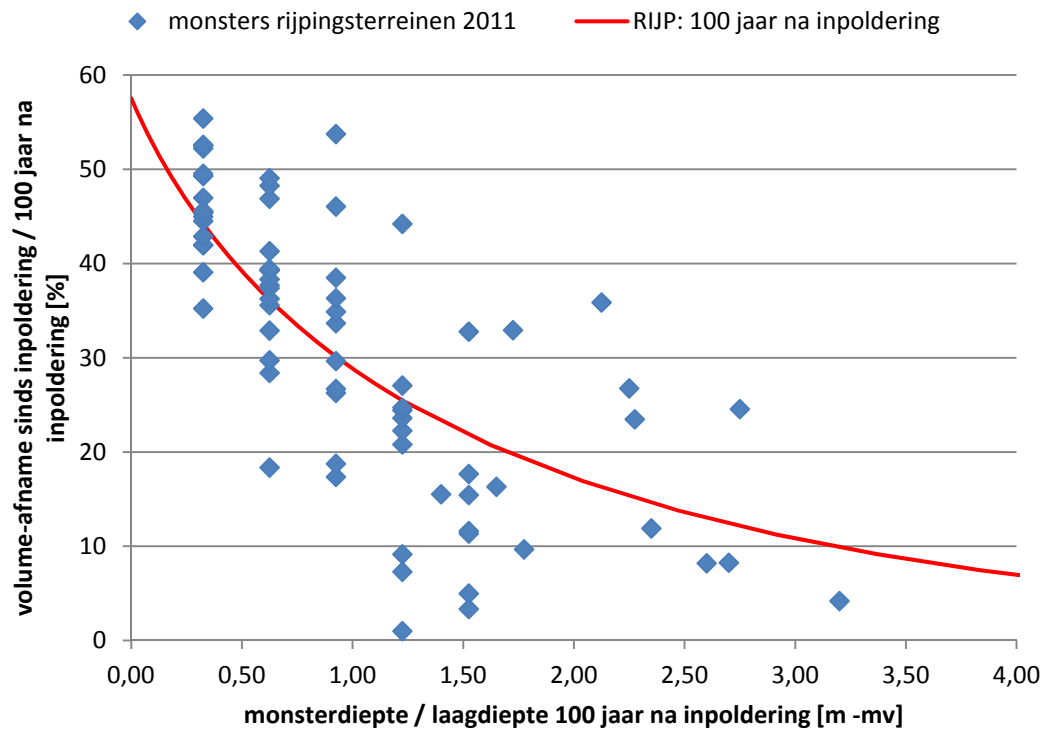
5.4 Reconstructie maaiveldddaling per terrein

Op grond van de beschikbare analysegegevens van de rijpingsterreinen in de initiële en actuele situatie, cq. de initiële en actuele specifieke volumina is getracht per rijpingsterrein de tot op heden opgetreden maaiveldddaling te reconstrueren. Complicerend daarbij is dat van een aantal terreinen geen of onvolledige analysegegevens in de initiële toestand beschikbaar zijn. Desondanks kon voor een aantal terreinen de tot op heden opgetreden bodemdaling met een fout van 0,1 à 0,2 m worden gereconstrueerd. De gevolgde werkwijze wordt daarmee onvoldoende betrouwbaar geacht om toekomstige prognoses voor de maaiveldddaling af te geven. Wel kan deze reconstructie worden gebruikt om voor een groot aantal van de geanalyseerde grondmonsters af te leiden welke volume-afname deze hebben ondergaan sinds het moment van inpoldering. Resultaten van deze analyse zijn weergegeven in de figuur 5.2, waarin de volume-afname van de grondmonsters is uitgezet tegen de actuele monsterdiepte. Ter referentie is in figuur 5.2 de door RIJP beschreven relatie tussen de laagdiepte en de volume-afname 100 jaar na inpoldering weergegeven (Flevobericht 388, par. 6.3.2). In tegenstelling tot Flevobericht 388 is de volume-afname hier uitgezet tegen de laagdiepte in de eindsituatie (in plaats van bij droogvallen). De gedachte hierbij is dat de actuele laagdiepte dichter bij de eindsituatie dan bij de initiële situatie zal liggen.

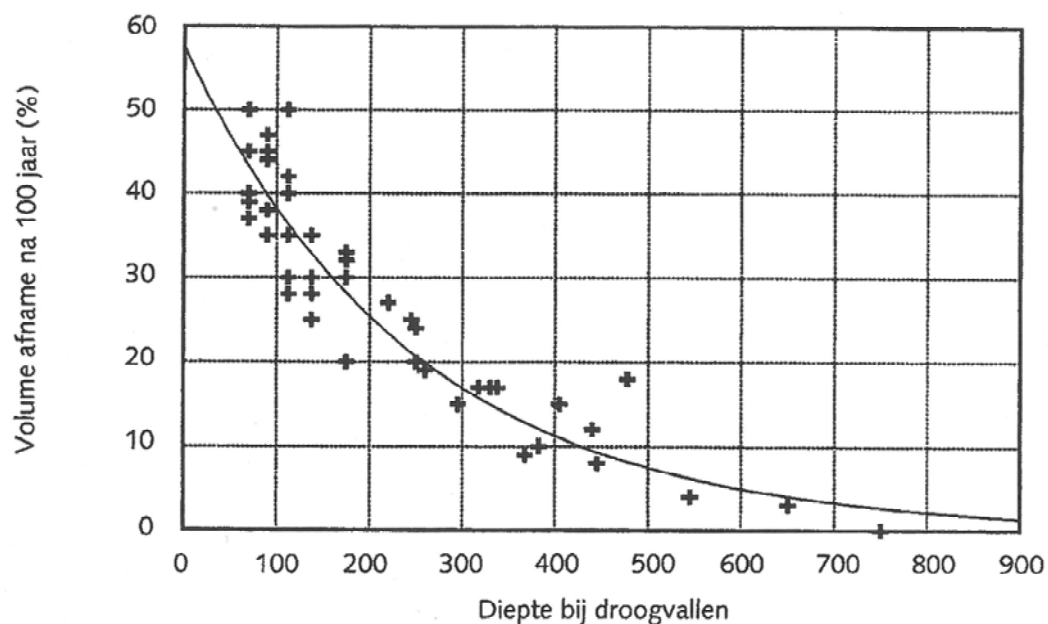
Op basis van figuur 5.2 wordt geconcludeerd dat het door RIJP gevonden verband tussen de volume-afname en de laagdiepte, wordt bevestigd door de uitgevoerde analyse van de volume-afname van de onderzochte grondmonsters. Daarbij moet echter worden aangetekend dat de spreiding op basis van de onderzochte grondmonsters vele malen groter is dan door RIJP werd vastgesteld ter plaatse van de rijpingsterreinen, zie figuur 5.3. De grotere spreiding op basis van de grondmonsters kan worden verklaard doordat het eenmalige puntwaarnemingen betreft die, voor de reconstructie van de opgetreden volume-afname zijn gerelateerd aan analysegegevens uit het verleden (bij droogvallen). Dit introduceert, mede door het ontbreken van analyseresultaten uit de periode tussen droogvallen en heden, een grote fout. Doordat de analyse top-down is uitgevoerd, beginnend op maaiveldniveau, neemt de fout bovendien toe met de diepte. Dit in tegenstelling tot de analyse van RIJP, die is gebaseerd op het langjarig zakkingsverloop van schroefankers in de bodem, waarmee gehele lagen worden bemeten en variaties in de tijd worden afgevlakt door het langjarige karakter van de metingen. Ondanks dat vertonen ook de waarnemingen van RIJP, geredeneerd vanuit het doel van het onderzoek (opstellen prognose maaiveldddaling) een relatief grote spreiding. Zo kan op basis van figuur 5.3 worden vastgesteld dat de bodem op 1,0 m diepte bij droogvallen gemiddeld 40% in volume zal afnemen, maar dat de volume-afname varieert van circa 30 tot 50% (dit is globaal te beschouwen als gemiddelde voor de bovenste meter van het huidige bodemprofiel). Met de diepte neemt de spreiding weliswaar af (in absolute zin), maar is de relatieve afwijking (vanwege de geringere volume-afname) zo mogelijk nog groter.

Ondanks de grote spreiding in de afgeleide volume-afname op basis van de grondmonsters, valt uit figuur 5.2 te concluderen dat:

- De door RIJP geprognosticeerde volume-afname voor de situatie 100 jaar na inpoldering (gebaseerd op geëxtrapoleerde zakkingsmetingen) gemiddeld beschouwd in de huidige situatie reeds is bereikt of nagenoeg is bereikt. Dit is in overeenstemming met de waarnemingen van de absolute maaiveldddaling ter plaatse van de rijpingsterreinen.
- Gedetailleerd beschouwd: de grondmonsters op 30, 60 en 90 cm beneden het maaiveld, vertonen een volume-afname die (gemiddeld beschouwd) groter of gelijk is aan de geprognosticeerde afname. De monsters op 120 en 150 cm beneden het maaiveld (gemiddeld beschouwd) vertonen een geringere volume-afname dan de prognose. Dit duidt er op dat monsters rond het gemiddelde laagste grondwaterstandsniveau (dat varieert tussen 1 en 1,50 m beneden het maaiveld) mogelijk nog aanzienlijk in volume zullen kunnen afnemen. Over de monsters dieper dan 1,50 m kunnen, met name vanwege het beperkte aantal waarnemingen, verder geen uitspraken worden gedaan.



Figuur 5.2: Volumeafname van de ondergrond in Zuidelijk en Oostelijk afhankelijk van de laagdiepte in m beneden het maaiveld



Figuur 5.3: Volume-afname van de ondergrond in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland, 100 jaar na droogvallen, als functie van de diepte beneden het maaiveld. Diepte is hier de gemiddelde diepte van een laag bij droogvallen (ontleend aan Flevobericht 388)

Naar aanleiding van de grote spreiding in de volume-afname van de monsters afkomstig van verschillende dieptes, is onderzocht of de spreiding kan worden verklaard uit verschillen in de samenstelling van het sediment en/of de diepteligging ten opzichte van de grondwaterstand. Helaas hebben deze beide analyses geen concreet resultaat opgeleverd. Wanneer de monsters uit figuur 5.2 worden uitgesplitst naar lithologische eenheden en/of de monsterdiepte (ten opzichte van het maaiveld of ten opzichte van de GLG), neemt de spreiding in de volume-afname niet noemenswaardig af. In combinatie met het beperkte aantal monsters per lithologische afzettingen en/of per monsterdiepte kunnen derhalve geen bruikbare relaties worden afgeleid om de volume-afname van bepaalde lagen nauwkeuriger te voorspellen. Dit wijst er op dat zich binnen de gedefinieerde (lithologische) eenheden daadwerkelijk grote verschillen in de volume-afname van het sediment voordoen en/of dat er nog andere factoren zijn die de volume-afname beïnvloeden (bijvoorbeeld ontwateringstoestand).

Dat zich aanzienlijke verschillen in de volume-afname van sedimenten voordoen wordt in ieder geval ook bevestigd door de verschillen in de maaiveldddaling van de verschillende rijpingsterreinen alsmede de variatie in de actuele dalingssnelheid, zie paragraaf 3.2. Hoewel gedetailleerde informatie over de samenstelling van al deze terreinen ontbreekt, valt eenvoudig vast te stellen dat terreinen met een vergelijkbare dikte aan slappe lagen in de begintoestand (afgeleid op basis van boorprofielen) grote verschillen in de tot op heden opgetreden maaiveldddaling en de actuele dalingssnelheid vertonen (ordegrootte tientallen procenten).

Tenslotte wordt opgemerkt dat ook is getracht om voor de onderzochte 21 terreinen in Oostelijk en Zuidelijk Flevoland de in 1996 door RIJP herziene prognose van de maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering te reconstrueren. Daarbij is gebruik gemaakt van de initiële specifieke volumina, die hoofdzakelijk werden ontleend aan Flevovericht 143 alsmede de algemene relatie voor de bepaling van het initiële specifieke volume volgens de relatie uit tabel 5.1. Met deze gegevens is de maaiveldddaling in de eindsituatie berekend, strikt volgens de beschreven methode in Flevovericht 388. Dit heeft zonder uitzondering geleid tot berekende waarden die sterk (ordegrootte decimeters) afwijken van de prognoses van RIJP. Hoewel RIJP kon beschikken over meer gegevens (ontwikkeling van specifieke volumina in de tijd) is hiervoor eigenlijk geen logische verklaring te geven. De eindprognose van de bodemdaling is immers, gegeven de beschreven methodiek in Flevovericht 388, uitsluitend gebaseerd op het initiële specifieke volume.

5.5 Conclusie

Resumerend kan worden gesteld dat het op basis van de uitgevoerde analyses niet mogelijk wordt geacht een nauwkeurige voorspelling te maken van de te verwachten maaiveldddaling door rijping. De in het verleden door RIJP opgestelde relaties voor de bepaling van de maaiveldddaling door rijping in de eerste 100 jaar na inpoldering, worden niet betrouwbaar geacht. Op basis van het uitgevoerde onderzoek zijn er bovendien geen mogelijkheden om deze relaties te herzien. De best mogelijke benadering van de volume-afname van de bodem, afhankelijk van de diepte, is gegeven in figuur 5.2 en vertoont een zeer grote spreiding. Hiermee is slechts een grove schatting te maken van de opgetreden maaiveldddaling (vanaf de inpoldering tot heden). Het is niet mogelijk dit verband te extrapoleren in de tijd, teneinde een inschatting te maken van de toekomstige maaiveldddaling. Ter plaatse van de individuele rijpingsterreinen kan de toekomstige maaiveldddaling waarschijnlijk het meest accuraat worden bepaald door extrapolatie van het historisch maaivelddalingsverloop.

6 Modelbeschrijving

6.1 Methodologie

De bijdrage van ieder proces aan de bodemdaling op een bepaald punt in het terrein wordt bepaald door:

- de opbouw van de ondergrond;
- de grondwaterstand en de stijghoogte van het onderliggend watervoerend pakket;
- de variatie in de tijd hiervan;
- de tijd sinds het begin van de drooglegging of verandering in het waterbeheer;
- het klimaat.

Om de bodemdaling vanaf heden te voorspellen is de volgende methodologie gevolgd:

1. Opstellen ondergrond model;
2. Bepalen grondwaterstanden op tijdstippen vóór inpoldering en nu.
 - a. Bepalen initiële maaiveldhoogte;
3. Initiële parametrisatie ondergrondmodel voor bodemdalingsberekening;
4. Eerste berekening bodemdaling;
5. Calibratie parameters bodemdaling aan gemeten bodemdaling;
6. Herberekening bodemdaling met gecalibreerde parameters;
7. Extrapolatie van berekende bodemdaling vanaf heden (2011) naar gekozen tijdstippen in de toekomst;
8. Vergelijking gemeten en berekende bodemdaling 1993-heden;
9. Schatting van foutenmarge.

De bodemdaling wordt gemodelleerd door deze te berekenen in een raster van verticale ondergrondprofielen. Deze zijn ontleend aan de 3D modellen die door TNO worden opgesteld. De bodemdaling is afhankelijk van de grondwaterstand, met name de verlaging van de grondwaterstand en de daardoor ontstane verhoging van de korrelspanning. Voor de berekening zijn daarom gegevens nodig van de freatische grondwaterstand en de stijghoogte in het watervoerend pakket aan de basis van de holocene deklaag.

6.2 Geologische basis

De ondergrond in Flevoland is ontstaan onder invloed van gletsjers, zee, rivier en wind. Gletsjers hebben in de voorlaatste ijstijd diepe bekkens uitgesleten en keileem achtergelaten, waarvan de resten zich plaatselijk dicht aan maaiveld in de Noordoostpolder bevinden (Urk en Schokland). Na de ijstijd werd het weer warmer en vulden de uitgesleten bekkens zich met klei en zand, met aan de randen veenvorming. In het noorden is zand afgezet door de Rijn. De volgende ijstijd zorgde ervoor dat de Rijn in grote gebieden zand achterliet, en kleinere riviertjes in de beekdalen zand, klei en veen. Aan het einde van de ijstijd werd door de wind zand afgezet.

In het Holocene werd eerst een veenlaag gevormd (het zgn. basisveen), waarna dit veen weer is bedekt door zand en klei in een waddenomgeving. Vervolgens raakte de zee zijn invloed kwijt en heeft zich een groot binnenmeer gevormd, het Almere. Op de bodem van dit meer werd klei en organisch materiaal afgezet. Toen er weer een verbinding met de zee ontstond, werd het meer brak (de Zuiderzee) en zijn veel veengebieden door afslag opgeruimd. Na de afsluiting is in het IJsselmeer een dunne laag slib afgezet, die na inpoldering aan het oppervlak kwam te liggen. De totale dikte van de Holocene afzettingen varieert van 0 meter op Urk tot ruim 10 meter bij Almere.

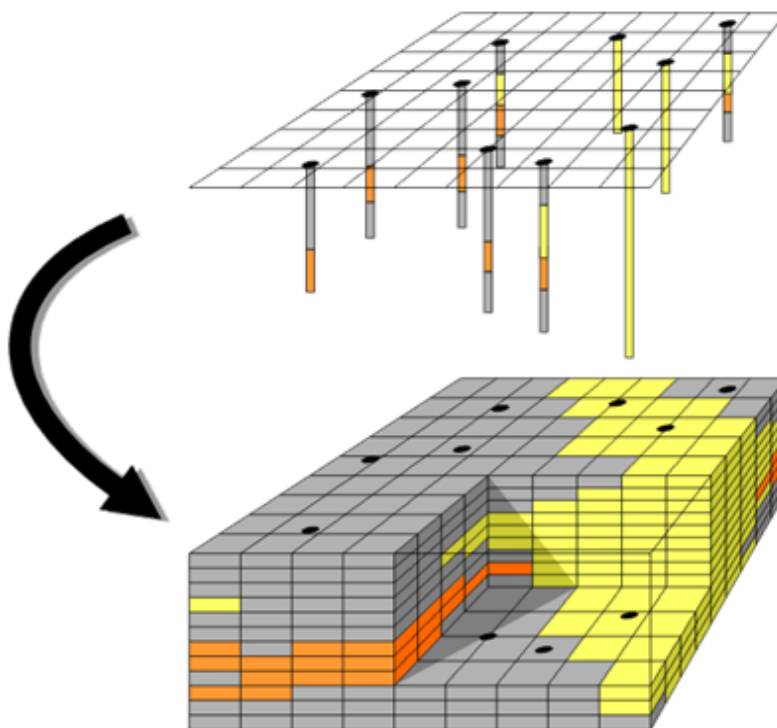
6.3 Het ondergrondmodel

De opbouw van de ondergrond is een belangrijk gegeven voor de voorspelling van de bodemdaling. Immers, grondsoorten gedragen zich verschillend wat betreft bodemdaling: klei is gevoelig voor krimp en consolidatie, veen oxideert als het aan de lucht wordt blootgesteld, terwijl zand weinig tot geen daling vertoont. Om tot een ruimtelijk gedifferentieerd beeld van de bodemdaling te komen is een 3-dimensionaal model van de belangrijkste grondsoorten gemaakt. Dit model is gebaseerd op de boringen die in de DINO-database zijn opgeslagen. Tevens zijn bodemgegevens uit de bodemkaart meegenomen en is geologische expert-kennis ingebracht in het vervaardigen van het model van de grondsoorten.

De ondergrond van Flevoland en de Noordoostpolder is verdeeld in zgn. “voxels” (zie figuur 6.1). Deze voxels hebben een dimensie van 250x250 m in de horizontale richting en 1m in de vertikaal. Gegeven de huidige dichtheid van boringen en de omvang van het project is het niet mogelijk om voor het gehele gebied een fijnere resolutie te gebruiken. In Flevoland zijn 18700 boringen gebruikt. De datadichtheid is in een aantal gebieden wel hoog, maar omdat het om ondiepe boringen gaat (vaak niet meer dan 2-3 meter) zijn de meeste boringen alleen in de bovenste meters relevant voor het voxel model. Ook de spreiding van de boring over Flevoland is niet gelijk, er zijn gebieden die een grotere dichtheid hebben en gebieden waar slechts een enkele boring staat.

In de Noordoostpolder zijn 5290 boringen gebruikt. Ook hier geldt dat de datadichtheid in de bovenste paar meter hoog is, maar snel met de diepte afneemt en de verdeling van de boring over de Noordoostpolder onregelmatig is.

In bijlage 7 zijn enkele kaarten opgenomen die een indruk geven van de boordichtheid op de verschillende diepten



Figuur 6.1: Grafische weergave Voxel-model

De bovenste meter is onderverdeeld in voxels met een dikte van 0,25 m, omdat in dit bereik de informatie van de bodemkaart een belangrijke rol speelt en deze informatie meer gedetailleerd is. Ook speelt mee dat het grootste gedeelte van de boringen informatie over de bovenste meter voorkomt, en naar de diepte de informatiedichtheid snel afneemt.

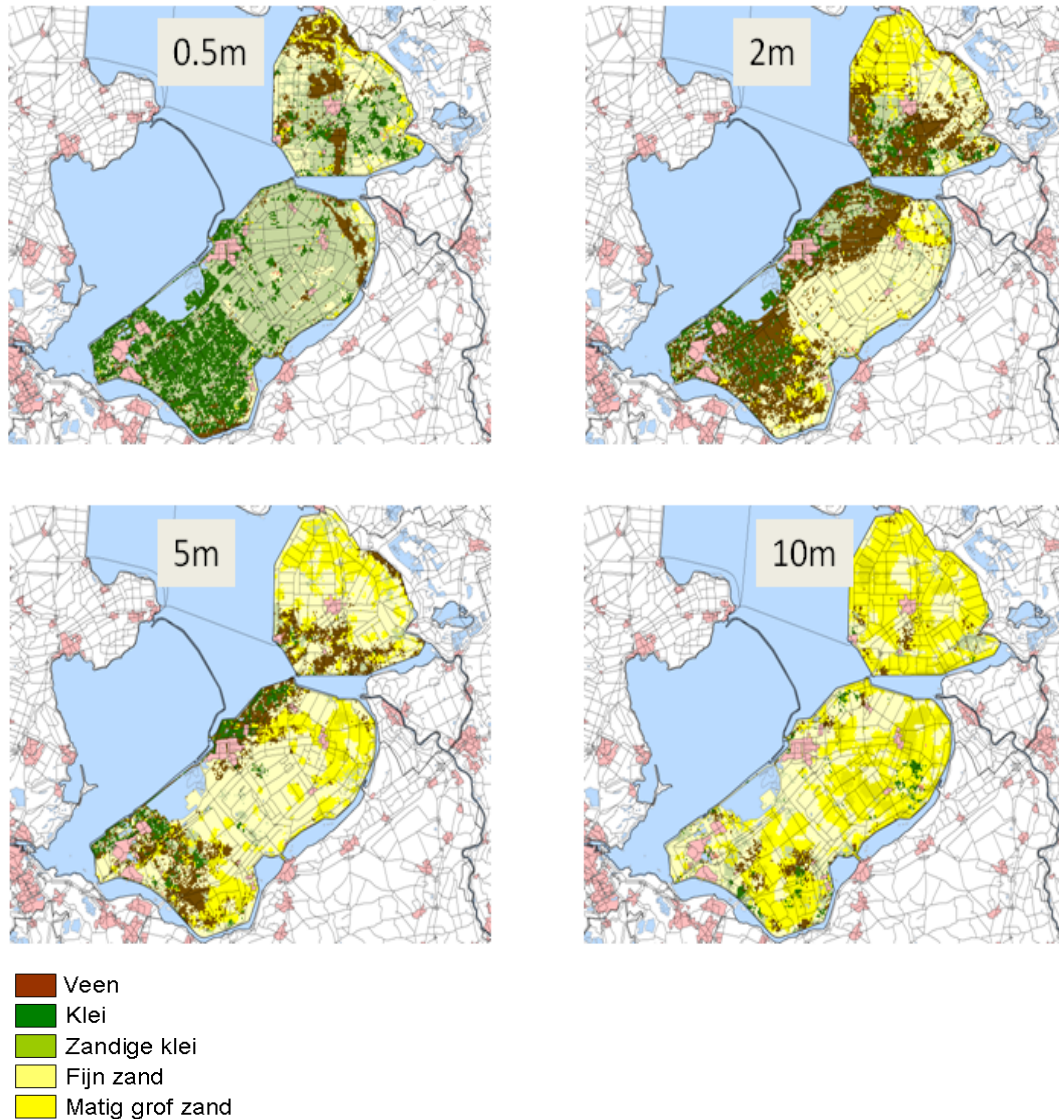
Er is bij het gebruik van de boringen geen rekening gehouden met al opgetreden oxidatie van veen of compactie sinds de opname van de boringen. Het is zeer waarschijnlijk dat deze processen zijn opgetreden en dat dit invloed heeft op de ligging (t.o.v. NAP) en de dikte van de lagen, maar het is niet te achterhalen wat de effecten hiervan zijn. De ligging en de diktes van de lagen tijdens de opname (zoals deze in de DINO-database zijn opgenomen), zijn in de modellering van de grondsoorten gebruikt. Ook om deze reden is gekozen voor een resolutie van het ondergrondmodel van 250x250x1m.

De volgende stappen zijn doorlopen om tot het 3D model van de grondsoorten te komen:

1. De boorinformatie uit de DINO-database voor de Noordoostpolder en Flevoland is gebruikt. Hierbij is geen onderscheid gemaakt in dieptebereik, jaar van boring of andere selectie criteria. Alle boringen in het gebied zijn in de modelleringen gebruikt.
2. De (soms gedetailleerde) beschrijving van de grondsoorten in de boringen is vertaald naar de volgende klassen: veen, klei, zandige klei & kleig zand, fijn zand en matig grof zand tot grof zand.
3. Het Digitaal Geologisch Model (DGM) is gebruikt om te bepalen welk gedeelte van de boringen in het Holocene zijn afgezet en welke ouder zijn. De reden voor deze onderverdeling is dat de Holocene afzettingen, die recent zijn afgezet, relatief "slap" zijn in vergelijking met de oudere, Pleistocene sedimenten. De slappe grondsoorten uit het Holocene krijgen dan ook andere parameters voor de berekening van de bodemdaling dan de grondsoorten uit het Pleistoceen.
4. In het voxelmodel is een onderverdeling gemaakt in voxels die in het Holocene liggen en die in het Pleistoceen liggen. Dit is gebeurd op basis van het Digitaal Geologisch Model (DGM). In het voxelmodel wordt binnen het Holocene pakket alleen de grondsoorten uit de boringen gebruikt uit het Holocene gebruikt, in het Pleistocene gedeelte van het voxelmodel alleen de grondsoorten die uit het Pleistoceen komen.
5. Voor iedere voxel is een schatting gemaakt van de meest waarschijnlijke grondsoort, gegeven de omliggende boringen, waarbij rekening gehouden is met de ruimtelijke samenhang. Hiervoor zijn geostatistische technieken (gebaseerd op "kriging") gebruikt. In de interpolatie zijn de voxels die tot het Holocene behoren gevuld op basis van grondsoorten die in het Holocene zijn afgezet. Voor het Pleistoceen zijn de boringen met grondsoorten uit het Pleistoceen gebruikt. De gebruikte interpolatie methode schat voor iedere grondsoort de kans dat deze voorkomt in de voxel. Dit levert bijvoorbeeld een kans van 40% veen, 30% klei en 30% zand. Door middel van een nabewerking is automatisch de meest waarschijnlijke grondsoort bepaald uit de kansen op de individuele grondsoorten.
6. Het resultaat is een model, waarvan iedere voxel bekend is of deze tot het Holocene of het Pleistoceen behoort en welke grondsoort de meest waarschijnlijke is. Hierbij geldt dat de meest waarschijnlijke grondsoort, zoals deze bepaald is door de bovenstaande methode, gezien moet worden als de meest waarschijnlijke grondsoort voor de gehele voxel. Het is dus goed mogelijk dat een individuele boring in een voxel een afwijkende grondsoort heeft. Echter, indien een groot aantal boringen in de voxel gezet zouden worden, is de grondsoort die het vaakst voorkomt in de boringen de grondsoort die aan de voxel is toegekend.
7. De bodemkaart is gebruikt om het 3D model van de bovenste 1 meter te verfijnen naar een resolutie van 0,25m. Voor de eenheden van de bodemkaart waar een en moerige grond voorkomt, zijn deze vertaald naar lithoklasse veen, waarbij rekening is gehouden met de verdeling van het veen over de diepte. Indien in de beschrijving van de bodemeenheden duidelijk is dat de organisch rijke lagen in de bovenste lagen voorkomen, zijn deze ook toegekend aan de bovenste voxels van het 3D model.

In figuur 6.2 is een uitsnede weergegeven van de grondsoorten die voorkomen op verschillende diepte-intervallen, namelijk 0,5 m, 2 m, 5 m en 10 m onder maaiveld. Een meer gedetailleerde presentatie van de grondsoorten per diepte-interval is opgenomen in bijlage 8. Op de kaart met grondsoorten op 0,5 m beneden maaiveld is duidelijk zichtbaar waar veen danwel moerige grond in de toplaag wordt aangetroffen, in overeenstemming met de op de bodemkaart vermelde veengronden en moerige gronden.

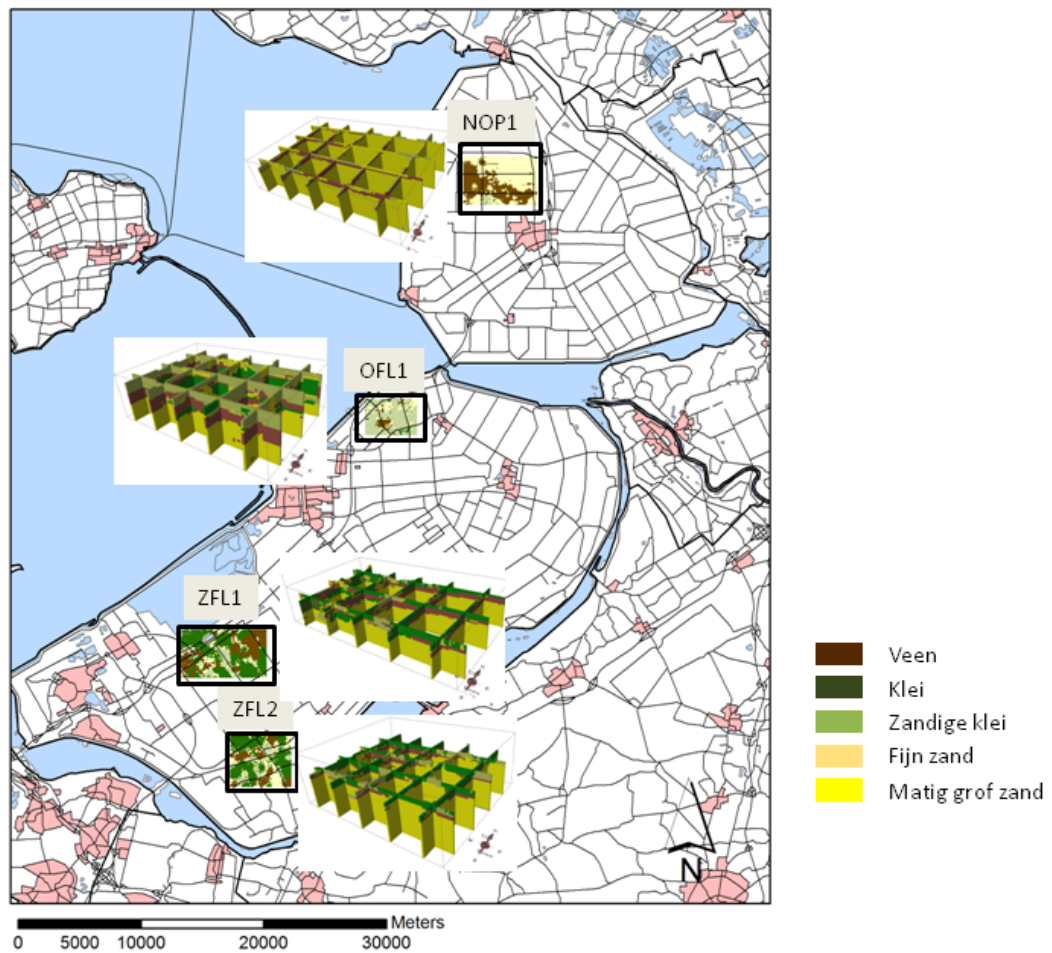
Grondsoorten op 0.5m, 2m, 5m en 10m onder maaiveld



Figuur 6.2 Indeling grondsoorten per diepte-interval

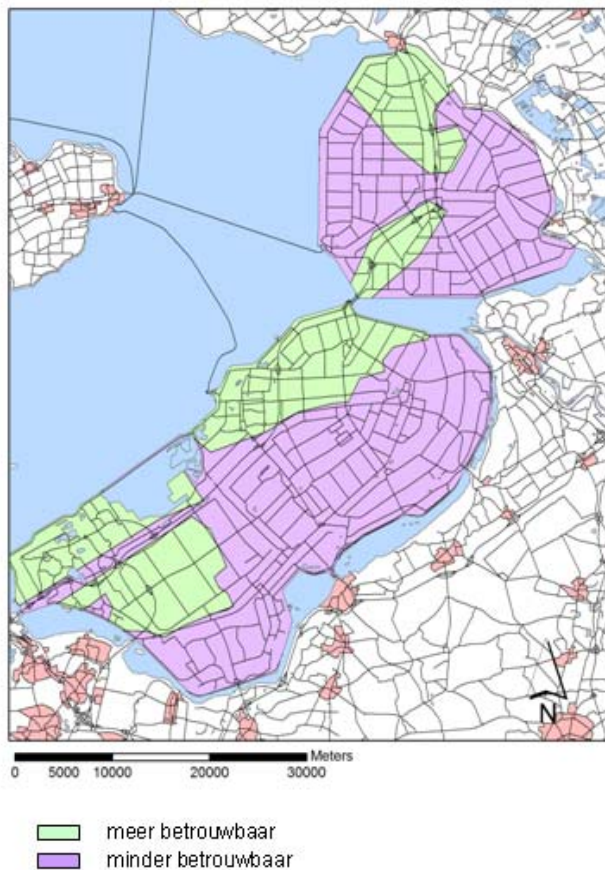
Er zijn vier deelgebieden onderscheiden, waar de bodemdaling meer gedetailleerd is gemodelleerd met behulp van een ondergrondmodel met een voxelgrootte van 100x100x0,5 m. Het gaat om een gebied in de Noordoost Polder, een gebied in Oostelijk Flevoland en twee gebieden in Zuidelijk Flevoland, zie figuur 6.3 waarin de meest waarschijnlijke grondsoort op 2 meter beneden maaiveld is weergegeven, samen met een 3D beeld van de grondsoorten (zie ook bijlage 9 voor een meer gedetailleerde weergave van de 3D beelden).

Voor deze gebieden is een gedetailleerd model van de ondergrond opgesteld, waardoor meer gedetailleerde berekeningen van de bodemdaling mogelijk zijn. Het hogere detailniveau is mogelijk omdat voor deze 4 gebieden in meer detail is gekeken naar de geologische opbouw en de daarbij voorkomende grondsoorten. De bewerking van de kans op iedere grondsoort naar de meest waarschijnlijke grondsoort (zie punt 5 van de hierboven beschreven werkwijze) is handmatig gebeurd. Per deelgebied is de geologische kennis over de continuïteit van de grondsoort meegewogen in de beslissing om aan de voxels de meest waarschijnlijke grondsoort toe te kennen.



Figuur 6.3: Ligging deelgebieden

De betrouwbaarheid van het ondergrondmodel is afhankelijk van de datadichtheid en de geologische complexiteit. De betrouwbaarheid van het ondergrondmodel is op een kwalitatieve manier bepaald, waarbij de kansen op de verschillende grondsoorten bepalend zijn voor de betrouwbaarheid. In gebieden met een hoge kans op een bepaalde grondsoort is het model betrouwbaarder dan in gebieden waar de kansen op de verschillende grondsoorten ongeveer even groot zijn (zie figuur 6.4).



Figuur 6.4 Betrouwbaarheid ondergrondmodel gebaseerd op punt dichtheid

6.4 Grondwaterstanden

De bodemdalingsprocessen (compactie, rijping en oxidatie) worden bepaald door de veranderingen in grondwaterstand. Voor de analyse van de grondwaterstanden en tijdreeksen zijn de gegevens uit de DINO database en alle beschikbare gegevens hierover bij het waterschap en de provincie gebruikt. Hierbij horen ook gegevens over de ligging van peilvakken en de peilen. Er blijken relatief weinig meetpunten in het gebied beschikbaar te zijn met over een ondiep filter, waardoor de opstelling van een vlakdekkende invoer voor het model niet hieruit afgeleid kan worden. Voor de huidige freatische grondwaterstand is daarom gebruik gemaakt van de vlakdekkende bestanden van het Nationaal Hydrologisch Instrumentarium (NHI versie 2.1 september 2011, zie <http://www.nhi.nu/>).

De initiële grondwaterstand voor de modellering is gelijk aan de oorspronkelijke maaiveldhoogte. Onderzocht is of de oorspronkelijke maaiveldhoogte beschikbaar is als lodingen van de oorspronkelijke zeebodem. Navraag bij Rijkswaterstaat wijst uit dat voor de Flevopolders deze lodingen weliswaar in het archief aanwezig zijn, maar momenteel niet in een bruikbare vorm beschikbaar zijn. Voor de Noordoostpolder bestaan deze gegevens waarschijnlijk niet of niet meer. De oorspronkelijke maaiveldhoogte is daarom afgeleid van de gedocumenteerde maaiveldhoogten van de oudste boringen in DINO. De grondwaterstandsverlaging is vervolgens afgeleid uit het hoogteverschil tussen de oorspronkelijke maaiveldhoogte en de grondwaterstand uit het NHI. De stijghoogte onder de deklaag is constant gehouden.

6.5 Parametrisatie ondergrondmodel

Voordat de parametrisatie plaatsvindt, moet er eerst een modelkeuze worden gemaakt. Zoals in hoofdstuk 4 is beschreven is, blijkt het moeilijk om de maaiveldddaling door rijping en compactie van elkaar te scheiden. Op basis van het uitgevoerde onderzoek ter plaatse van de rijpingsterreinen blijkt het niet mogelijk een accuraat formulair voor de berekening van de maaiveldddaling door rijping vast te stellen. Vast staat echter dat rijping en compactie sterk aan elkaar zijn gerelateerd (zie 2.2.) en een vergelijkbaar maaivelddalingsverloop in de tijd tot gevolg hebben.

Er is daarom voor gekozen om de maaiveldddaling door rijping samen met de compactie te modelleren. De extra maaiveldddaling door rijping wordt daarbij verdisconteerd in de compactie, doordat het model wordt geijkt op de gemeten maaiveldddaling ter plaatse van de rijpingsterreinen. Uitsluitend oxidatie van eventuele veenlagen wordt in het model als afzonderlijke component van de maaiveldddaling beschouwd.

Er is voor gekozen om een eenvoudig compactiemodel te gebruiken. Hierbij wordt aangenomen dat de resulterende verticale compactie een logaritmisch afnemend verloop heeft. Een in de geotechniek wijdverbreid model is het NEN-Bjerrum compactiemodel. Voor het bepalen van het tijdsverloop van de compactie, dat afhankelijk is van de snelheid waarmee water uit de poriën kan stromen, wordt de consolidatietheorie van Terzaghi gebruikt. Voor de oxidatie wordt de oxidatiesnelheidsformule gebruikt, gebaseerd op de waarnemingen van de proefvelden in onder andere Zegveld (ref. Schothorst) zoals beschreven in het kennisdocument [1].

Het ondergrondmodel bestaat uit 19 lagen met 14 verschillende grondtypen. In tabel 6.1 zijn de initiële parameterwaarden voor de berekening van de compactie en oxidatie vermeld.

Tabel 6.1 *Initiële parameterwaarden*

Code	naam	Droog volumiek gewicht (kN/m ³)	Verzadigd volumiek gewicht (kN/m ³)	Cv (m ² /sec)	K (1/jaar)	RR -	CR -	Ca -	PoP kN/m ²
1	Veen(H)	12	12	2,00E-08	0,015	0,063	0,101	0,0272	1,55
2	Klei(H)	15	15	3,00E-08	0	0,063	0,101	0,0272	2
3	Zandige klei(H)	16	19	7,00E-08	0	0,063	0,101	0,0112	1,55
5	Fijn Zand(H)	17	19	7,00E-05	0	0,001863	0,00401	1,00E-08	1,55
6	Matig/Grof zand (H)	18	20	7,00E-05	0	0,001863	0,00401	1,00E-08	1,55
7	Grof zand(H)	18	20	7,00E-05	0	0,001863	0,00401	1,00E-08	1,55
8	Grind(H)	18	20	7,00E-05	0	0,001863	0,00401	1,00E-08	1,55
11	Veen(P)	12	12	2,00E-08	0	0,063	0,101	0,0212	1,55
12	Klei(P)	15	15	3,00E-08	0	0,063	0,101	0,0212	1,55
13	Zandige klei(P)	16	19	7,00E-08	0	0,063	0,101	0,012	1,55
15	Fijn Zand(P)	17	19	7,00E-06	0	0,001863	0,00401	1,00E-08	1,55
16	Matig/Grof zand (P)	18	20	7,00E-05	0	0,001863	0,00401	1,00E-08	1,55
17	Grof zand (P)	18	20	7,00E-05	0	0,001863	0,00401	1,00E-08	1,55
18	Grind (P)	18	(20	7,00E-05	0	0,001863	0,00401	1,00E-08	1,55
PoP	Voorbelastingsdruk								
RR	Herbelastingscoëfficiënt								
CR	Compressie coefficient								
Ca	Secundaire samendrukkingsindex								
Cv	Consolidatie coefficient								
k	Oxidatie coëfficiënt								

6.6 Berekeningswijze

De bodemdalingsmetingen waarmee de modelparameters worden getoetst zijn de beschikbare gegevens van de rijpingsterreinen, zoals gerapporteerd in Flevovericht 388 [2]. Voor de calibratie zijn de 30 rijpingsterreinen in Zuidelijk Flevoland gebruikt, omdat hier het dikste holocene pakket ligt. De subset waaraan gecalibreerd wordt, zijn de metingen tussen 1985 en 1993. Aangenomen wordt dat in dit interval de grondwaterstanden zijn gestabiliseerd. Door een aantal iteraties uit te voeren zijn de compactieparameters van de samendrukbare lagen (1, 2, 3, 11,12, 13) bijgesteld. De zandige lagen leveren een zeer geringe bijdrage aan de daling en worden constant gehouden. In tabel 6.2 is de parameterset gegeven waarmee de extrapolatie is uitgevoerd. De resulterende gemeten en berekende curven zijn weergegeven in figuur 6.5.

Tabel 6.2 **Gecalibreerde parameterwaarden**

code	Naam	RR	CR	Ca	PoP	Cv
1	Veen(H)	0,066097	0,120188	7,61E-05	9,3034	1,52E-08
2	Klei(H)	0,181461	1,71474	0,008361	1,1415	4,95E-10
3	Zandige klei(H)	0,000932	0,001815	0,024089	82,6906	7,00E-08
11	Veen(P)	0,117105	0,129406	0,002061	27,5038	1,43E-07
12	Klei(P)	0,126396	0,314339	0,003214	1,99378	4,83E-09
13	Zandige klei(P)	0,000469	0,004114	0,00077	46,4399	7,00E-08

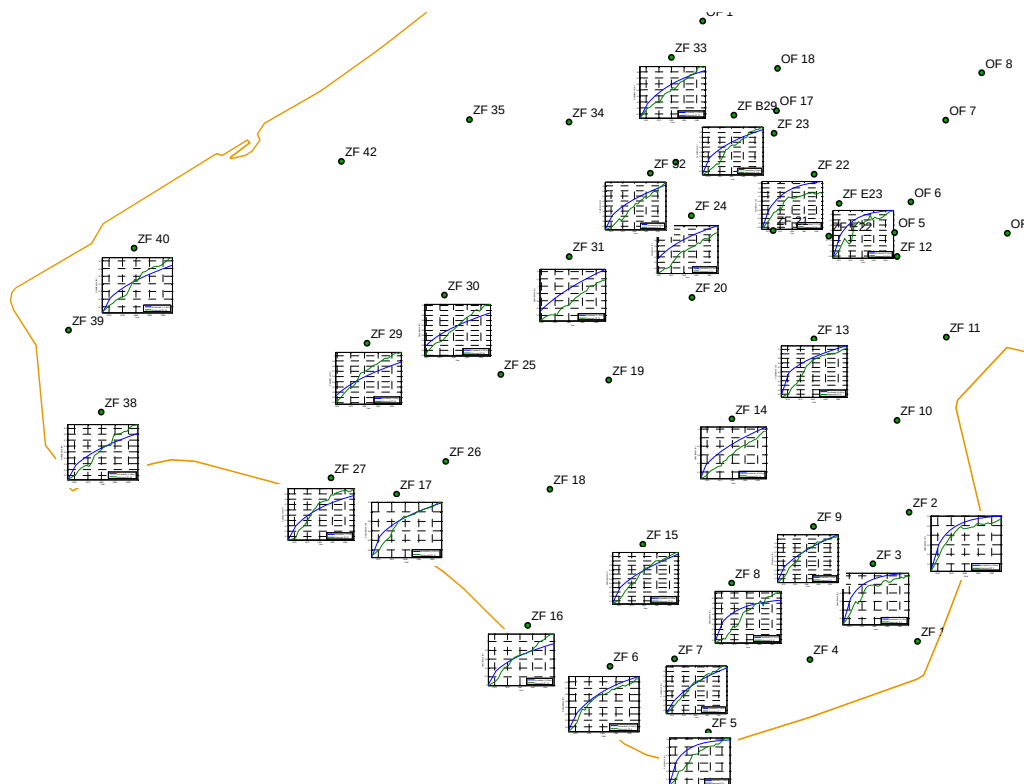
PoP Voorbelastingsdruk

RR Herbelastingscoëfficiënt

CR Compressie coëfficiënt

Ca Secundaire samendrukkingsindex

Cv Consolidatie coëfficiënt



Figuur 6.5: *Gemeten en berekende maaiveldddaling voor rijpingsterreinen (ijkpunten) in Zuidelijk Flevoland*

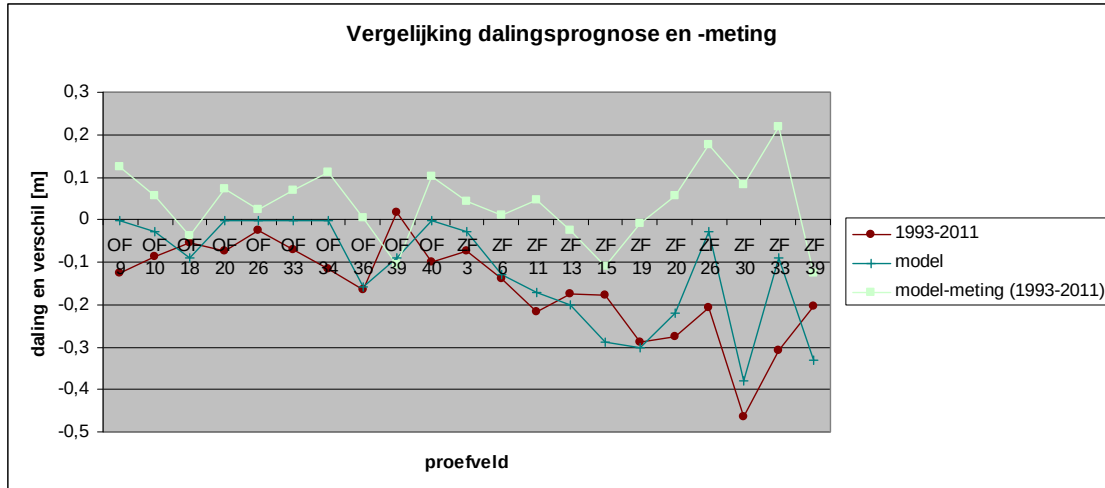
Enkele proefvelden vertonen grote verschillen, met name ZF 24 en ZF 31. Dit kan veroorzaakt worden door verschillen met de werkelijke grondwaterstanden, ondergrondmodel of afwijkend rijpings- of compactiegedrag. De individuele curven zijn opgenomen in bijlage 12.

De prognose van de bodemdaling is met het zo verkregen model uitgevoerd door de berekende daling vanaf 2011 weer te geven voor de jaren 2018, 2024, 2030, 2036, 2042, 2050 en 2100. De berekende bodemdaling is in kaartvorm weergegeven in bijlage 10 als bodemdaling ten opzichte van 2011 en in bijlage 11 vertaald naar toekomstige maaiveldhoogten.

6.7 Vergelijking modelprognose en metingen

De bodemdalingsprognose van voor het interval 1993-2011 (zie eerste kaartblad in bijlage 10) is vergeleken met de gemeten daling in hetzelfde interval. De metingen dienen dus als controle voor de gevolgde methodiek. Figuur 6.5 toont het resultaat van deze vergelijking.

Wat opvalt, is dat in Oostelijk Flevoland de berekende daling zeer gering is, terwijl daar nog daling wordt gemeten. Ook in Zuidelijk Flevoland is gemiddeld sprake van een onderschatting van de daling. Dit kan verschillende oorzaken hebben. Hiervoor is al genoemd dat er verschillen in de modelparameters met de werkelijkheid kunnen bestaan. Omdat het proces gestuurd wordt door de grondwaterstand is een afwijking hiervan meteen merkbaar.



Figuur 6.5: Vergelijking gemeten en berekende maaiveldddaling voor de 21 onderzochte rijpingsterreinen in Oostelijk en Zuidelijk Flevoland

De modelprognose voor de maaiveldddaling in de periode 2009-2100 is in bijlage 15 per rijpings-terrein gepresenteerd, tezamen met het historische maaivelddalingsverloop. Conform de gepresenteerde maaivelddalingskaarten en toekomstige maaiveldhoogtekaarten (bijlage 10 en 11) heeft daarbij een correctie van de berekende dalingen plaatsgevonden in 2009. De modelmatig berekende maaivelddalings van 2009 tot 2100 zijn daarbij opgeteld bij de gemeten maaiveldhoogte anno 2009 (gebaseerd op het AHN-2).

7 Betrouwbaarheid en onzekerheden

7.1 Bijdragen aan de onzekerheden

7.1.1 *Ondergrondmodel*

De betrouwbaarheid van het ondergrondmodel is afhankelijk van de datadichtheid (zie ook bijlage 7) en de geologische complexiteit. De betrouwbaarheid van het ondergrondmodel is op een kwalitatieve manier bepaald, waarbij “expert-judgement” een belangrijke rol speelt. Een aantal factoren dragen bij aan de onzekerheid. In een sterk dalend gebied wordt de hoogteligging en de dikte van de beschreven lagen bepaald door het tijdstip waarop de boringen zijn uitgevoerd. Door compactie en oxidatie worden lagen dunner en de relatieve hoogte van de lagen zal ook veranderd zijn ten opzichte van de beginsituatie. Alle boringen zijn echter zonder correctie vooraf in het ondergrondmodel ingebracht. De totale maaiveld daling sinds de inpoldering zal daardoor plaatselijk worden onderschat, als dit veenlagen betreft, omdat het initiële aandeel veen kleiner is dan oorspronkelijk aanwezig was. Bij kleilagen is dit effect meegenomen in de calibratie (zie 7.2).

7.1.2 *Grondwaterstand*

Bodem daling wordt primair veroorzaakt door het verlagen van de grondwaterspiegel. In het begin, bij droogvallen, ligt de grondwaterspiegel aan het maaiveld. Wanneer de grondwaterstand tot onder het maaiveldniveau zakt, treedt compactie op doordat de effectieve korrelspanningen in de bodem toenemen. Daarnaast is de zone boven de grondwaterspiegel, waar luchttoetreding in het bodemprofiel plaatsvindt, onderhevig aan rijping. In de zone boven de grondwaterspiegel treedt daardoor een grotere volume-afname op dan in de zone beneden de grondwaterspiegel. Om deze reden is een gedetailleerd inzicht in de diepteligging van de grondwaterstand en de ontwikkeling hiervan in de periode naar droogvallen zeer essentieel.

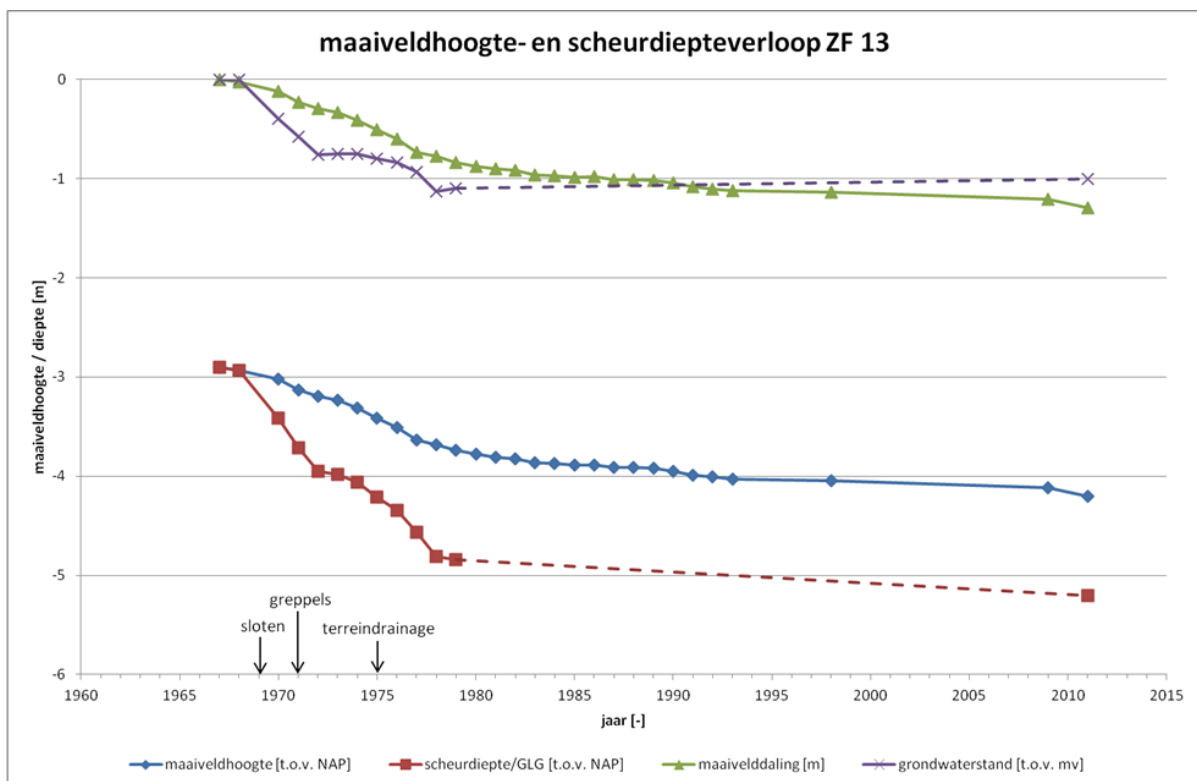
In de database van TNO (Dinoloket) blijken nauwelijks peilbuizen voor te komen die inzicht verschaffen in het verloop van de freatische grondwaterstandsverloop, laat staan een complete meetreeks van het grondwaterstandsverloop vanaf de inpoldering tot heden. De beperkte meetgegevens laten zien dat de grondwaterstandsverlaging niet overal gelijk en ook onregelmatig verloopt.

Historische waarnemingen van de scheurdiepte-ontwikkeling ter plaatse van een tweetal rijpingsterreinen in Zuidelijk Flevoland [lit. 6] duiden erop dat in de eerste jaren na inpoldering een snelle daling van de freatische grondwaterstand optreedt. Ter plaatse van de betreffende terreinen (ZF13 en ZF26) ontstaat binnen 5 à 10 jaar na droogvallen reeds een freatische grondwaterstand van circa 1 m beneden het maaiveld. Afgaande op het geschatte huidige GLG-niveau (op basis van de in maart 2011 uitgevoerde boringen) is de gemiddelde laagste grondwaterstand ten opzichte van het maaiveldniveau sindsdien nagenoeg niet gewijzigd. In de figuren 7.1 en 7.2 is de ontwikkeling van de grondwaterstand en de daling van het maaiveld voor de terreinen ZF13 en ZF26 gecombineerd, gebaseerd op de historische waarnemingen van RIJP (1968-1980) en de recente waarnemingen (maart 2011). Hieruit blijkt in de eerste plaats dat de GLG ten opzichte van het maaiveldniveau vermoedelijk niet of nauwelijks is veranderd. Dit impliceert, gegeven het feit dat tussen 1979 en heden een aanzienlijke maaiveld daling is opgetreden, dat de daling van het GLG-niveau ten opzichte van NAP een min of meer gelijke tred heeft gehouden met de maaiveld daling.

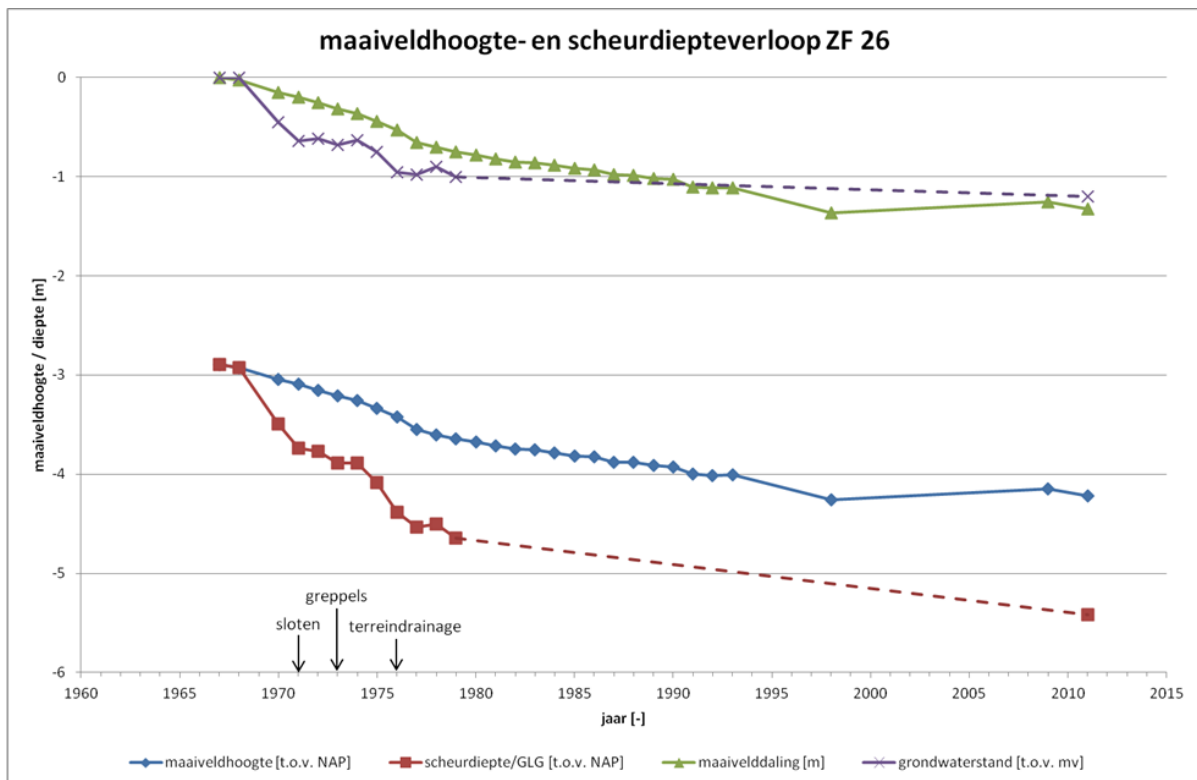
De figuren 7.1. en 7.2 laten zien kan er sprake van zijn dat de grondwaterstand nog steeds daalt. Ten behoeve van een correcte voorspelling van de toekomstige maaiveldddaling is het zeer essentieel om te weten of een dergelijke trend zich doorzet, ofwel dat het GLG-niveau op een gegeven moment niet meer verder zakt (bijvoorbeeld omdat deze door het oppervlaktewaterpeil wordt gereguleerd). Op dit moment ontbreekt het aan waarnemingen om daarover enige uitspraak te kunnen doen. Dit wordt gezien als belangrijke omissie voor het doen van een correcte voorspelling van de toekomstige maaiveldddaling. Voor toekomstige voorspelling is het essentieel om te weten hoe de daling van grondwaterstand zich verhoudt tot de maaiveldddaling. Een eventuele verdere verlaging van het GLG/niveau beïnvloedt zowel het proces rijping als compactie en is van zeer grote invloed op eventuele oxidatie van veenlagen.

De uitgangspunten voor de berekende gevolgen van een W+ klimaatscenario zijn de verlaging van de GLG en de hogere temperatuur. De grondwaterstandverlaging wordt gegeven door het verschil tussen GLG_huidig en GLG_W+. Deze zorgt voor een extra compactie en grotere ontwateringsdiepte van veenlagen. Laatstgenoemde veroorzaakt een extra oxidatie. De oxidatie wordt verder versterkt door de temperatuursverhoging. De extra maaiveldddaling is berekend voor een periode van 40 jaar (2010 tot 2050).

De veenoxidatie neemt toe met het hoger worden van de temperatuur (RIZA (2000), Scenario's externe krachten voor WB21, bijlage 4, door RIZA, WL Delft en KNMI). Uitgaande van een verhoging van de zomertemperatuur in 2050 ten opzichte van huidig van 2,8 graden Celsius, moet voor de hele periode huidig -2050 met een verhogingsfactor rekening gehouden worden behorend bij de gemiddelde opwarming van 1,4 graden. Op basis van het WB21 rapport betekent dit een vermenigvuldigingsfactor voor de oxidatie van 1,1. Wanneer we de relaties tussen bodemtemperatuur en oxidatiesnelheid van Stephens (1984) toepassen (Stephens, J.C., Allen, L.H. and Chew, E. 1984. Organic soil subsidence. American Geological Society Reviews in Engineering Geology VI:107-122), komen we op eveneens op 1,1.



Figuur 7.1: ontwikkeling maaiveldhoogte en grondwaterstand rijpingsterrein ZF13



Figuur 7.2: ontwikkeling maaiveldhoogte en grondwaterstand rijpingsterrein ZF26

7.1.3 Vergelijking van de ontwikkeling van de grondwaterstand, grondspanningen en bodemdaling en modelresultaat

De werkelijke opgetreden situatie is geïllustreerd met de figuren 7.1 en 7.2.

De maaiveldhoogte en de grondwaterstand zijn ten tijde van de inpoldering gelijk aan de bodemhoogte van het IJsselmeer. Door de drainage neemt het grondwaterniveau niet plotseling, maar geleidelijk af. Dit veroorzaakt bodemdaling, door rijping van het onverzadigde deel van de grond en compactie van de grond direct onder de grondwaterspiegel. Door de bodemdaling zakt de grondwaterdiepte minder snel dan het grondwaterniveau en blijft na de initiële relatief snelle daling vrijwel constant op circa 1 meter onder maaiveld.

Wat drijft de bodemdaling aan? Afgezien van materiaalverlies door de oxidatie van geaëreerd organisch materiaal, zoals veen, is de bodemdaling door rijping het gevolg van het krimpen van de verdrogende grond. Krimp is in feite compactie onder de zuigspanning die zich in de poriën ontwikkelt. Daarnaast vindt ook compactie plaats omdat het effectieve gewicht, uitgedrukt in de korrelspanning, van de grond toeneemt als de hydrostatische waterdruk afneemt door verlaging van de grondwaterstand. Dit is dus ook het geval in het onverzadigde deel van het profiel, waar immers bij aanvang van de ontwatering het grondwater nog aan maaiveld stond. Zoals af te lezen valt aan de figuren neemt de hydrostatische druk (de stijghoogte op elke willekeurige diepte) eerst geleidelijk af en blijft dan na 1977 ongeveer gelijk. Met andere woorden, de korrelspanningen in het profiel nemen geleidelijk toe en blijven na 1977 ongeveer gelijk. De compactie wordt aangedreven door de relatieve verhoging van de korrelspanning op elke diepte. Uit de waarnemingen kunnen we de conclusie trekken, generaliserend over het gehele gebied, dat de relatieve verhoging van de korrelspanning overeenkomt met de huidige grondwaterdiepte.

Het model is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid, zowel de ruimtelijke verdeling van grond en water als de beschrijving van het bodemdalingsproces. Het bodemdalingsproces is vereenvoudigd door uit te gaan elastoplastische vervorming als functie van de korrelspanning, beschreven door een compactiecoëfficiënt, een soort veerconstante, en een permanente kruipvervorming als functie van de tijd. De elastoplastische vervorming is ook een functie van de tijd. Het grondskelet kan namelijk niet sneller compacteren dan de snelheid waarmee water uit de poriën kan worden geperst. De reactietijd van de grond (de tijd die ervoor nodig is voordat de spanningen weer in evenwicht zijn) is in het model een functie van de doorlatendheid. In

theorie maakt het niet uit of een spanningsverhoging ineens of in stapjes wordt aangebracht. Daarom is in het model de spanningsverhoging in een keer opgelegd. Wat is de spanningsverhoging? Theoretisch is dat de verlaging van de grondwaterstand, dus het verschil tussen de oorspronkelijke maaiveldhoogte en het huidige grondwaterniveau (cq. GLG) t.o.v. NAP. Hier maakt het model zelf een fout. Door de compactie zakt het grondprofiel als het ware in het grondwater, waardoor de effectieve grondwaterstandsverlaging afneemt. We moeten hiervoor dus compenseren. De fout zou te ondervangen zijn door in kleine tijdstappen te rekenen en in elke stap de laagdiktes aan te passen. Dit is rekentechnisch momenteel nog niet mogelijk. Gebruikelijk is om in plaats daarvan een kleinere spanningsverhoging op te leggen door een kleinere, virtuele verlaging van de grondwaterstand op te leggen. In dit geval is voor de effectieve modelspanningsverhoging de huidige grondwaterdiepte toegepast. Deze grondwaterdiepte is afgeleid uit de berekende huidige GLG (dus: maaiveldhoogte t.o.v. NAP (uit AHN1) minus GLG t.o.v. NAP (uit NHI) = grondwaterdiepte). Dit om recht te doen aan de ruimtelijke verdeling van grondwaterstanden. De bijbehorende verhoging van de korrelspanning in iedere grondlaag blijft gedurende de gehele rekenperiode onveranderd.

Uit de vergelijking van het gecorrigeerde model met de werkelijkheid blijkt vervolgens dat het toepassen van de huidige grondwaterdiepte als effectieve grondwaterstandsverlaging ook dicht in de buurt komt van de werkelijk opgetreden grondwaterstandsverlaging (t.o.v. maaiveld), in ieder geval in de voorbeeldlocaties. Er is wel een belangrijk verschil. Door de compactie verandert in werkelijkheid de relatieve positie van de laagscheidingen ten opzichte van de grondwaterspiegel. In het model blijft de freatische stijghoogte in iedere modellaag gelijk. Daar staat tegenover dat het ondergrondmodel is opgebouwd uit boorbeschrijvingen van verschillende ouderdom en daarom noch de initiële, noch de huidige grondopbouw precies weergeeft. Het gehanteerde model moet daarom als een gemiddelde van zowel de spanningstoestand als de laagopbouw in de tijd en de ruimte worden beschouwd.

Alle verschillen met de werkelijkheid zijn nu verwerkt in de calibratie van de compactieparameters, die over de periode 1985-1993 is uitgevoerd. De extrapolaties van de bodemdaling naar de toekomst zijn het resultaat van de initieel opgelegde verhoging van de korrelspanning. Als de grondwaterstand in werkelijkheid gelijk blijft ten opzichte van NAP en de grondwaterdiepte t.o.v. maaiveld vanaf heden in werkelijkheid dus afneemt, wordt de berekende bodemdaling toekomstige bodemdaling theoretisch licht overschat. Deze is gering omdat gezien de verstrekten tijd de hydrodynamische compactie al bijna volledig is opgetreden.

7.1.4 *Rijping en kleischeuren*

Rijping en compactie worden beide veroorzaakt door de toename van de korrelspanning. In eerste instantie zal vlak na het droogvallen de grondwaterstandsverlaging leiden tot het afstromen van overspannen poriënwater, wat leidt tot compactie. Wanneer een bepaalde mate van verdroging wordt bereikt zal de spanning in de poriën overgaan in een negatieve zuigspanning. Deze wordt nog bevorderd door de zuigende werking van de wortels van bijvoorbeeld de rietvegetatie die is aangeplant om de rijping te versnellen. Het is aannemelijk dat het compactieproces dat behoort bij de rijping een ander snelheidsverloop heeft dan de "geomechanische" compactie onder het toegenomen effectief gewicht van de grond, voornamelijk onder de grondwaterstand. Nu is met een gemiddelde compactiesnelheid en coëfficiënt gerekend over het gehele profiel. Nader onderzoek naar de mogelijkheid om alsnog te komen tot een onderscheid tussen deze twee compactieprocessen is daarvoor nodig.

Karakteristiek voor de sterk humeuze Almere-afzettingen in Zuidelijk en Oostelijk Flevoland zijn de zogenaamde 'kleischeuren'; grote doorgaande scheuren die ontstaan onder invloed van rijping, waarneembaar in de onverzadigde zone onder de bouwvoor en doorlopend tot aan het GLG niveau. Het is evident dat alle kleilagen scheurvorming ondergaan onder invloed van rijping. In de meeste gevallen leidt dit echter niet tot grote, wijde, doorgaande scheuren maar tot een fijnmazige structuur van relatief kleine scheuren. Deze 'normale' structuurvorming valt ons inziens niet onder het begrip kleischeuren.

Opgemerkt moet worden dat de aanwezigheid van kleischeuren, die tijdens de rijping zijn ontstaan, de drainage van de slappe lagen sterk hebben bevorderd. De variaties in mate van bodemdaling kunnen ook veroorzaakt worden door variaties in de mate van scheurvorming, omdat

scheuren de ontwatering (drainage) en daarmee de rijping bevorderen. Waar de grondwaterstand in het dieptebereik van het, doorgaans zandige, Pleistoceen ligt is de drainage zeer effectief. Bij aanwezigheid van kleisheuren zal de eindtoestand voor wat betreft de rijping daardoor sneller worden bereikt dan in een profiel zonder scheuren. Mogelijk leidt de aanwezigheid van kleisheuren uiteindelijk ook tot een lager vochtgehalte in de deklaag dan in een profiel zonder scheuren. De maaiveldddaling van een profiel met kleisheuren zou daardoor groter kunnen uitvallen dan van een profiel zonder scheuren. Het al dan niet aanwezig zijn van kleisheuren is daarmee één van de mogelijke verklaringen voor de relatief grote variaties in de maaiveldddaling en dalingssnelheid van de verschillende rijpingsterreinen (naast verschillen in samenstelling van het sediment en grondwaterstand).

Het effect van kleisheuren op de maaiveldddaling is in de modelberekening niet expliciet beschouwd. Zoals bovenstaand is beschreven zijn kleisheuren van invloed op de rijpingssnelheid en mogelijk ook op de totale maaiveldddaling door rijping. Dit effect is met de beschikbare gegevens niet te kwantificeren, zodat er uiteindelijk voor is gekozen om alleen compactie te modelleren. De maaiveldddaling door rijping, en daarmee ook de eventuele extra maaiveldddaling door kleisheuren, is in de modelberekeningen verdisconteerd in de compactie doordat het model is gecalibreerd op het waargenomen zaktingsverloop ter plaatse van de rijpingsterreinen. De maaiveldddaling door rijping en/of kleisheuren is daardoor wel impliciet in de prognoses van de maaiveldddaling meegenomen.

Onderzoek naar de verschillende componenten van de maaiveldddaling, waardoor de maaiveldddaling door rijping en compactie afzonderlijk kunnen worden beschouwd, zal de prognose van de toekomstige maaiveldddaling kunnen verbeteren.

Door een warmer en droger klimaat (W+ scenario) zal de GLG ook lager worden. Een indicatie van de klimaateffecten (gebaseerd op het W+ scenario) op de bodemdaling is weergegeven middels de in bijlage 10 en 11 opgenomen bodemdalingskaart en maaiveldhoogtekaart voor het jaar 2050.

7.1.5 Bodemdalingsmodel

In het bodemdalingsmodel wordt een logaritmische afname van de dikte aangenomen, waarbij ook rekening wordt gehouden met kruipgedrag. In het model wordt aangenomen dat de krimp die het gevolg is van de rijping isotroop verloopt en dat door het aansturend mechanisme van de zuigspanning in de poriën een gelijksoortige logaritmisch verlopende compactie ontstaat. De mate waarin de compactie onder eigen gewicht boven de grondwaterspiegel en die door de rijping van elkaar verschillen is echter niet bekend.

Daarnaast wordt een constante afbraaksnelheid van veenlagen aangehouden, gebaseerd op de metingen in veenweidegebieden. Daarbij wordt wel rekening gehouden met de aanwezigheid van eventueel aanwezig kleidek. In hoofdstuk 5 wordt al aangegeven dat er grote verschillen in organische stofgehalten zijn aangetroffen. Het is aannemelijk dat de oxidatiesnelheid daardoor een sterke variatie vertoont.

Aan de hand van de grafieken in bijlage 15 kan visueel worden beoordeeld of de berekende maaiveldddaling in de lijn ligt van het historisch verloop ter plaatse van de rijpingsterreinen. Hieruit kan worden geconcludeerd dat in Zuidelijk Flevoland voor een groot aantal terreinen een maaiveldddaling wordt berekend dat, visueel beschouwd, goed aansluit op het historisch verloop. In Oostelijk Flevoland valt de berekende maaiveldddaling daarentegen voor de meeste rijpingsterreinen lager uit dan op basis van het historisch maaivelddalingsverloop zou worden verwacht. Opvallend is daarbij ook dat op enkele terreinen in Oostelijk Flevoland juist grote dalingen worden berekend, veel groter dan op basis van het historisch maaivelddalingsverloop zou worden verwacht. Hoewel geen directe conclusies zijn te verbinden aan de oorzaak van bovengenoemde afwijkingen, kan op basis van deze visuele analyse worden geconcludeerd dat het uitvoeren van een calibratie van het model voor Oostelijke Flevoland sterk is aan te bevelen. Daarnaast kunnen de grafieken waar relatief grote afwijkingen worden geconstateerd (enkele terreinen in Zuidelijk Flevoland) worden gebruikt als indicatie voor de gebieden waar nader onderzoek vereist is naar de oorzaken van afwijkende berekeningsresultaten.

7.2 Consequenties voor de prognose

De bovengenoemde onzekerheden dragen bij aan de mate van betrouwbaarheid van de prognose. Zonder een groot aantal realisaties te berekenen van het totale model met inachtneming van de variatie in parameters en randvoorwaarden (ter vergelijking: voor het GeoTOP ondergrondmodel worden minimaal 100 realisaties berekend) is het niet mogelijk om een objectieve kwantitatieve maat voor de betrouwbaarheid vast te stellen. Alle afwijkingen van de werkelijkheid zijn versleuteld in de calibratie van de compactieparameters. In de veronderstelling dat de huidige en toekomstige daling zich gedraagt volgens de relaties die zijn opgesteld voor de meetperiode 1985-1993, is een objectieve toets de vergelijking van de prognose voor 2011 en de in 2011 gemeten dalingen op de rijpingsterreinen (zie figuur 6.5).

Tabel 7.1: Verschil maaiveldhoogten rijpingsterreinen 1993 - 2011

	Maaiveld daling 1993-2011 [m]						Verschil model-meting		
	gemeten	berekend	gemeten	berekend	gemeten	berekend	totaal	ZF	OF
	totaal	totaal	ZF	ZF	OF	OF			
gemiddeld	-0,1589	-0,1221	-0,2299	-0,1731	-0,0800	-0,0476	0,0340	0,0252	0,0436
maximaal	0,0172	-0,0009	-0,0727	-0,0033	0,0172	-0,0009	0,2131	0,2131	0,1259
minimaal	-0,1636	-0,3835	-0,4631	-0,3835	-0,1637	-0,2830	-0,1307	-0,1307	-0,0944
st.deviation	0,0518	0,1184	0,1031	0,1161	0,0518	0,0772	0,0871	0,1019	0,0714

NB: daling is negatief, verschil tussen prognose en meting positief: gemeten daling is groter

In tabel 7.1 zijn de verschillen in maaiveldhoogte tussen 1993 en 2011 aangegeven voor de 21 gemeten rijpingsterreinen, en de verschillen tussen meting en modelresultaat. Hieruit blijkt dat de prognose in het algemeen een onderschatting van de daling geeft. Er is een opmerkelijk verschil tussen Zuidelijk en Oostelijk Flevoland. Het verschil tussen prognose en meting in Zuidelijk Flevoland is gemiddeld 2,5 cm op een gemiddelde daling van 23 cm. In Oostelijk Flevoland is het verschil gemiddeld 4 cm op een gemiddelde daling van 8 cm. De sterkste daling wordt berekend in gebieden waar het ondergrondmodel veen boven de GLG laat zien. In Oostelijk Flevoland blijkt vooral het gebied waar het model aan de oppervlakte zandige klei laat zien een onderschatte daling op te leveren. Een verklaring hiervoor is waarschijnlijk dat het aandeel van de rijping in de totale daling groter is dan in Zuidelijk Flevoland, waardoor die in de parameters onderschat wordt.

De grotere detaillering in de detailgebieden komt vooral tot uiting in de ruimtelijke verdeling van de daling (zie bijlage 13). Numeriek zijn er weinig verschillen, zoals in tabel 7.2 is te zien.

Tabel 7.2: Numerieke verschillen

1993-2011	Minimum	Maximum	Gemiddeld	St. dev.
zfl1 detail	-0,72	0,00	-0,23	0,13
zfl1 250	-0,67	0,00	-0,26	0,14
zfl2 detail	-0,45	0,00	-0,11	0,08
zfl2 250	-0,38	0,00	-0,16	0,10
ofl detail	-0,60	0,00	-0,15	0,13
ofl 250	-0,48	0,00	-0,15	0,13
nop detail	-0,11	0,00	-0,04	0,03
nop 250	-0,13	0,00	-0,06	0,04

Bij het werken met een multiparameter calibratie worden de parameters door een aantal iteraties zo aangepast dat ze berekende tijdreeksen opleveren die het best overeenkomen met de gemeten tijdreeksen, individueel of in ons geval de hele set van Zuidelijk Flevoland. Nu zijn al-

leen de parameters aangepast die de compactie beschrijven. De uitkomst kan vergeleken worden met een controleset. In dit geval bestaat die eigenlijk uit twee sets: de meetwaarden van 2011 in Zuidelijk Flevoland, die niet zijn gebruikt in de calibratie en de tijdreeksen van Oostelijk Flevoland. Voor beide sets is van het verschil tussen berekende en gemeten waarde het gemiddelde, minimum, maximum en standaarddeviatie bepaald. De bandbreedte tussen minimum en maximum verschil kan als de maximale bandbreedte worden beschouwd voor de toegepaste parameters en randvoorwaarden, zoals ondergrondmodel, grondwaterstand en -verandering, oxidatiesnelheid. De bij de berekening van de daling ingevoerde randvoorwaarden kunnen ook worden gevarieerd. Dit zal resulteren in een andere compactieparameterset. De fit zal beter of slechter worden en de bandbreedte van de verschillen zal ook veranderen. Om de invloed van de variatie in de randvoorwaarden in beeld te brengen, zijn meerdere realisaties nodig waarbij bijvoorbeeld de grondwaterstand wordt gevarieerd. Omdat hierover momenteel te weinig informatie beschikbaar is, zijn deze realisaties nu niet zinvol. We kunnen in dit stadium speculeren dat afwijkingen van de gemeten waarden veroorzaakt worden door andere grondwaterstand, laagopbouw of veenoxidatie of een anders verlopende rijping. We nemen aan dat de bandbreedte die is afgeleid uit de rijpingsterreinen geldig is voor het gehele gebied. In Zuidelijk Flevoland is de standaarddeviatie van de verschillen klein ten opzichte van het gemiddelde. In Oostelijk Flevoland is de standaarddeviatie groot.

7.3 Verschil tussen deze en voorgaande prognoses

De voorgaande prognoses waren gebaseerd op extrapolaties van de daling van de individuele rijpingsterreinen. In de eerste prognoses werden deze gebaseerd op de relatie in de tijd tussen de rijpingsgraad, de diepte en grondgesteldheid. Later, toen de rijpingsrelaties niet bleken te voldoen en tot onderschatting van de daling bleken te leiden, is de nadruk komen te liggen op een empirische fit van de tijdreeksen. Uit hoofdstuk 5 blijkt dat ook nu de voorgaande prognoses van 100 jaar eerder zullen worden bereikt. Het ruimtelijk beeld werd in de voorgaande prognoses [3] gebaseerd op een eenvoudige interpolatie tussen de rijpingsterreinen, met uitzondering van de Noordoostpolder, waar een dalingsverwachting per peilvak globaal werd berekend. De onzekerheidsmarges werden daarbij alleen gebaseerd op de onzekerheid van deze interpolatie. In het huidige model is geen sprake meer van een interpolatie. De voorwaarts berekende daling in het gehele gebied is per voxel van 250x250 m bepaald op basis van de verwachting van het ondergrondmodel en de grondwaterstand ter plaatse, en compactieparameters bepaald in een calibratie aan het zakkingsverloop tussen 1985 en 1993 op de rijpingsterreinen van Zuidelijk Flevoland. Als zodanig doet het model direct recht aan de variatie in de ondergrond en de grondwaterstand.

7.4 Conclusies

De prognose voor Zuidelijk Flevoland voldoet binnen redelijke grenzen. De verschillen tussen meting en prognose in Oostelijk Flevoland zijn te groot. De lage waarden voor de voorspelde daling wijzen erop dat het rijpingsproces hier niet goed gemodelleerd wordt voor de profielen met zandige klei. Het is daarom nodig om voor Oostelijk Flevoland een aparte calibratie uit te voeren. De nog optredende daling wijst erop dat het vochtgehalte in het profiel nog steeds afneemt. Dit is in overeenstemming met de bevindingen in hoofdstuk 5, waar geconstateerd wordt dat er aanwijzingen zijn dat de rijpingsgraad nog niet volledig is ontwikkeld. De rijping gaat bovendien door als door een warmer wordend klimaat de grondwaterstand nog daalt. De extra maaiveld daling in Flevoland zal daardoor in 2050 circa 10-20 cm bedragen, afhankelijk van de feitelijke oxidatiesnelheid.

Het advies is om monitoringslocaties in te richten, zodanig dat het mogelijk is om (de oorzaken van) de maaiveld daling beter te kunnen kwantificeren.

De patronen van daling komen in de gehele provincie wel overeen met de expressie van de topografie in het AHN. In de gebieden met veen is ook in het AHN een depressie te zien. Een voorbeeld hiervan is het gebied langs de dijk ten westen van Swifterband. Door het veen in de ondiepe ondergrond wordt hier een sterke daling berekend, maar het rijpingsterrein in de buurt vertoont deze niet. Het terrein ligt net buiten het veengebied.

De bodemdaling in de Noordoostpolder wordt gedomineerd door de oxidatie van veen. De residuele daling door rijping is wegens de ouderdom van de polder een orde kleiner.

Het gebruik van een meer gedetailleerd ondergrondmodel levert geen significante verschillen in bodemdaling op. Wel is de ruimtelijke verdeling beter gedefinieerd en moet worden bedacht dat bij de gedetailleerde modellering geen aanpassing van hoogteligging of laagdikte door daling in de boorbeschrijvingen is aangebracht. Bij het opstellen van het GeoTOP model in de nabije toekomst is dit een eigenaardigheid van met name de boringen in Flevoland, waar TNO rekening mee zal moeten houden.

8 Bodemdalingskaart Flevoland 2011

8.1 Kaartbeelden Bodemdalingskaart Flevoland 2011

De resultaten van de modelberekeningen zijn gepresenteerd in de vorm van bodemdalings- en maaiveldhoogtekaarten ten opzichte van 2011 voor de jaren 2018, 2024, 2030, 2036, 2042, 2050 en 2100. Op A3-formaat zijn de bodemdalingskaarten Flevoland 2011-2100 opgenomen in bijlage 10 en de maaiveldhoogtekaarten Flevoland 2011-2100 zijn terug te vinden in bijlage 11.

Op de bijgevoegde Bodemdalingskaart W+ scenario is bij het bepalen van de bodemdaling in het jaar 2050 rekening gehouden met de effecten als gevolg van klimaatverandering. Uitgangspunt daarbij is dat het grondwaterniveau zal gaan dalen. Het W+ scenario is berekend op basis van de gemiddeld laagste grondwaterstand uit het NHI. Wat opvalt is dat dit een relatief groot effect heeft op de maaiveldddaling ten noorden van Lelystad, waar volgens de nu beschikbare informatie al op gering diepte veen wordt aangetroffen, dat als gevolg van een diepere ontwatering zal gaan oxideren.

8.1.1 *Vergelijking met Bodemdalingskaart Flevoland 2005*

De Bodemdalingskaart Flevoland 2005 is het resultaat van een extrapolatie van de op de door De Rijk in Flevovericht 388 [2] afgegeven voorspelling van de bodemdaling die is gecorrigeerd op basis van de toen beschikbare hoogtemetingen en de AHN-1. Voor het verkrijgen van een vlakdekkend beeld is tevens gebruik gemaakt van de bodemkaart. Mede daardoor vertoont de bodemdalingskaart grote overeenkomsten met de bodemkaart.

Voor het samenstellen van de bodemdalingskaart 2011 is gebruik gemaakt van het ondergrondmodel, dat is gevoed met een groot aantal profielopnamen die inzicht geven in de dikte en samenstelling van de deklaag. Per oppervlakte-eenheid van 250x250 m is het meest waarschijnlijke bodemprofiel bepaald. Het zo vervaardigde 3-dimensionale model vormt de basis voor de per profiel uitgevoerde berekening van de bodemdaling vanaf het moment van inpoldering. Voor het bepalen van de actuele maaiveldhoogten is gebruik gemaakt van het AHN-2 bestand, dat mede gebaseerd op de resultaten van de aanvullend uitgevoerde terreinmetingen is te beschouwen als een betrouwbare onderligger voor de bodemdalingskaart.

In de berekeningen is uitgegaan van de belangrijkste oorzaken van de bodemdaling, namelijk oxidatie en compactie van veen en de rijping en compactie van klei. Gegevens over het historisch maaiveldverloop op de rijpingsterreinen in zuidelijk Flevoland zijn gebruikt om het ondergrondmodel te calibreren. Zodoende is door gebruik te maken van een gedetailleerd en geactualiseerd model van de opbouw van de bodem en de meest recente maaiveldhoogten een ruimtelijk gedifferentieerd beeld van de toekomstige bodemdaling berekend.

Er is gebaseerd op de het kennisdocument [1] bewust gekozen voor een op de ondergrond gebaseerd model, met als consequentie dat dit in verschillende deelgebieden een niet eerder voorspelde bodemdaling oplevert. In de bodemdalingskaart 2005 komen deze gebieden niet als zodanig naar voren, vooral doordat er in deze specifieke gebieden geen rijpingsterreinen liggen en er geen rekening is gehouden met de variatie in de profielopbouw (diepere ondergrond). Enkele gebieden die opvallen liggen rond Almere en ten noordoosten van Lelystad, evenals een strook met veen in de ondergrond ten oosten van Dronten. De hier berekende bodemdaling wordt gedomineerd door oxidatie van het volgens het ondergrondmodel aanwezige veen. In Oostelijk Flevoland laat de geactualiseerde kaart een minder grote bodemdaling zien dan de oude kaartbeelden (Bodemdalingskaart 2005). De verwachting is echter dat er hier sprake is van een zekere onderschatting van de nog optredende bodemdaling. De nog te verwachten

bodemdaling is in belangrijke mate het gevolg van rijping van de aanwezige kleilagen en dus in sterke mate afhankelijk van het grondwaterniveau.

De nog te verwachten bodemdaling bij Schokland en ten noordwesten van Emmeloord is iets kleiner dan bij de vorige prognoses. Het verschil wordt veroorzaakt door het aandeel veenoxidatie en de aangenomen grondwaterstand.

De rol van oxidatie van veenlagen in zowel Zuidelijk als Oostelijk Flevoland (ZOF) en de Noord-oostpolder is ongeveer gelijk, maar wel afhankelijk van dikte- en oxidatiesnelheidsverschillen. In de 2005 is bij de interpolatie in de ZOF geen rekening gehouden met de ruimtelijke verschillen in bodemopbouw. In de gehele provincie komen kleinere gebieden voor met ondiepe veenlagen. De patronen in de gemodelleerde daling zijn herkenbaar in de patronen van de laagten in het AHN. In de kaart van 2005 zijn deze patronen door de interpolatie tussen de rijpingsterreinen niet zichtbaar.

Ter vergelijking zijn in bijlage 14 de bodemdalingskaarten 2005 en 2011 voor het jaar 2050 naast elkaar weergegeven.

8.1.2 *Vergelijking met overige prognoses*

Naast de provinciedekkende prognose van de toekomstige bodemdaling uit 2005 zijn voor twee specifieke locaties in de Noordoostpolder prognoses van de bodemdaling opgesteld. Dit betreft het gebied rondom Schokland [11] en een gebied ten noordwesten van Schokland [12]. Voor de beide gebieden is een prognose gegeven van de te verwachten bodemdaling c.q. de maaiveldhoogte in 2050. Deze prognoses wijken sterk af van de hier opgestelde prognose van de bodemdaling tot 2050. Zowel de omvang van de bodemdaling in kwantitatieve zin, als de ruimtelijke spreiding van gebieden waar een grote of juist geringe bodemdaling is te verwachten, vertoont weinig overeenkomsten. Het is niet eenvoudig om aan te geven aan welke prognose een hogere waarde moet worden toegekend, omdat zowel de gevolgde methodiek als de gebruikte basisgegevens voor het opstellen van de prognoses sterk verschillen.

Voor de beide bovengenoemde studies geldt dat gebruik is gemaakt van meer gedetailleerde meetgegevens van de grondwaterstanden in de onderzochte plangebieden dan in de voorliggende modelstudie (met grondwaterstanden ontleend aan het NHI). Dit is naar verwachting van grote invloed op vooral de oxidatie van veenlagen, die in de betreffende gebieden veelvuldig voorkomen en/of in terreinen met een geaccidenteerde maaiveldhoogte (zoals Schokland). Het toegepaste model (met voxels van 250x250 m) is voor een gebied als Schokland, met een breedte van 1 à 2 voxels, minder geschikt omdat de lokale verschillen in maaiveldhoogte en bodemopbouw sterk worden gegeneraliseerd. Daarentegen is in zowel [11] als [12] gebruikt gemaakt van maaiveldhoogten ontleend aan het AHN-1, waarvan mag worden aangenomen dat er (plaatselijk) grote afwijkingen in voorkomen. Bovendien geldt dat in [12] voor de prognose van de bodemdaling uitsluitend gebruikt is gemaakt van de informatie over de ondiepe bodemopbouw (ontleend aan de Bodemkaart van Nederland). In [11] daarentegen zijn lokaal uitgevoerde boringen tot aan de Pleistocene zandondergrond gebruikt. Maar deze boringen zijn dan weer niet toegevoegd aan DINO en dus ook niet in het model opgenomen.

Resumerend kunnen de uitkomsten van de verschillende bodemdalingprognoses, doordat zowel de gevolgde methodiek als de gebruikte basisinformatie verschilt, niet objectief met elkaar worden vergeleken. Het is in deze aan te bevelen in toekomstige detailstudies een vergelijkbare methodiek te volgen als in de voorliggende studie, waarbij de verschillende componenten van de maaiveldddaling procesmatig worden beschouwd, en uitsluitend de resolutie te vergroten. Voorts wordt aanbevolen alle nieuw uitgevoerde boringen ten behoeve van dergelijke studies minimaal toe te voegen aan DINO om deze te ontsluiten voor toekomstig gebruik.

8.2 Gebruiksmogelijkheden Bodemdalingskaart Flevoland 2011

De bodemdalingskaart Flevoland 2011 is een modelmatige benadering van de processen die bodemdaling veroorzaken. Puntinformatie is op basis van al de beschikbare gegevens via interpolatie omgezet naar vlakdekkende kaartbeelden. Daarom geven de gepresenteerde bodemdalingskaarten een zo reëel mogelijk beeld van de te verwachten bodemdaling in het betreffende jaar, maar zijn de kaarten niet te gebruiken om op perceelniveau een voorspelling te doen van de te verwachten bodemdaling. Wel bieden de kaarten een goede basis voor onder andere de in het kader van het NBW te maken beleidskeuzes.

8.2.1 Toekomstige peilbesluiten

Peilbesluiten worden door het waterschap Zuiderzeeland in principe vastgesteld voor een periode van 10 jaar.

Voor het bepalen van de effecten van de bodemdaling op het peilbesluit volstaat derhalve een voorspellende waarde over een tijdvak van circa 10 jaar. Nadien zal ten behoeve van het actualiseren van de peilbesluiten gebruik worden gemaakt van de meest actuele voorspellingen. Indien de voorliggende bodemdalingskaart na het uitkomen van een geactualiseerde AHN en mede op basis van de meest recente bodeminformatie wordt vernieuwd, biedt dit voldoende houvast voor het actualiseren van de peilbesluiten.

8.2.2 Archeologie

In de polders liggen meerdere archeologisch waardevolle gebieden en archeologische waarden in de ondergrond opgeslagen. Door verstoring van de context of directe aantasting kunnen de archeologische waarden worden aangetast of zelfs verloren gaan. Met behulp van de bodemdalingskaart is het mogelijk de gebieden te selecteren waar als gevolg van bodemdaling de kans op verstoring het grootst is. Voor de archeologen is de bodemdalingskaart vooral te gebruiken als signaleringskaart.

Opgemerkt moet worden dat de kaart niet direct te gebruiken is voor het beoordelen van eventuele effecten als (locaal) bijvoorbeeld de waterpeilen worden opgezet of verlaagd. In voorkomende situaties is het gewenst om eerst de hydrologische effecten te berekenen en vervolgens per deelgebied een analyse te maken van de effecten op de bodemdaling.

8.2.3 Nieuwe stedelijke ontwikkelingen

Indien de percelen aan de landbouw worden onttrokken voor bijvoorbeeld een stedelijke uitbreiding, dan is het vooral in het kader van het beheer en onderhoud van de nieuwe omgeving (onder- en bovengrondse infrastructuur) van belang inzicht te hebben in de toekomstige maaiveld-daling. De effecten als gevolg van bodemdaling kunnen namelijk sterk drukken op de beheerkosten van nieuwe stedelijke uitbreidingen en de (ondergrondse) infrastructuur e.d. Als gevolg van maaiveld-daling kunnen verhardingen en rioleringsystemen gaan verzakken en is tussentijds herstel noodzakelijk. Doorgaans zijn dergelijke (grootschalige) herstelwerkzaamheden niet in de exploitatie opgenomen. Daarom wordt ten behoeve van stedelijke uitbreidingen veelal uitgegaan van een restzettingscriterium van 10 cm. Indien op basis van zettingberekeningen wordt aangetoond dat er grotere zettingen te verwachten zijn, zullen veelal zettingversnellende maatregelen worden toegepast.

De bodemdalingskaart biedt geen mogelijkheden om de zettingen als gevolg van veranderingen in de belastingssituatie als gevolg van ophogingen en grondverbeteringen en/of bewuste veranderingen in de waterhuishoudkundige situatie in kaart te brengen, maar kan wel helpen een keuze te maken bij het bepalen van de locaties waar de minste bodemdaling te verwachten is en doorgaans ook de minste ingrepen noodzakelijk zullen zijn om de betreffende locatie op een verantwoorde wijze bouwrijp te maken. In gebieden met een relatief grote bodemdaling kunnen de negatieve effecten worden beperkt door de te ontwikkelen locaties zorgvuldig bouwrijp te maken en hiervoor ook voldoende tijd uit te trekken.

8.2.4 Landbouw

In de provincie Flevoland neemt de landbouw een prominente plaats in. Mede daarom is het van belang inzicht te hebben in de (economische) ontwikkelingsmogelijkheden voor de landbouw. Enkele in dit kader te stellen vragen zijn: in welke gebieden kan wateroverlast gaan ont-

staan?; kan bodemdaling een toename van zoute kwel in de Noordoostpolder tot gevolg hebben?; wat zijn de economische gevolgen van bodemdaling op de langere termijn?

Uitgaande van een gelijkblijvende waterhuishoudkundige situatie kan de bodemdalingskaart de nodige informatie leveren. Er zijn gebieden aan te wijzen waar de bodemdaling beperkt zal zijn, en de landbouwkundige gebruiksmogelijkheden niet beïnvloed. Voor de gebieden waar in de toekomst nog een aanzienlijke bodemdaling te verwachten is, geldt dat er keuzes gemaakt moeten worden. Als gevolg van maaiveldddaling zal de waterhuishoudkundige situatie (ontwateringstoestand) gaan veranderen, wat een beperking van de landbouwkundige gebruiksmogelijkheden tot gevolg kan hebben. Afhankelijk van de snelheid waarmee de processen verlopen, zal op enig moment de keuze gemaakt moeten worden tussen ingrijpen in de waterhuishoudkundige situatie danwel het herzien van de landbouwkundige doelstellingen.

8.3 Beheer Bodemdalingskaart Flevoland 2011

8.3.1 Maaiveldhoogten

Het AHN geeft een gedetailleerd, vlakdekkend beeld van de maaiveldhoogten. Het AHN-1 blijkt echter nog onvoldoende betrouwbaar voor het analyseren van (relatief beperkte) maaivelddalings in de tijd. De meetfout in de maaiveldhoogtebepaling is daarvoor simpelweg te groot. Het AHN-2 lijkt wel voldoende nauwkeurig voor een dergelijke analyse, maar is op dit moment het enige vlakdekkende bruikbare hoogtebestand. De verwachting is daarom dat met het verschijnen van het AHN-3 een gedetailleerde vlakdekkende analyse van de maaiveldddaling voor de gehele provincie Flevoland kan worden uitgevoerd. Op dit moment kan deze vlakdekkende analyse nog niet worden uitgevoerd en kan met het AHN-2 uitsluitend worden gerelateerd aan puntwaarnemingen uit het verleden, oftewel de laatste hoogtemeting van de rijpingsterreinen in Oostelijk en Zuidelijk Flevoland in 1992/1993.

Afhankelijk van de frequentie waarmee toekomstige AHN-metingen worden uitgevoerd en de wensen ten aanzien van het volgen van de maaiveldddaling en zo mogelijk het daarmee prognosticeren van de toekomstige maaiveldddaling kan het wenselijk zijn extra metingen van de maaiveldddaling te verrichten. Hierbij moet in overweging worden genomen dat van jaar tot jaar aanzienlijke fluctuaties in de afgeleide maaiveldddaling voorkomen (getuige de historische jaarlijkse metingen van RIJP). Mede vanwege de beperkte omvang van nog te verwachten daling kunnen dergelijke fluctuaties in de maaiveldhoogte van grote invloed zijn op de af te leiden maaivelddalings. Het zal daarom waarschijnlijk niet mogelijk blijken om rond 2020 een betrouwbare afleiding te maken van de bodemdaling 2011-2020 op basis van alleen het AHN-2 en het AHN-3. Het verdient aanbeveling frequentere hoogtemetingen uit te voeren om het effect van jaarlijkse fluctuaties uit te kunnen middelen. Hierbij moet dan worden gedacht om minimaal een meting om de 3 à 5 jaar.

8.3.2 Bodemdata

De gepresenteerde bodemdalingskaart Flevoland is het resultaat van de uitgevoerde modelanalyse op basis van de nu beschikbare gegevens. De betrouwbaarheid van de kaartbeelden zal groter worden als er gebruik kan worden gemaakt van de meest recente bodemdata, bestaande uit een nauwkeurige beschrijving van de profielopbouw en de fysische bodemeigenschappen van de te onderscheiden lagen. Voor een optimaal gebruik dienen de boringen te worden doorgezet tot op de vaste zandondergrond (Pleistocene zand) en is het van belang om ter plaatse het actuele maaiveldniveau in te meten en de x en y coördinaten te bepalen. Geadviseerd wordt om jaarlijks de door de provincie Flevoland en het waterschap Zuiderzeeland uitgevoerde boringen te bundelen en deze op te laten nemen in de DINO database.

8.3.3 Grondwaterstanden

Voor de analyse van het grondwaterstands- en stijghoogteverloop sinds de inpoldering is gebruik gemaakt van de in de DINO database opgegeven stijghoogten en freatische grondwaterstanden (beperkt aantal waarnemingen). Voor het model is vlakdekkende informatie over de freatische grondwaterstand ontleend aan het NHI. Deze data is beperkt gecontroleerd aan de hand van metingen in een beperkt aantal freatische peilbuizen in de DINO database en veldschatting van de laagste grondwaterstanden ter plaatse van de uitgevoerde boringen. Op grond

van deze controle wordt het NHI beschouwd als een redelijk betrouwbare c.q. de best mogelijke, vlakdekkende benadering van de freatische grondwaterstand. Echter, de fout in de geschatte freatische grondwaterstand zal in de orde grootte van enkele decimeters kunnen bedragen.

Omdat de het verloop van de grondwaterstanden direct bepalend is voor de processen die bodemdaling veroorzaken, is het aan te bevelen om de freatische grondwaterstanden gedetailleerder in beeld te brengen. Daarom wordt geadviseerd om een inventarisatie te maken van bekende en bruikbare meetpunten. Na controle en eventuele herstelmaatregelen kunnen deze met een zekere regelmaat worden opgenomen. In de gebieden waar geen meetpunten aanwezig zijn, kunnen nieuwe peilbuizen aan het grondwatermeetnet worden toegevoegd.

8.3.4 Actualisatie van de bodemdalingskaart

Gezien de optredende maaiveldddaling in de eerste jaren, heeft het geen toegevoegde waarde om de bodemdalingskaart al op korte termijn te actualiseren. Een logisch moment is om de bodemdalingskaart te actualiseren zodra het AHN-3 beschikbaar komt. Zoals reeds gesteld in 6.3.1 is de verwachting dat het 'verschilplaatje' van het AHN-2 en AHN-3 geen exact inzicht geven in de opgetreden maaiveldddaling sinds 2009. Het is aannemelijk dat in grote delen van de provincie maaiveldddalingen zullen optreden die binnen de bandbreedte liggen van de gesommeerde meetfout van het AHN-2, het AHN-3 en de periodieke fluctuaties van de maaiveldhoogte. Het wordt zelfs waarschijnlijk geacht dat de gesommeerde meetfout plaatselijk de opgetreden maaiveldddaling zal overschrijden en een negatieve bodemdaling zal worden herleid. De vergelijking van het AHN-3 en AHN-2 zal daarom vooral een algemeen beeld geven van gebieden die meer of minder zakken en geeft een indicatie van de gemiddelde zakking in deze gebieden. Er moet niet vanuit worden gegaan dat hiermee een betrouwbare afleiding van maaiveldddaling op perceelsniveau kan worden gemaakt.

Wanneer de wens bestaat de prognoses van de toekomstige bodemdaling periodiek bij te stellen aan de hand van metingen, wordt aanbevolen de maaiveldhoogten van specifieke terreinen frequenter uit te voeren. Het lijkt op dit moment meest logisch hiervoor een selectie uit de rijpingsterreinen van RIJP te maken. Op deze locatie dient bij voorkeur ook de grondwaterstand te worden onderzocht en dient minimaal een gedetailleerd inzicht in de actuele bodemopbouw tot op de vaste zandondergrond te worden gegeven. Een overweging is het plaatsen van enkele grondankers om nader inzicht te krijgen in de volume-afname van de verschillende grondlagen en/of het aandeel van rijping en compactie in de totale maaiveldddaling.

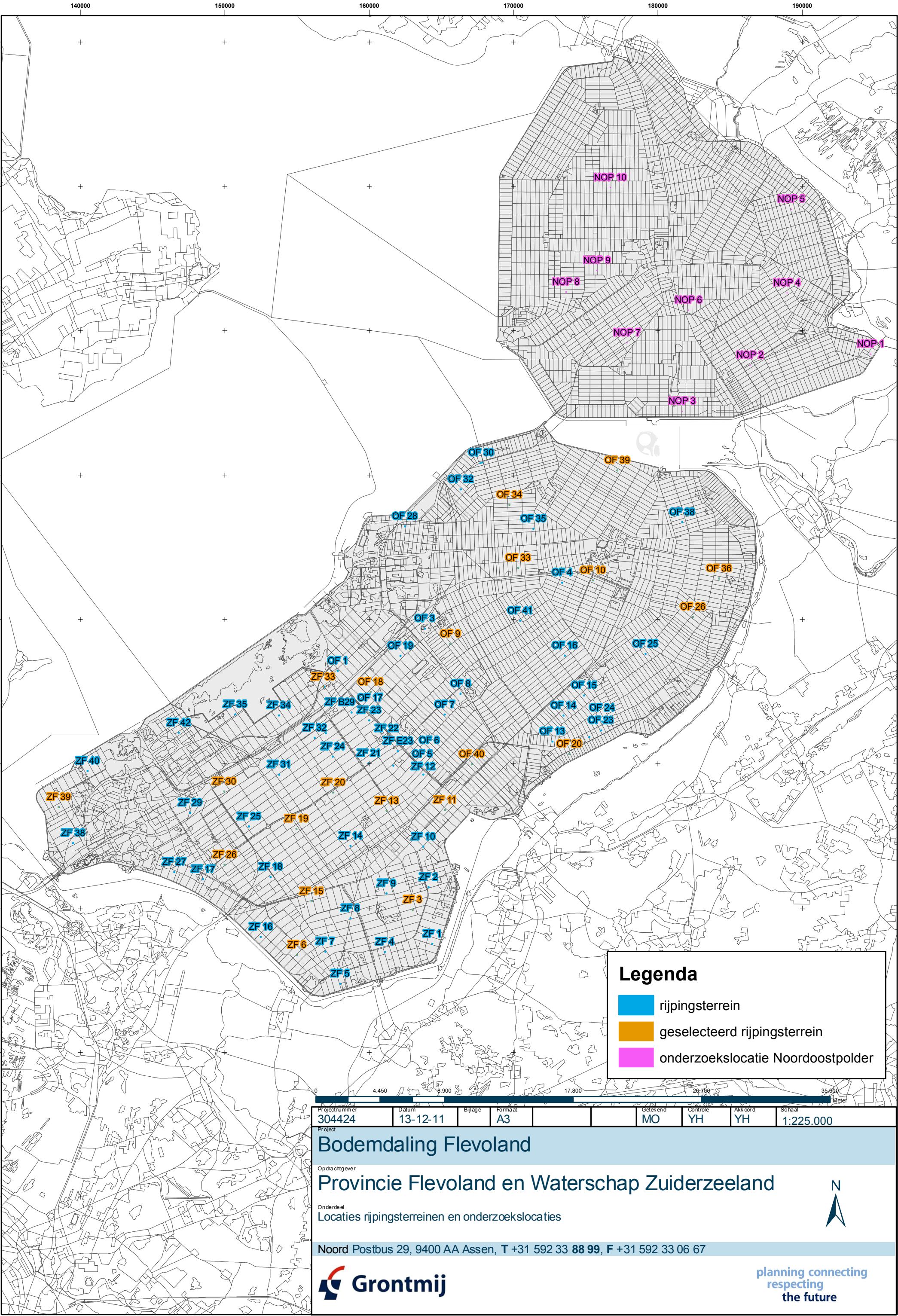
Het aantal meetpunten is sterk afhankelijk voor het volgen van de maaiveldddaling is sterk afhankelijk van het betrouwbaarheidsniveau waarmee inzicht in de maaiveldddaling vereist is. Wij stellen ons voor dat een aantal locaties worden geselecteerd in gebieden die uit overweging van waterbeheersing (of andere factoren) een bijzondere interesse hebben en dat periodiek (bijv. naar aanleiding van vergelijking AHN-2 en AHN-3) terreinen zullen afvallen of worden toegevoegd.

Literatuuroverzicht en informatiebronnen

- [1] TNO/Deltares en Alterra
Kennisdocument Bodemdaling (TNO rapport dd 11 november 2010).
- [2] Dooremolen, W.A. van, A. van der Scheer en H.J. Winkels, september 1996
Waarnemingen en prognoses van maaiveldsdaling in Flevoland, Flevovericht 388, ministerie van Verkeer en Waterstaat.
- [3] Witteveen en Bos, 25 januari 2005
Bodemdalingskaart Flevopolder en Noordoostpolder
- [4] Arcadis, 27 januari 2011-12-16
Veldonderzoek Kleischeuren en advies vervolgmaatregelen Oostvaarerswold
- [5] Scheer, A. van der, 1979
De verhouding (b) tussen het waterbindend vermogen van de organische stof en van de lutumfractie in verschillende afzettingen in het IJsselmeergebied, Flevovericht 143, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders
- [6] Rijniersce, K., 1983
Een model voor de simulatie van de het fysische rijpingsproces van gronden in de IJsselmeerpolders, Van Zee tot Land nr. 52
- [7] Glopper, R.J. de, 1973
Na inpoldering optredende inklinking van brakke en mariene afzettingen in IJsselmeer-, wadden- en deltagebied, intern rapport nr. 326, Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders
- [8] Zon, N. van der, 25 oktober 2010
Kwaliteitsdocument AHN-2, release 1.0, digitaal beschikbaar via www.ahn.nl
- [9] Kooi, H. (1998). Land subsidence due to compaction in the coastal area of The Netherlands: the role of lateral fluid flow and constraints from well-log data. Global and Planetary change, v. 27, p7-32.
- [10] Stiboka, Bodemkaart van Nederland schaal 1:50.000, kaartbladen 15W en 15O, 16W en 16O, 20W(ged)+O en 21O, 26O en 27W
- [11] Gotjé, W., M. Kramer, F. Wit en P. Schippers, 14 april 2010
Bodemkartering Schokland: Analyse bodemkundige situatie en consequenties voor behoud van bodemarchief en agrarisch gebruik. Grontmij
- [12] Nieuwenhuis, R. en M. de Jonge, 30 december 2010
Gebiedsproces NW Schokland, deelrapporten I en II. Waterschap Zuiderzeeland

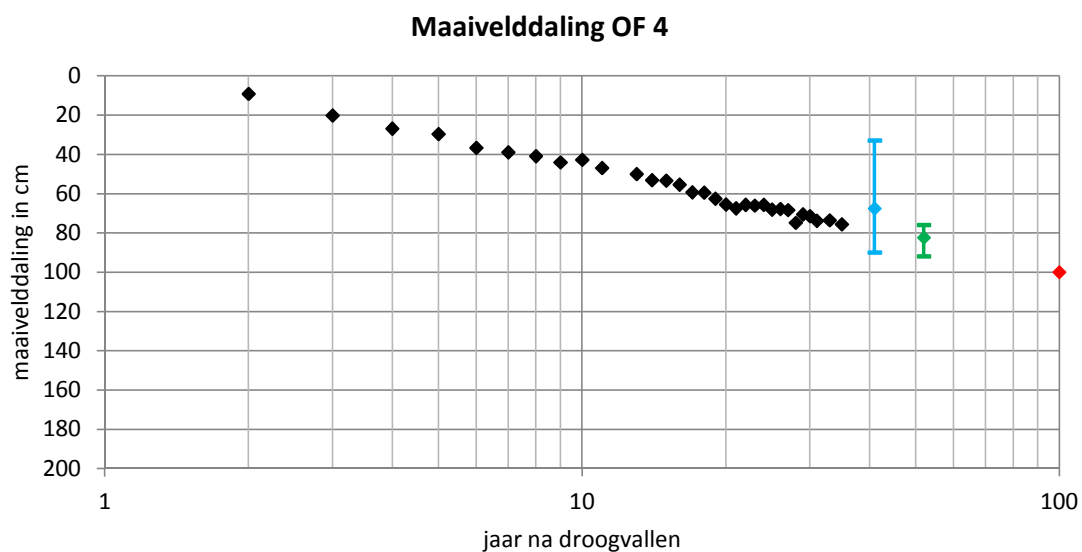
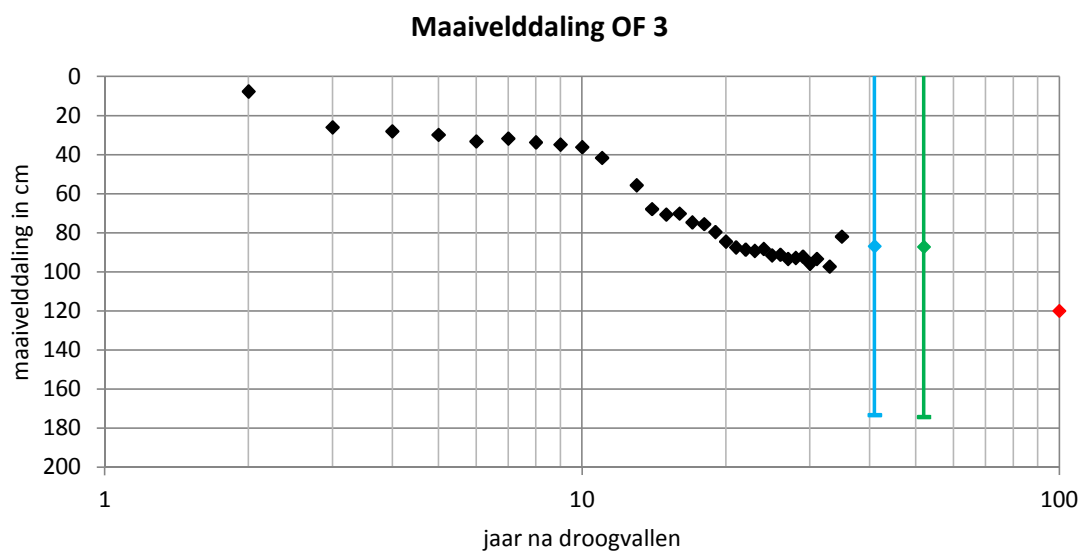
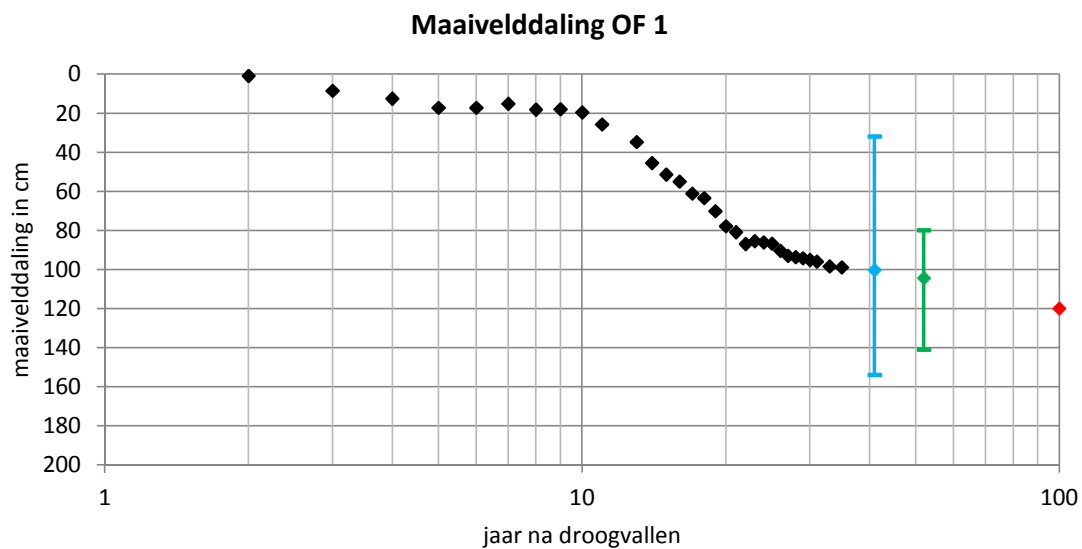
Bijlage 1

Ligging rijpingsterreinen

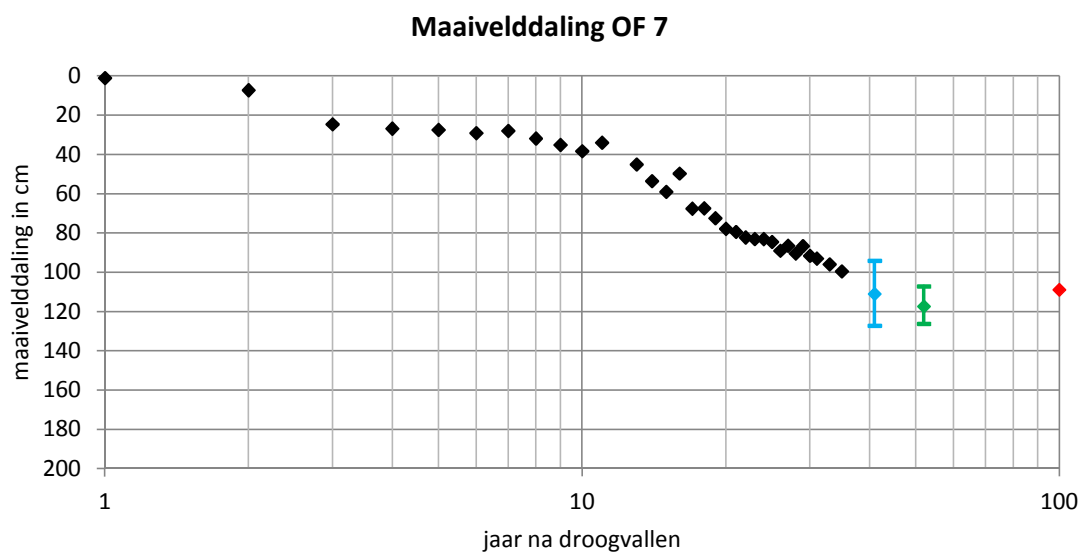
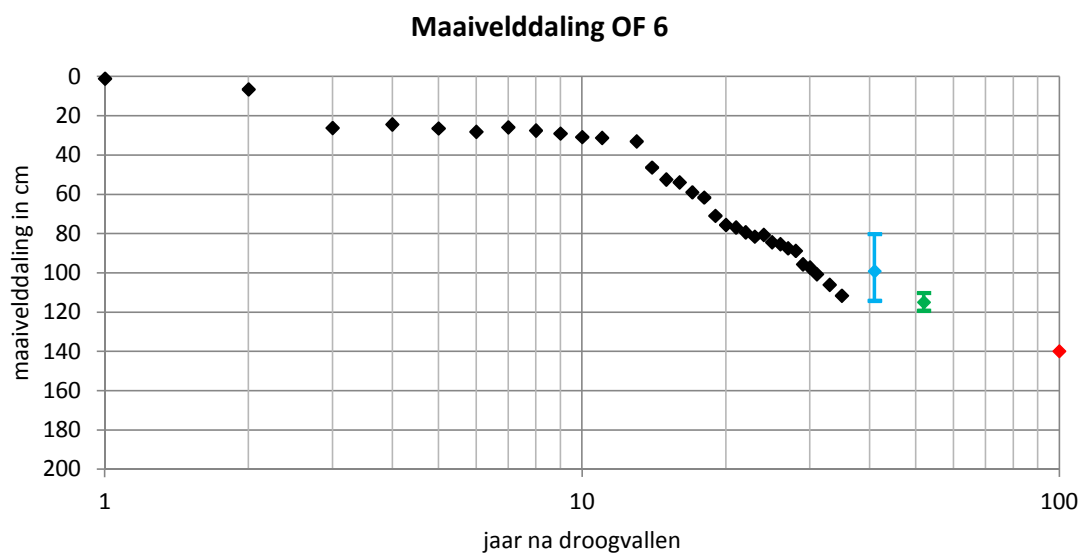
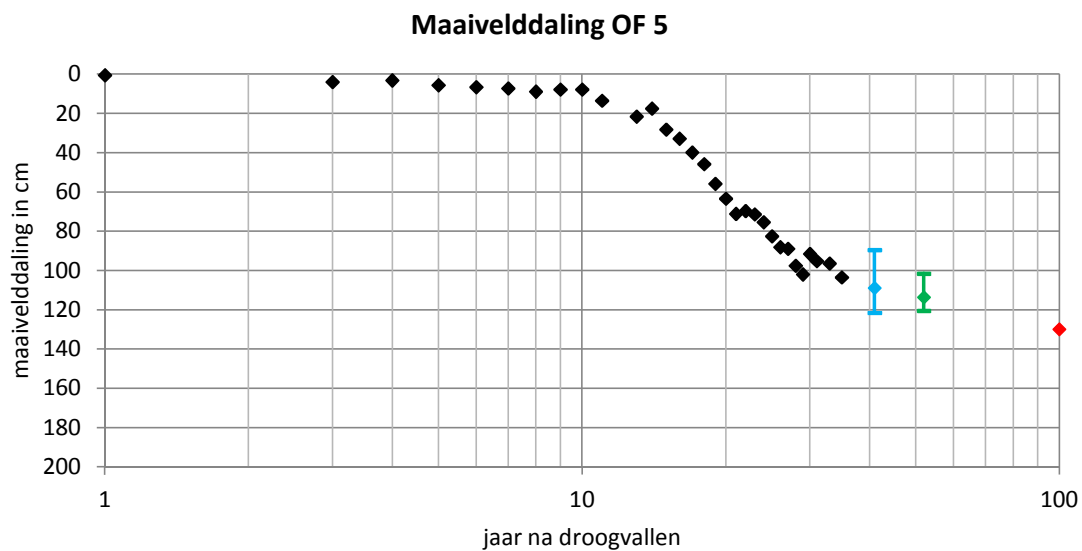


Bijlage 2

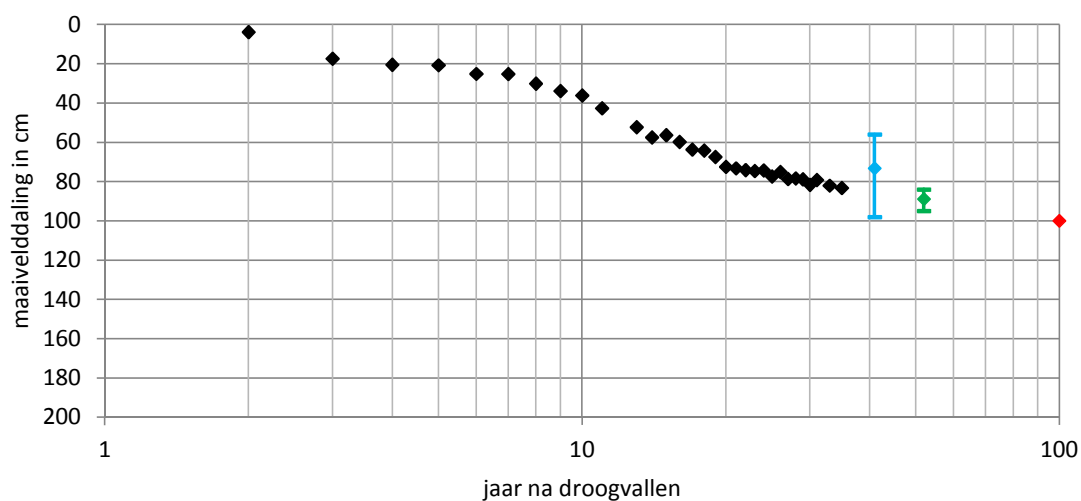
Historische maaiveldddaling rijpingsterreinen



zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



The scatter plot displays the relationship between the year after a drought (jaar na droogvallen) on the x-axis and the average depth of the water table (maaiaveldaling in cm) on the y-axis. The x-axis is logarithmic, ranging from 1 to 100. The y-axis ranges from 0 to 200. Black diamonds represent individual data points, showing a general downward trend. A blue vertical line with error bars is at x=50, and a green vertical line with error bars is at x=60. A red diamond is at x=100.

zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388

maaveldaling in cm

jaar na droogvallen

The figure is a scatter plot with a logarithmic x-axis. The x-axis is labeled 'jaar na droogvallen' and ranges from 1 to 100. The y-axis is labeled 'maaiaveldaling in cm' and ranges from 0 to 200. Black diamonds represent individual data points. A red line shows a linear fit to the data. A blue vertical bar with error bars is located at approximately 40 years, and a green vertical bar with error bars is located at approximately 60 years.

The scatter plot shows the relationship between the year after a drought (jaar na droogvallen) on the x-axis and the decrease in water level (maaiavelding in cm) on the y-axis. The x-axis is logarithmic, ranging from 1 to 100. The y-axis ranges from 0 to 200. Data points are black diamonds. A blue vertical line with error bars is at x=40, and a green vertical line with error bars is at x=50. A red diamond is at x=100.

jaar na droogvallen	maaiavelding in cm
1	0
2	10
3	25
4	35
5	30
6	35
7	40
8	35
9	42
10	42
12	45
14	45
16	48
18	50
20	52
22	55
24	55
26	58
28	58
30	58
32	58
34	58
36	58
38	58
40	58
42	58
44	58
46	58
48	58
50	58
52	58
54	58
56	58
58	58
60	58
62	58
64	58
66	58
68	58
70	58
72	58
74	58
76	58
78	58
80	58
82	58
84	58
86	58
88	58
90	58
92	58
94	58
96	58
98	58
100	58

zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388

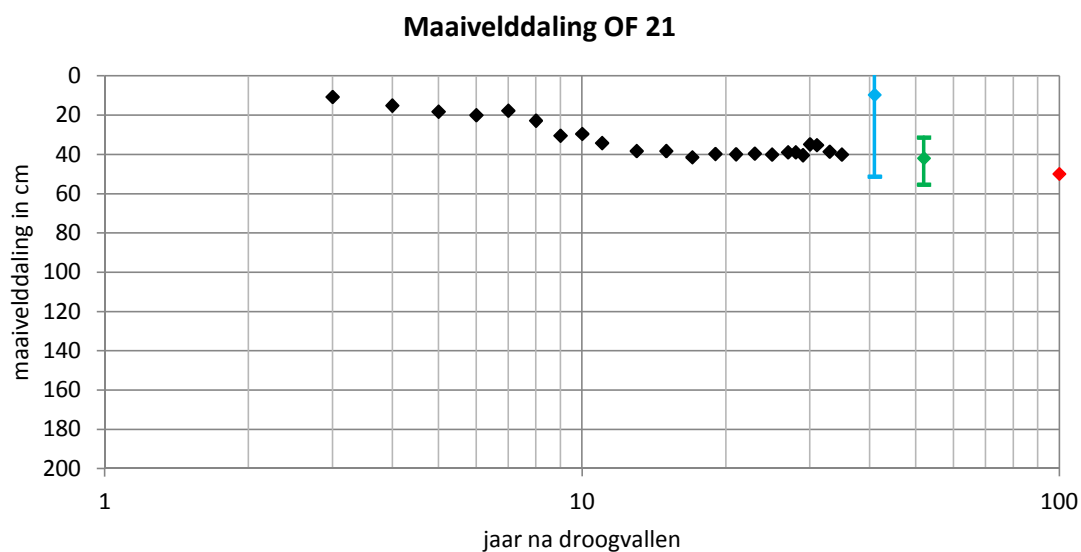
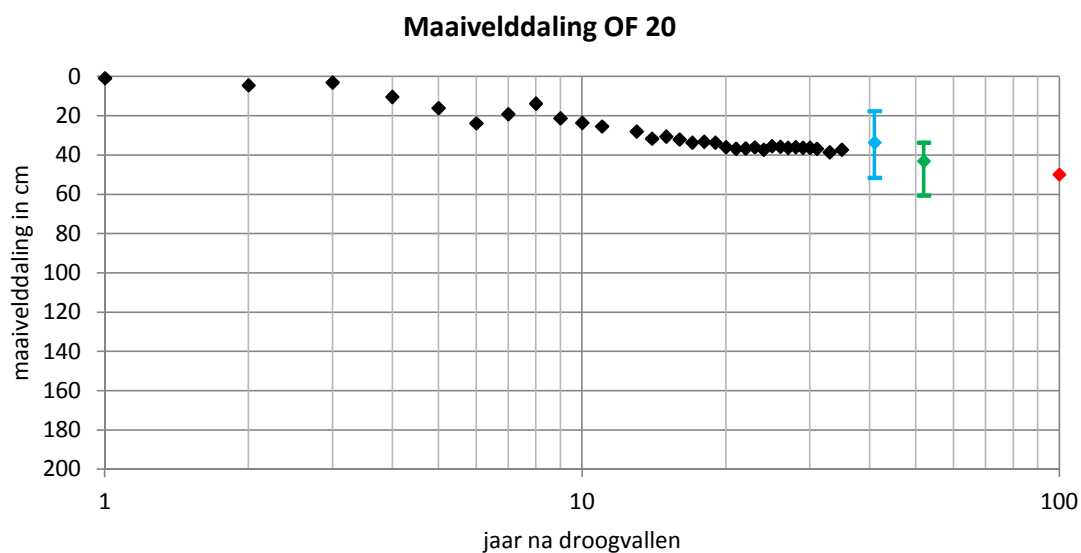
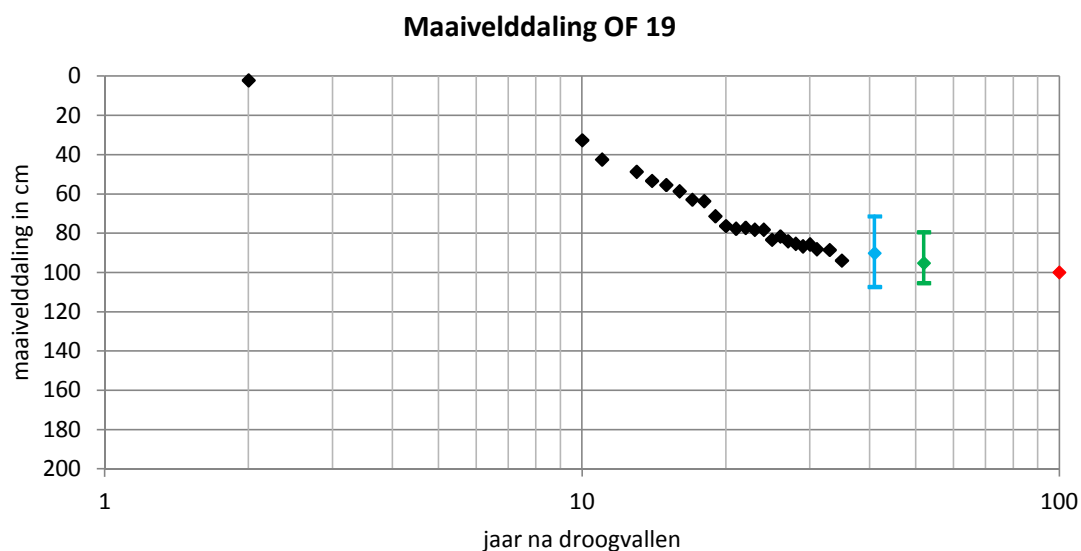
The figure is a scatter plot with a logarithmic x-axis. The x-axis is labeled 'jaar na droogvallen' and ranges from 1 to 100. The y-axis is labeled 'maaiveld dalings in cm' and ranges from 0 to 200. The data points are black diamonds, showing a general decrease in drawdown over time. A blue vertical line with error bars is at approximately 40 years, and a green vertical line with error bars is at approximately 50 years. A red diamond is at 100 years.

jaar na droogvallen	maaiveld dalings in cm
1	0
2	10
3	25
4	30
5	35
6	40
7	40
8	42
9	45
10	45
12	50
15	55
20	60
25	65
30	70
35	75
40	75
45	75
50	75
55	75
60	75
65	75
70	75
75	75
80	75
85	75
90	75
95	75
100	90

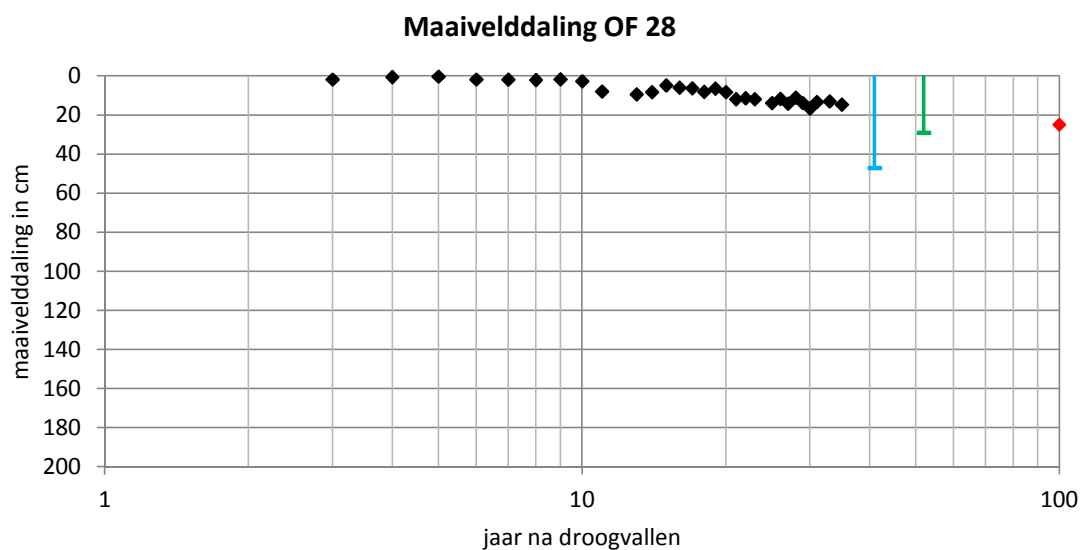
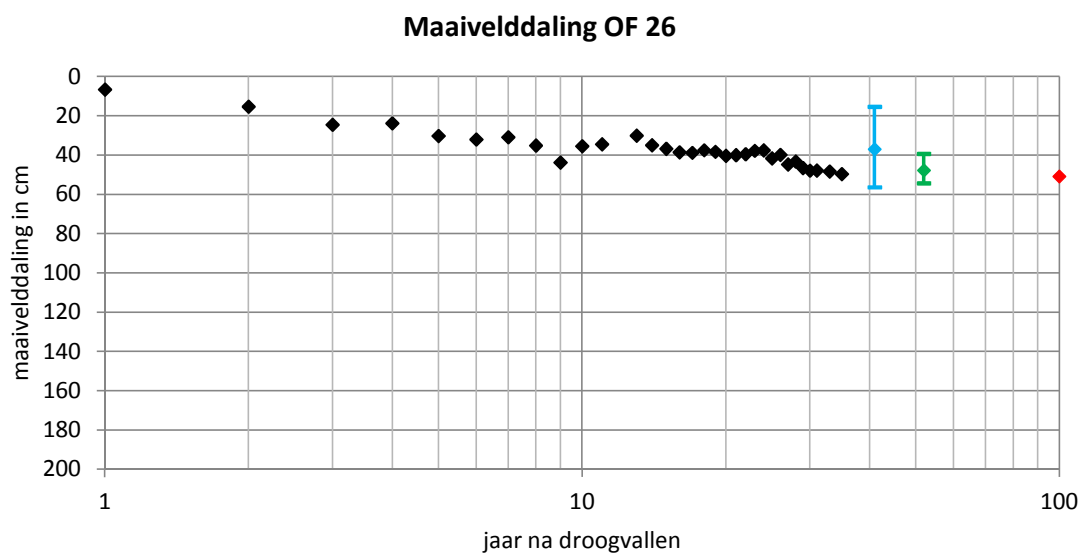
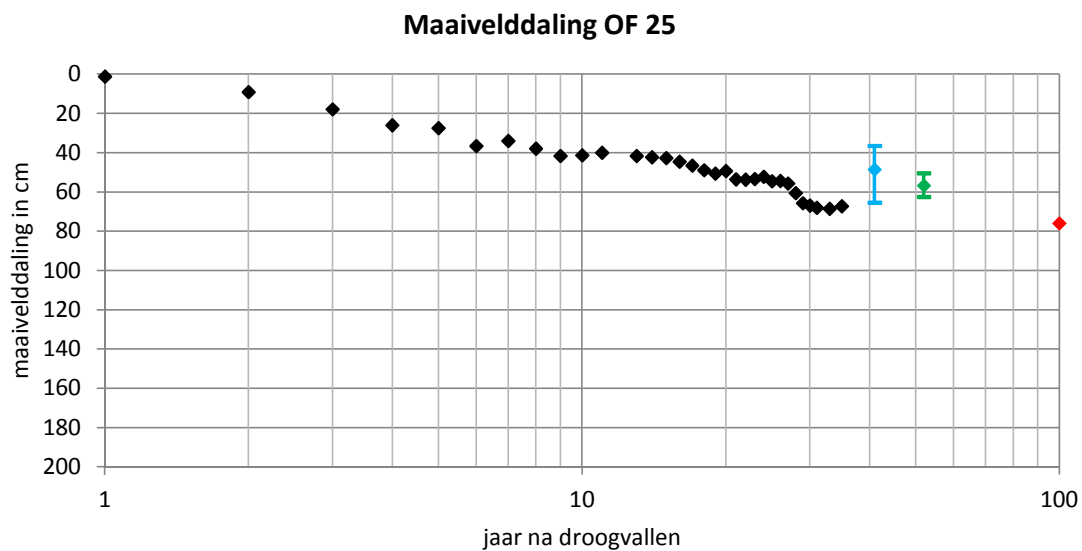
The scatter plot displays the relationship between the number of years after a drought (jaar na droogvallen) on the x-axis and the maximum field depth (maaiveldddaling in cm) on the y-axis. The x-axis is logarithmic, ranging from 1 to 100 years. The y-axis ranges from 0 to 200 cm. Data points are represented by black diamonds. A blue vertical line with error bars is positioned at approximately 40 years, and a green vertical line with error bars is at approximately 50 years. A red diamond is located at 100 years.

jaar na droogvallen	maaiveldddaling in cm
1	0
2	0
3	10
4	12
5	13
6	14
7	14
8	14
9	14
10	14
11	14
12	14
13	25
14	30
15	35
16	38
17	45
18	50
19	55
20	58
22	60
24	62
26	65
28	68
30	70
32	72
34	75
36	78
38	80
40	82
42	85
44	88
46	90
48	92
50	95
100	90

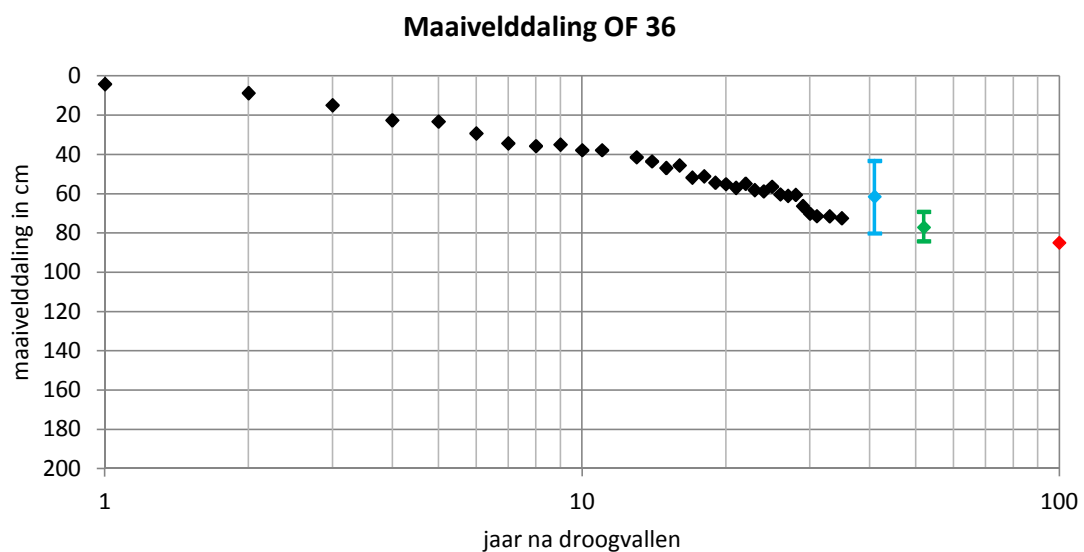
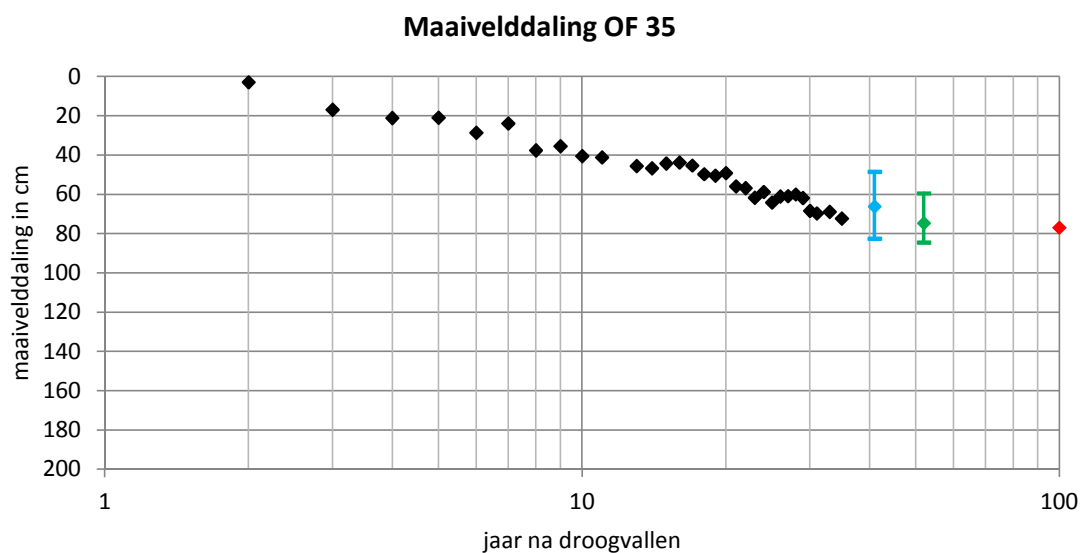
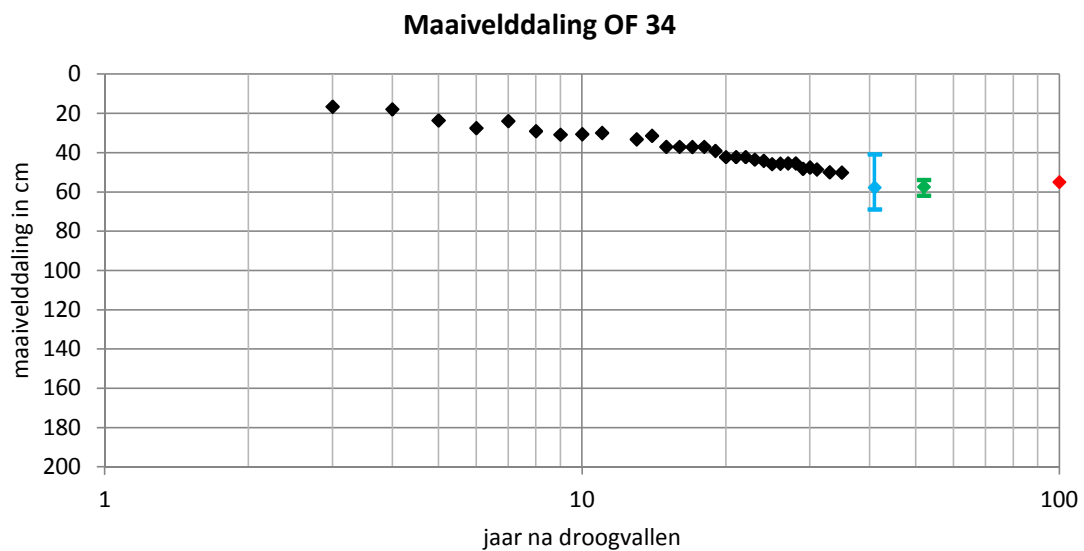
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



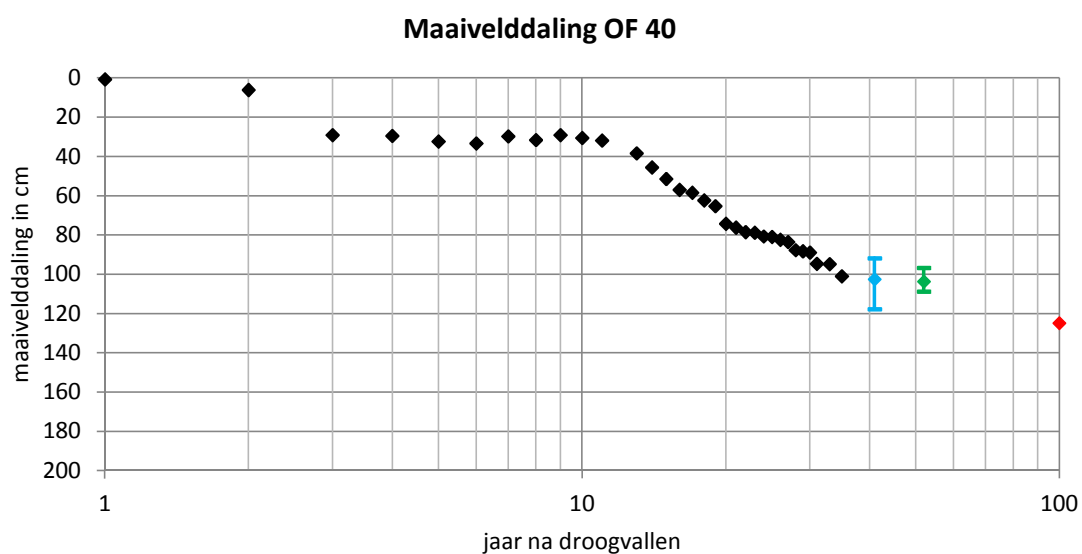
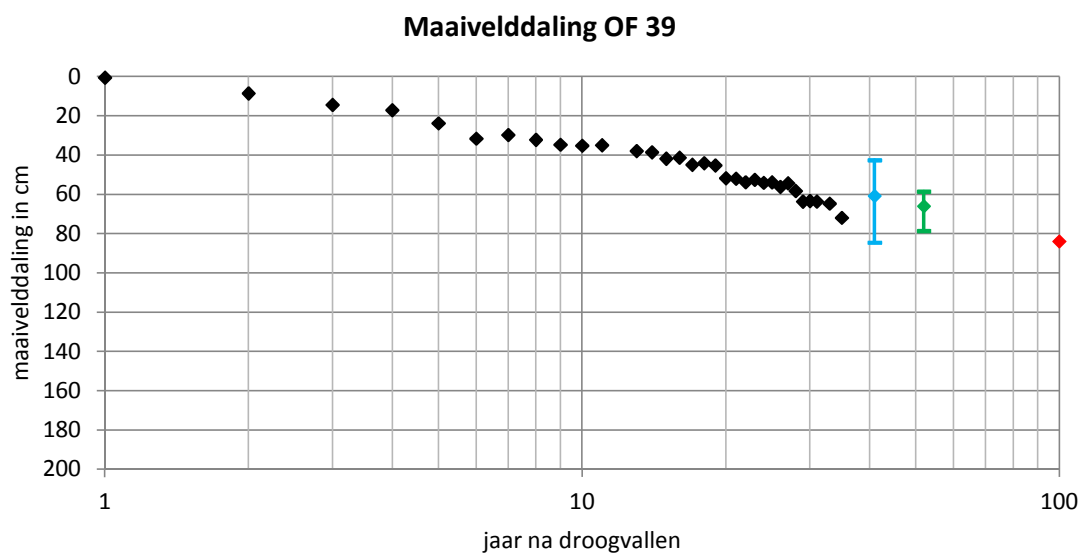
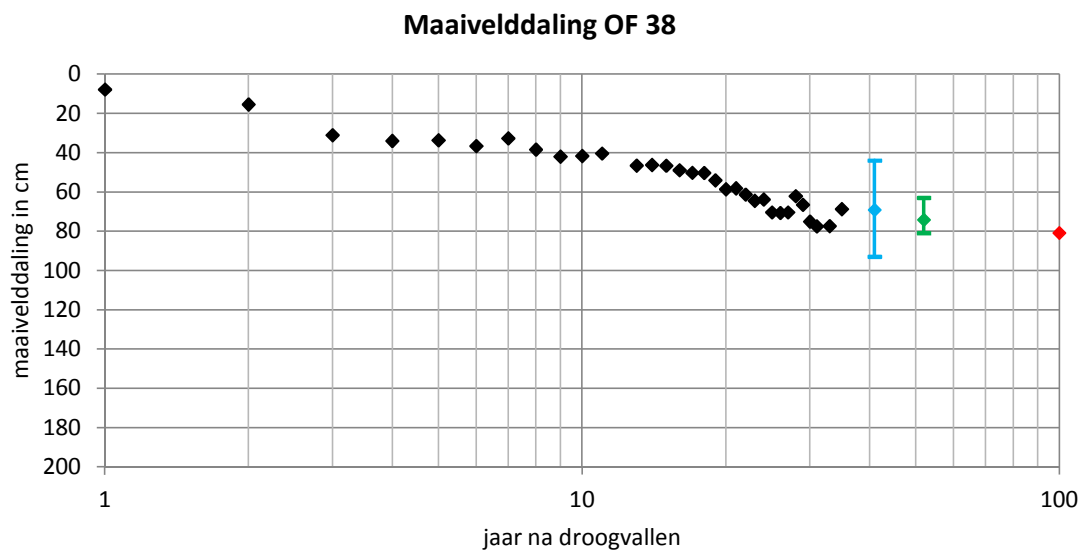
zwart blauw groen rood	historische maaivelddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388 gemiddelde maaivelddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaivelddaling gemiddelde maaivelddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaivelddaling prognose maaivelddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
---------------------------------	---



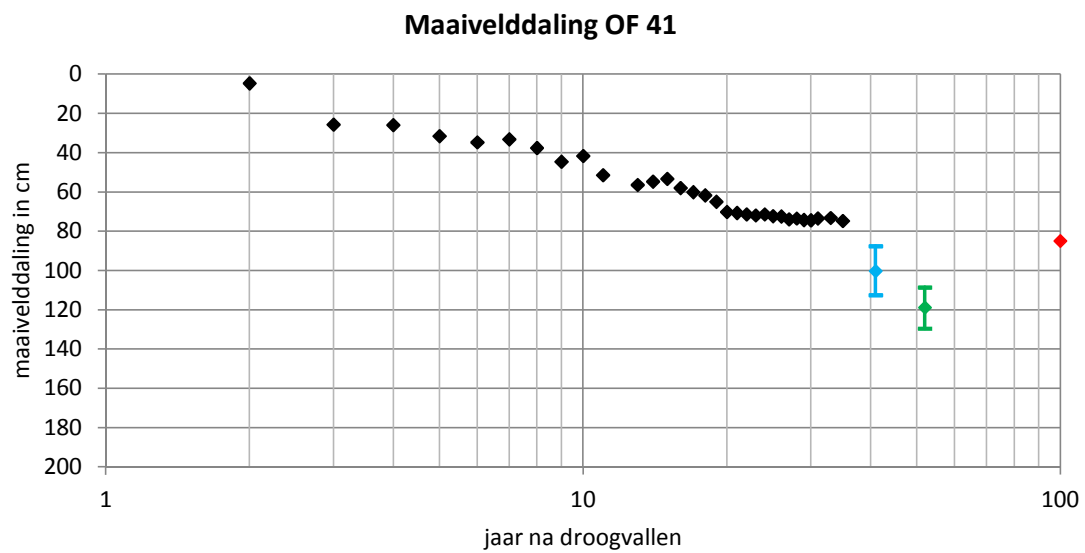
zwart	historische maaivelddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaivelddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaivelddaling
groen	gemiddelde maaivelddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaivelddaling
rood	prognose maaivelddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



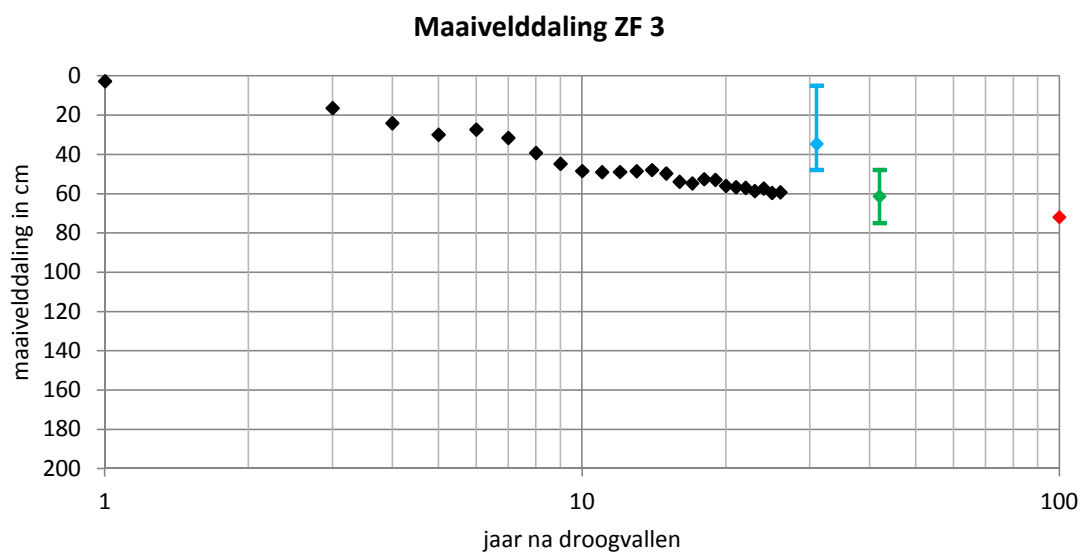
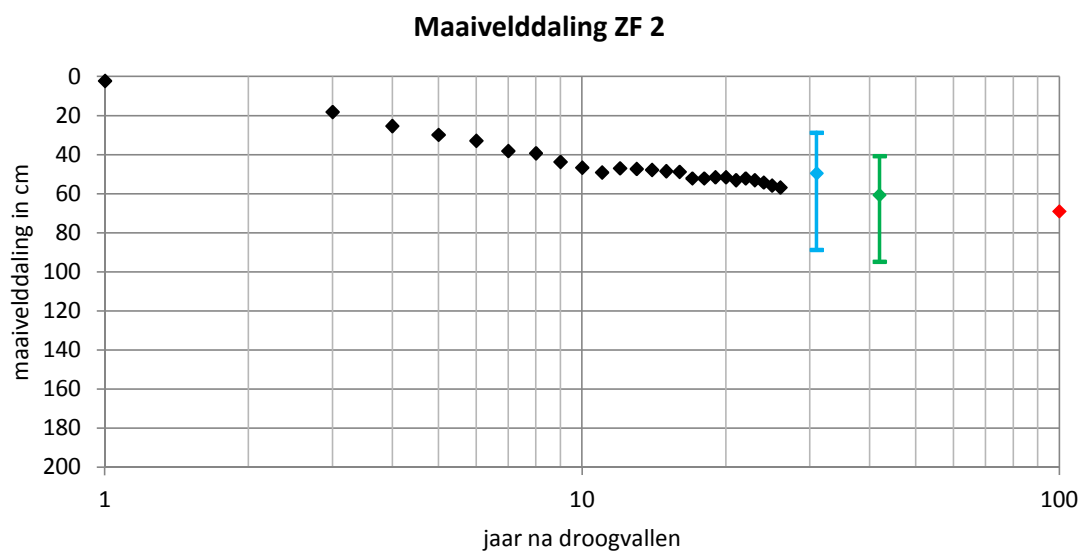
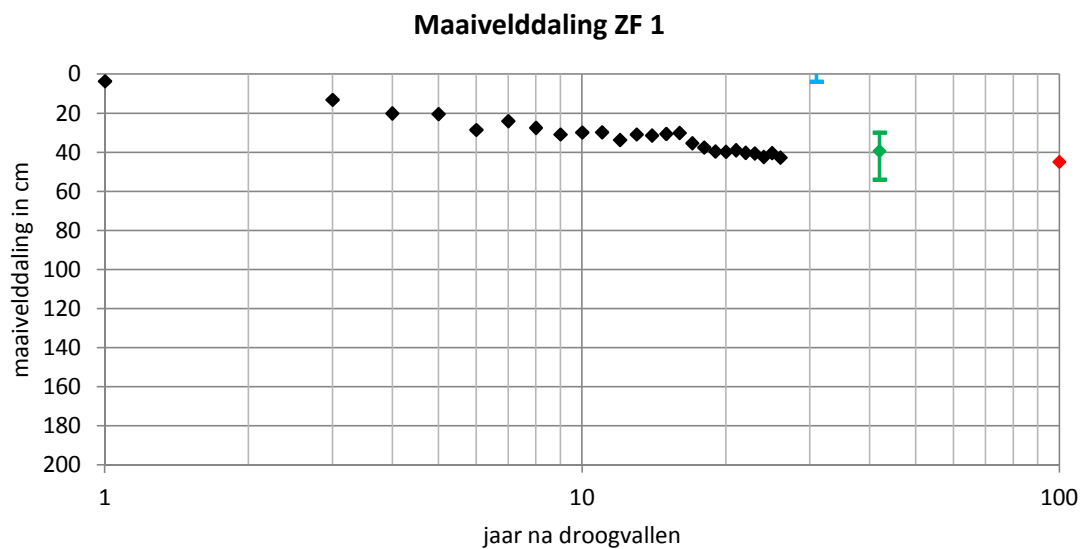
zwart blauw groen rood	historische maaivelddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388 gemiddelde maaivelddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaivelddaling gemiddelde maaivelddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaivelddaling prognose maaivelddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
--	--



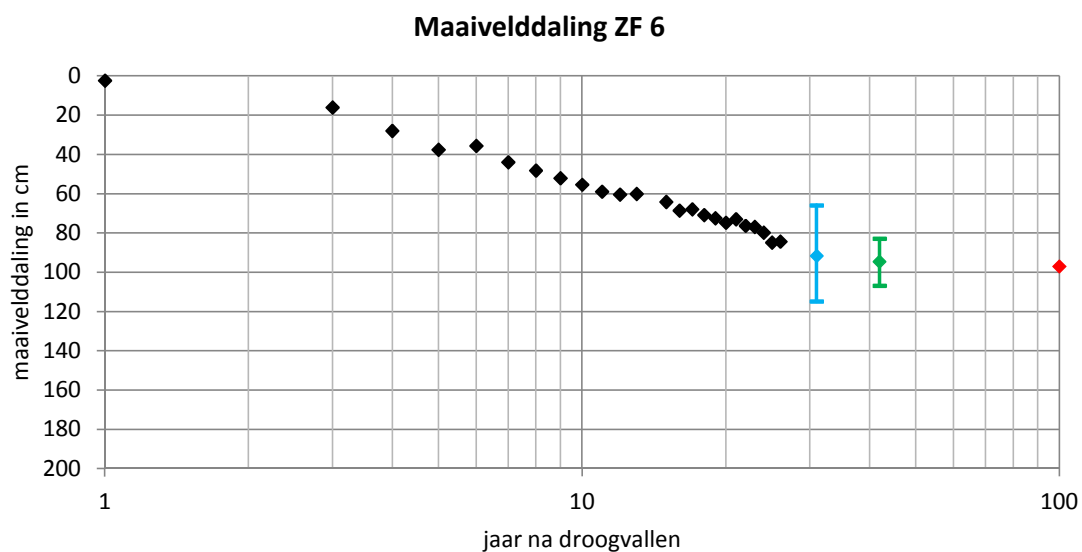
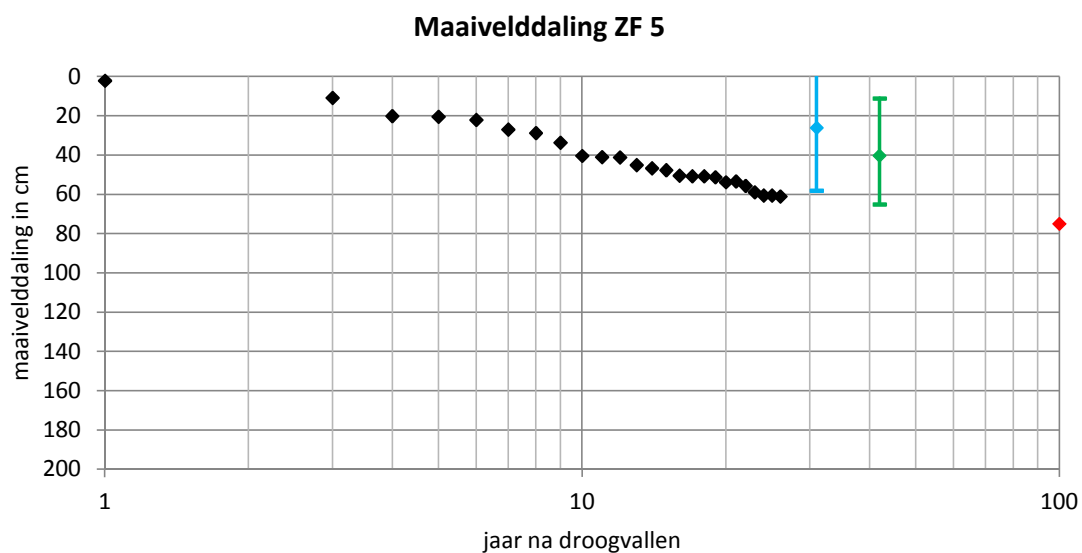
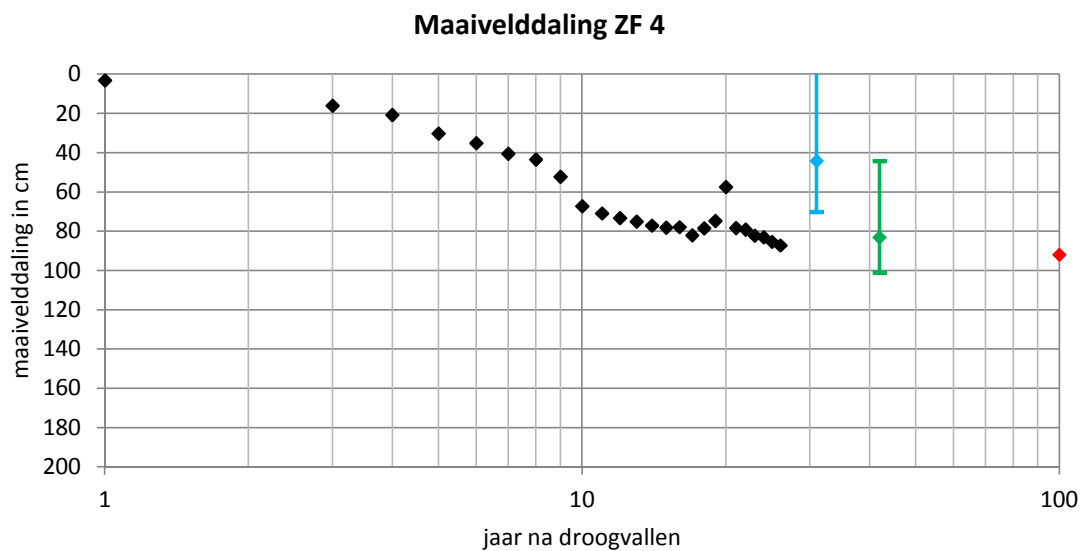
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



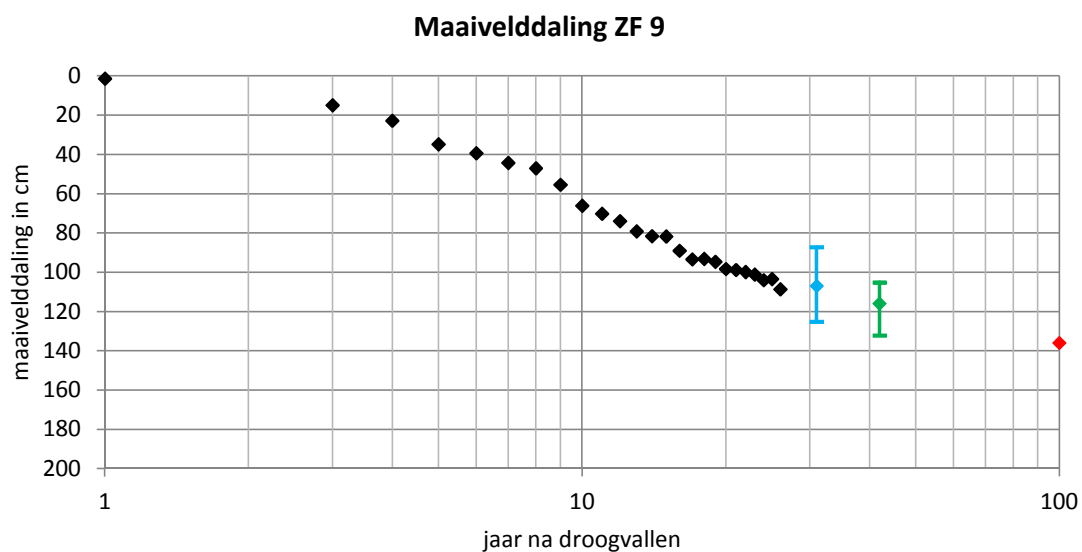
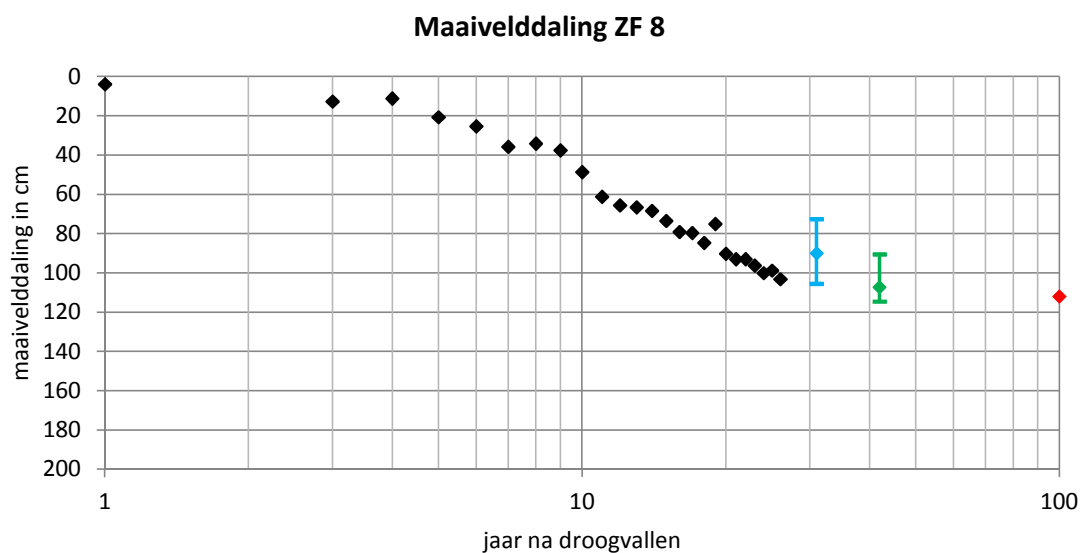
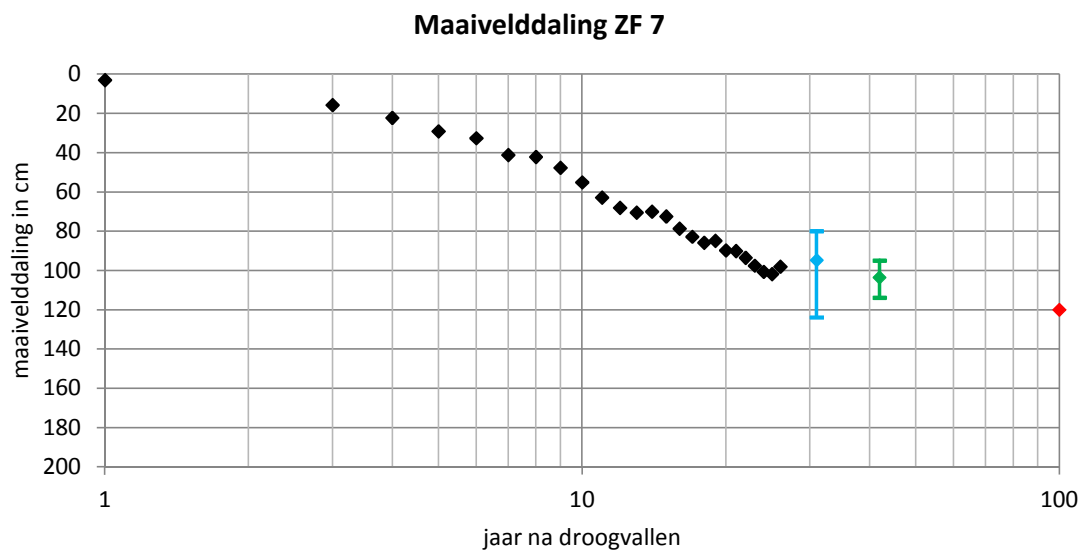
zwart blauw groen rood	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388 gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
--	--



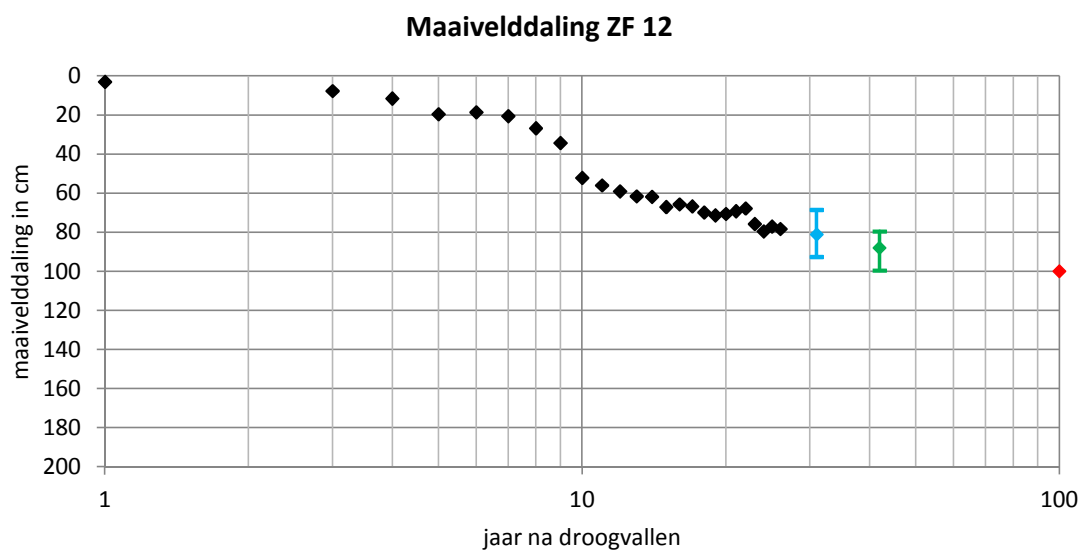
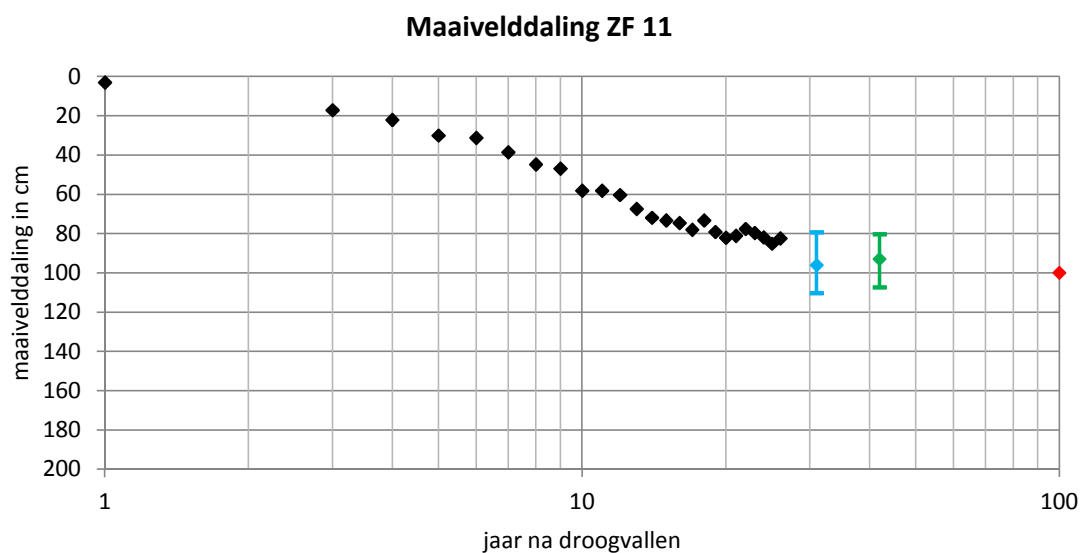
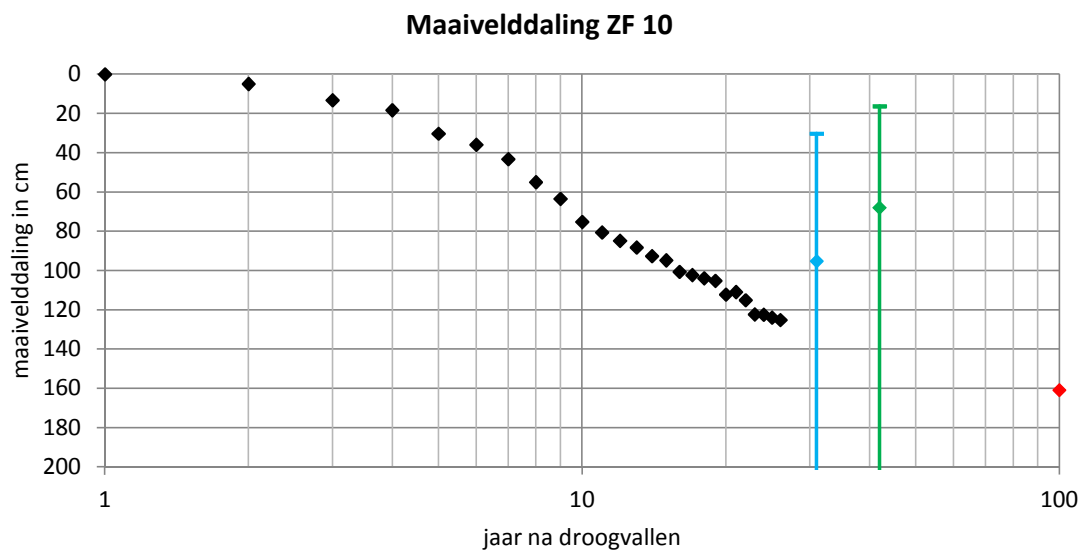
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



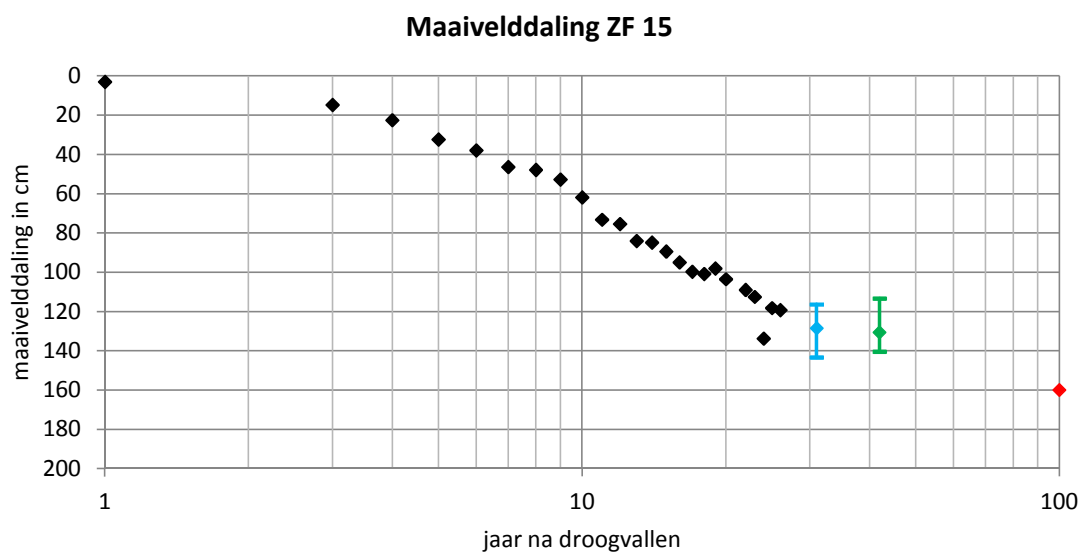
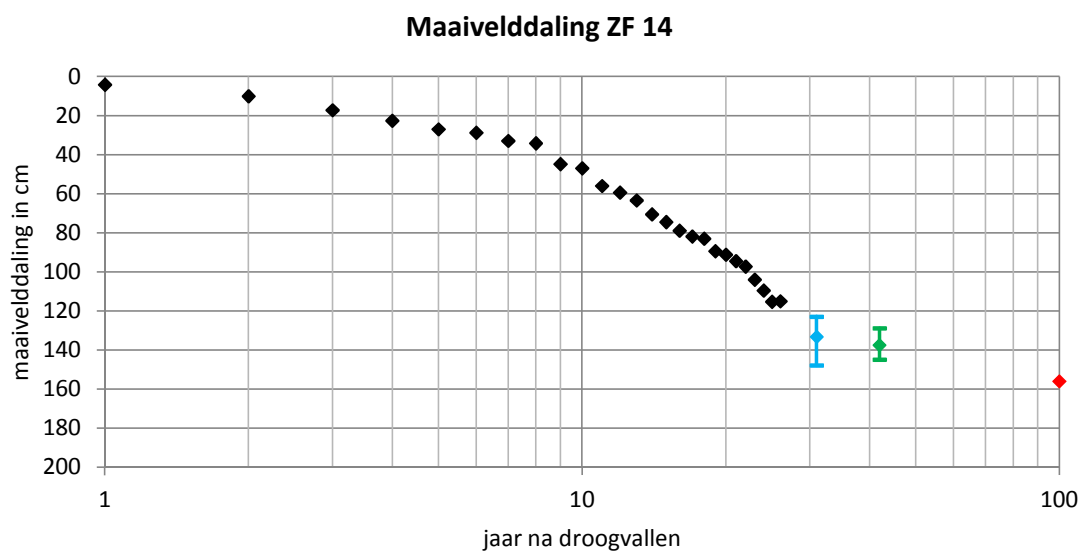
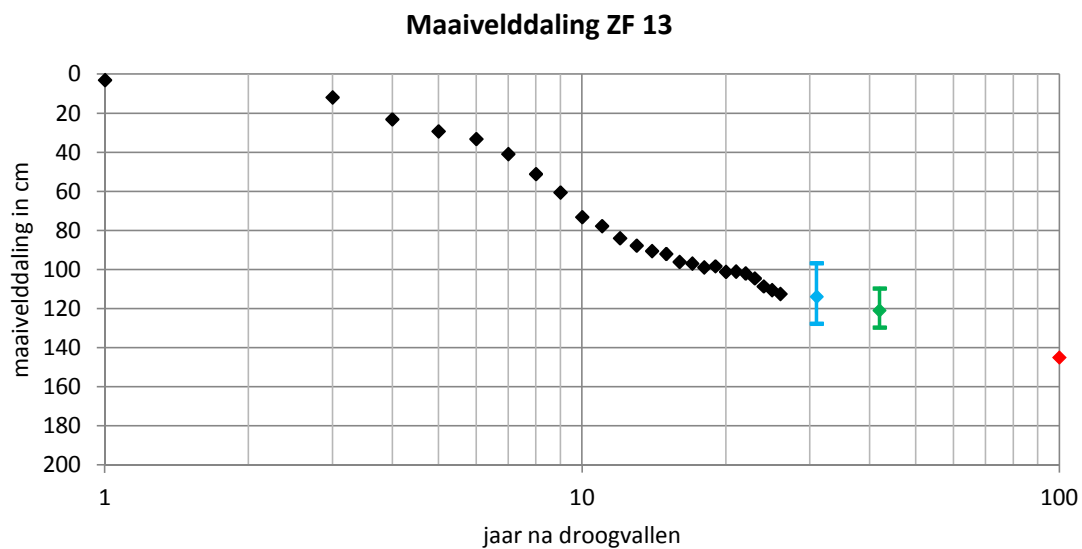
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



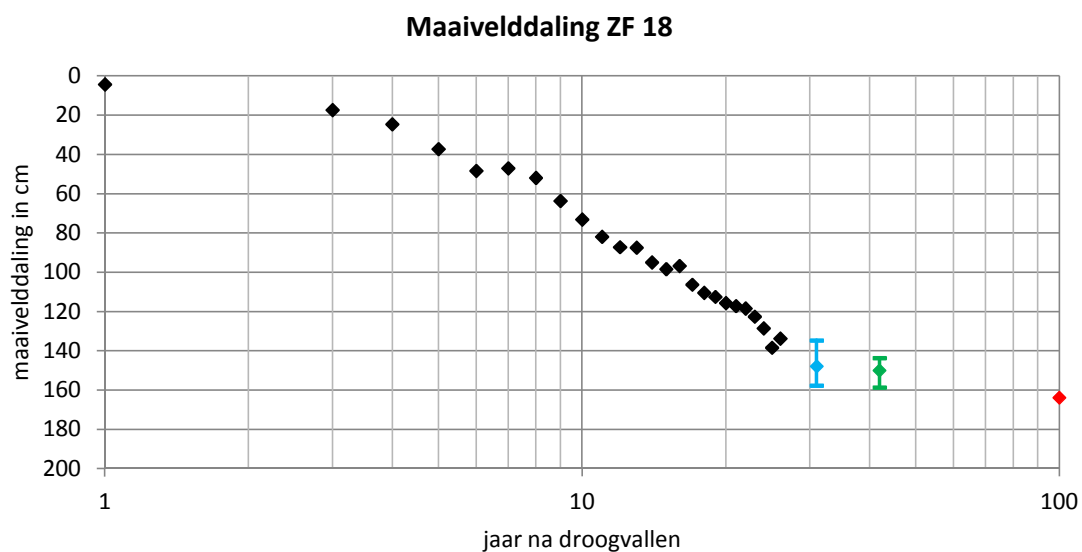
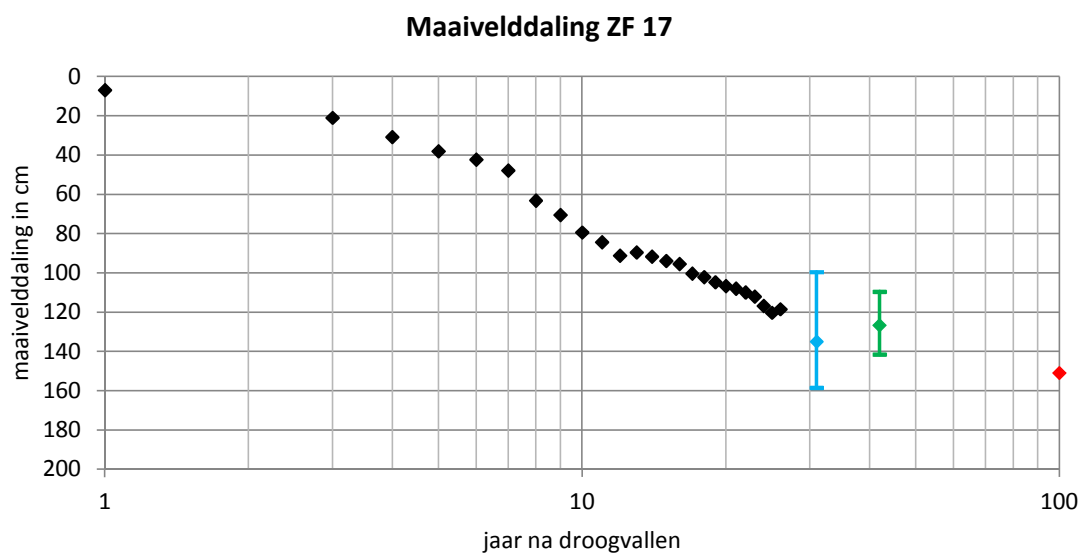
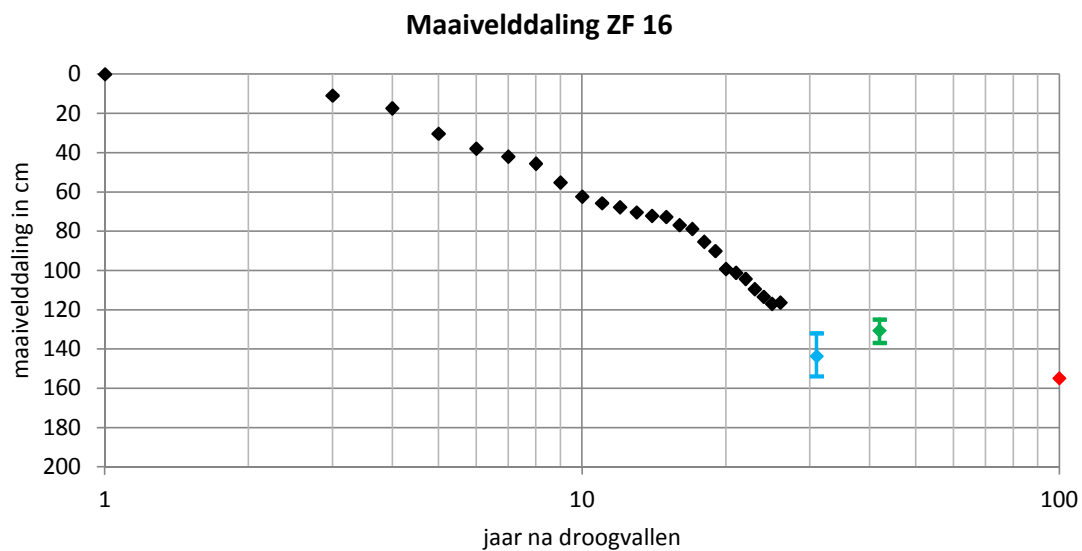
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



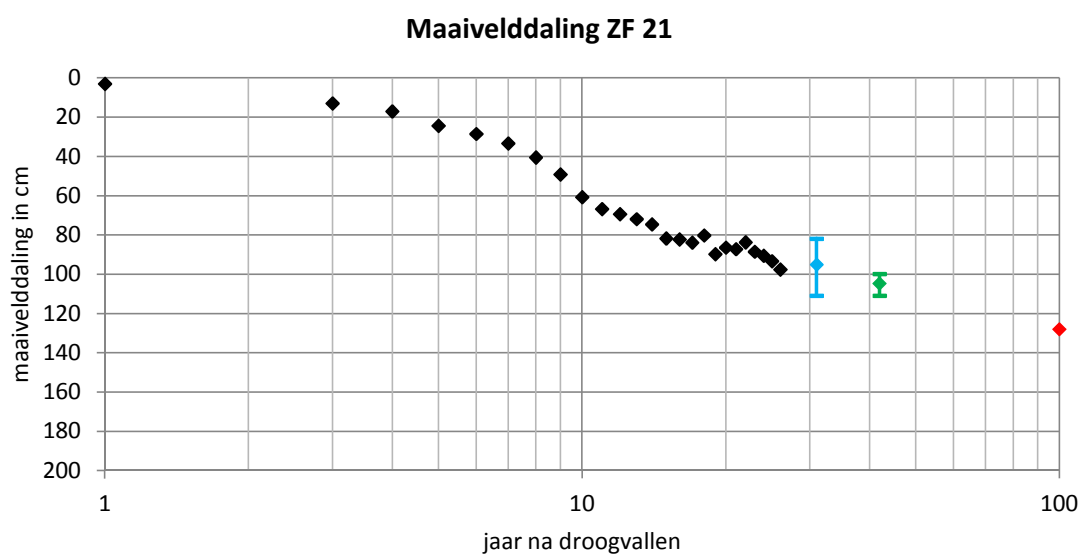
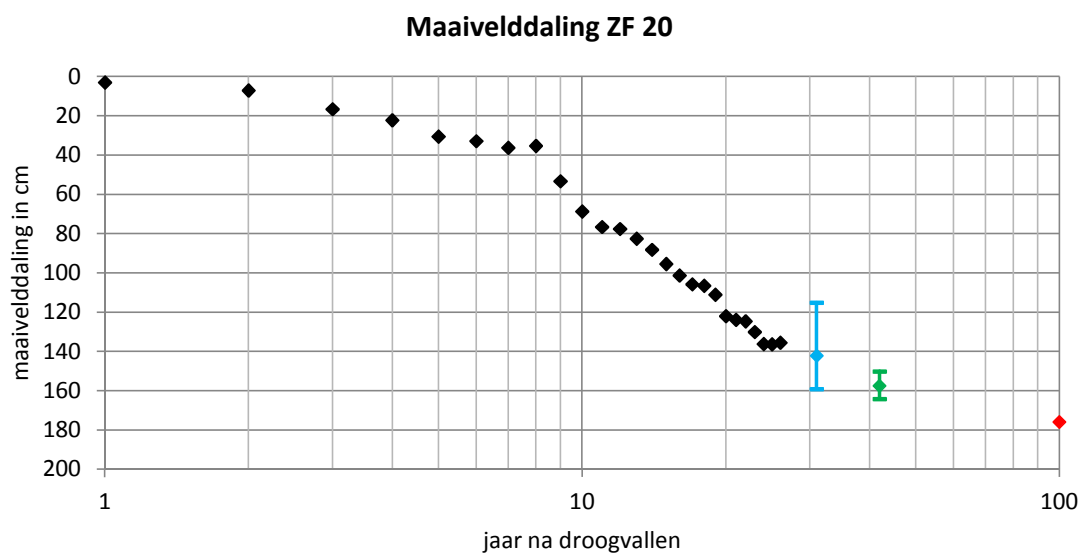
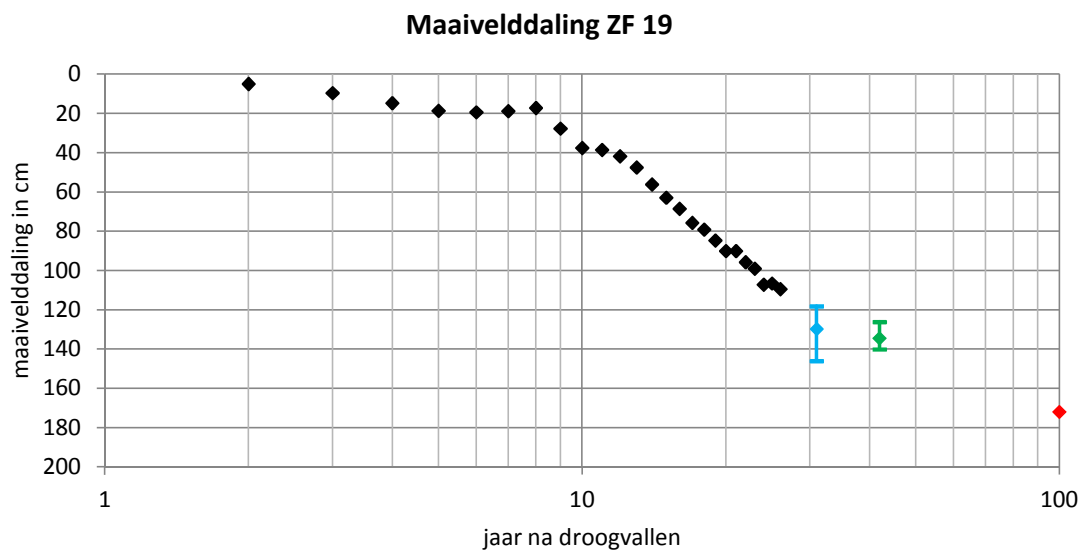
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



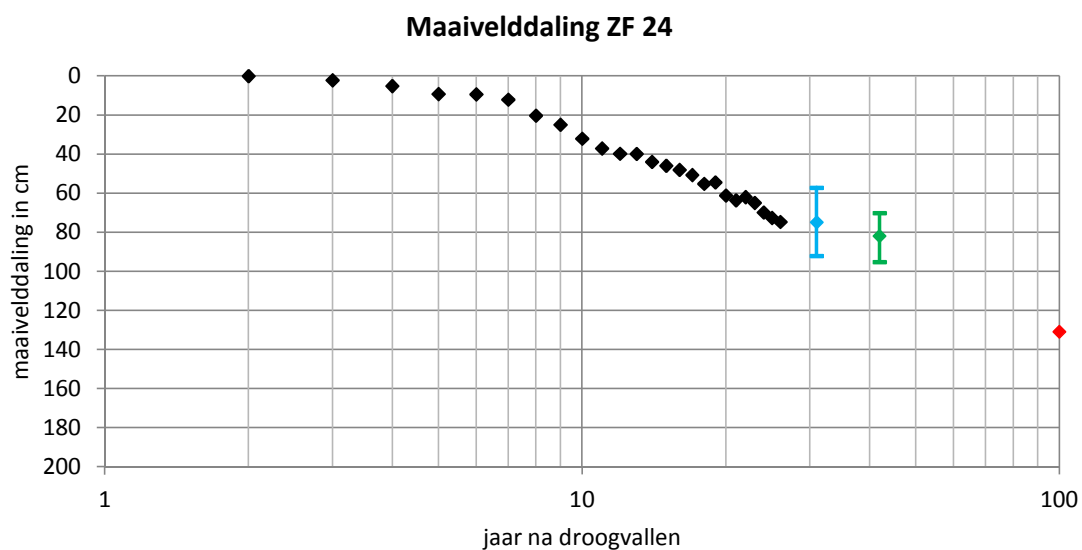
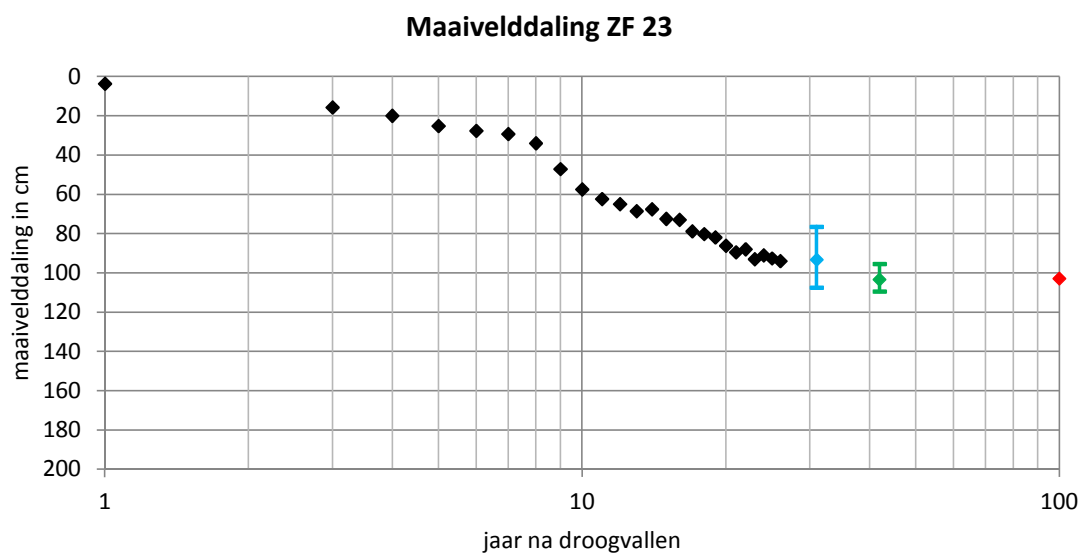
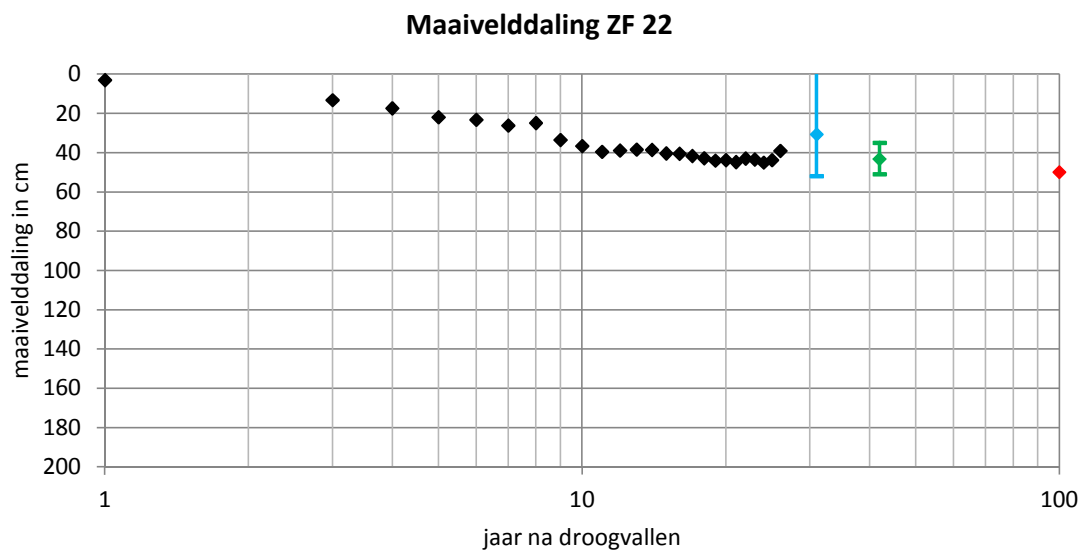
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



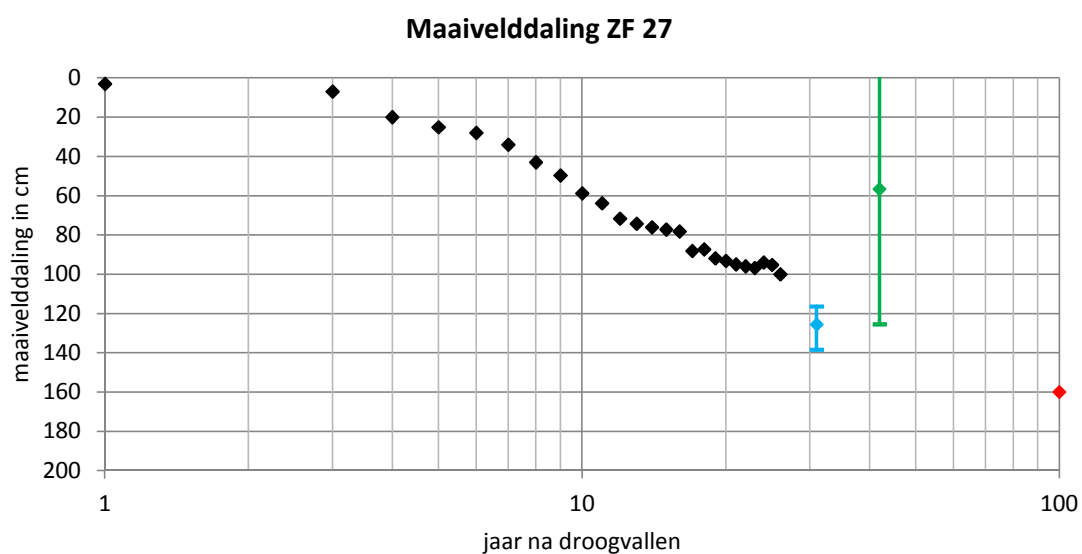
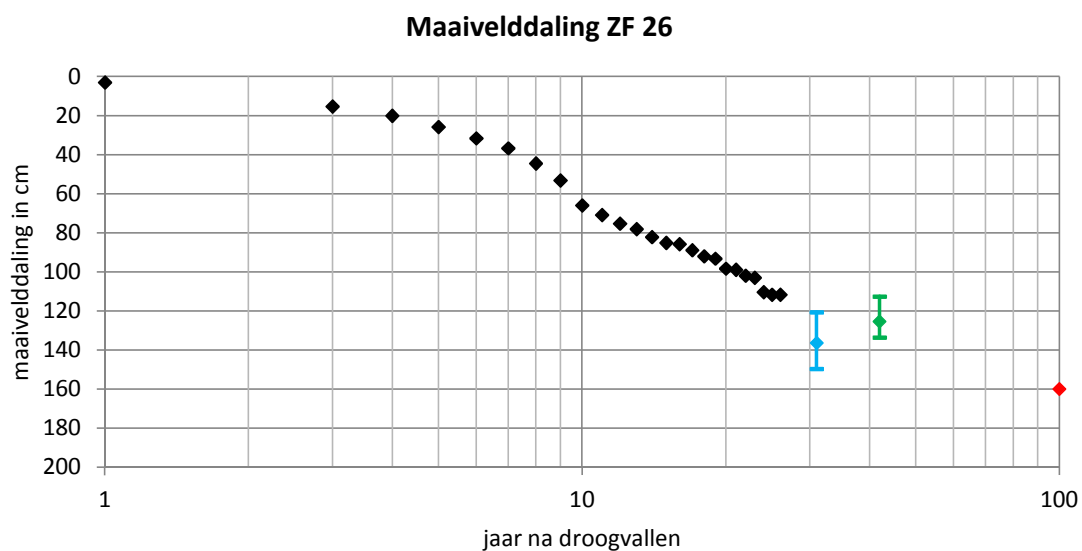
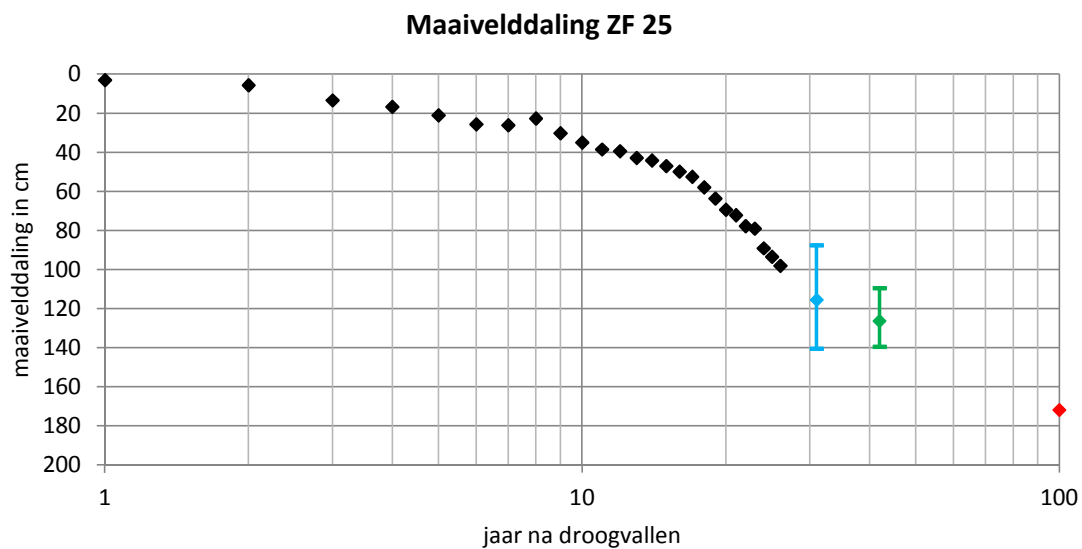
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



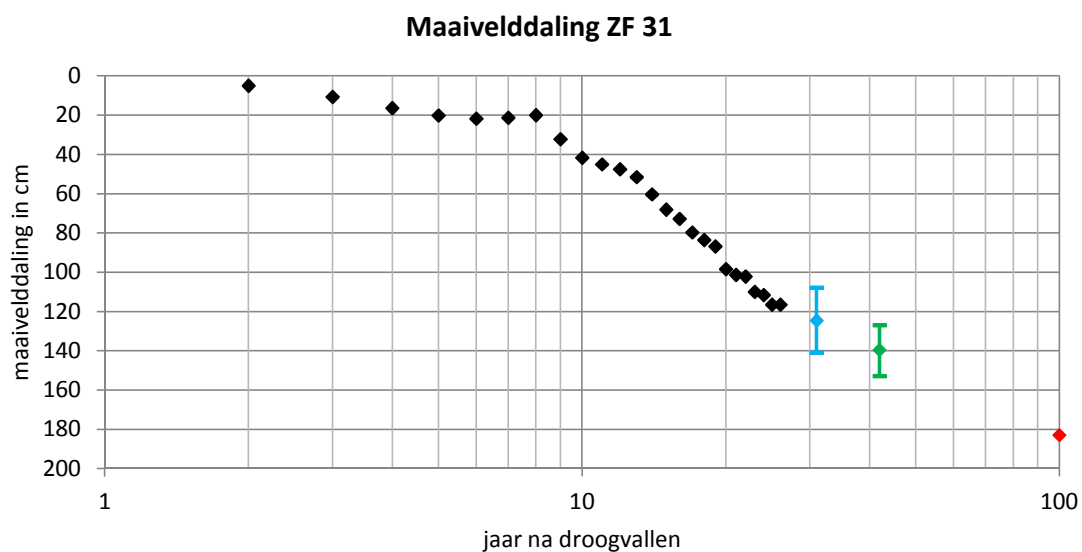
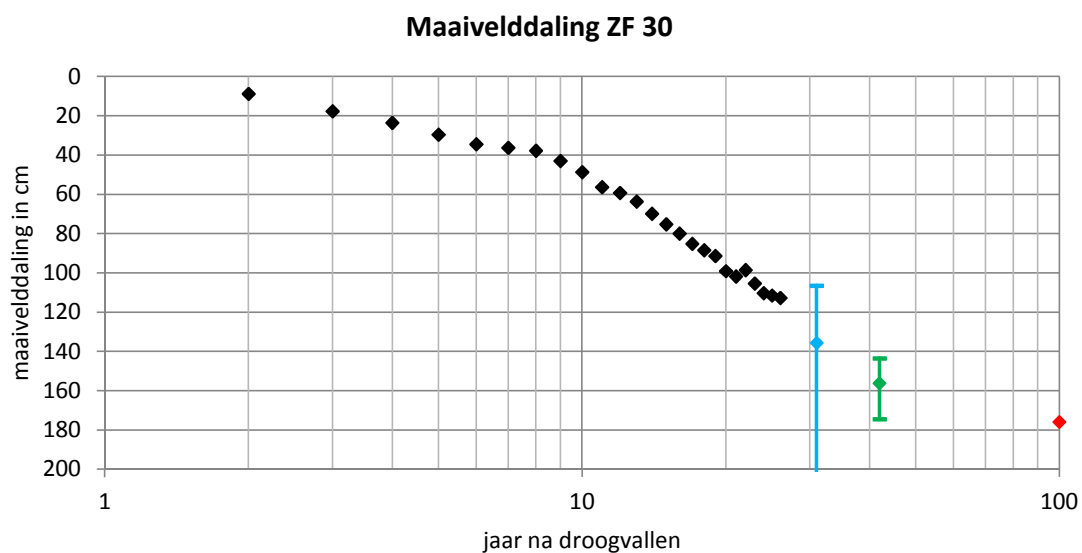
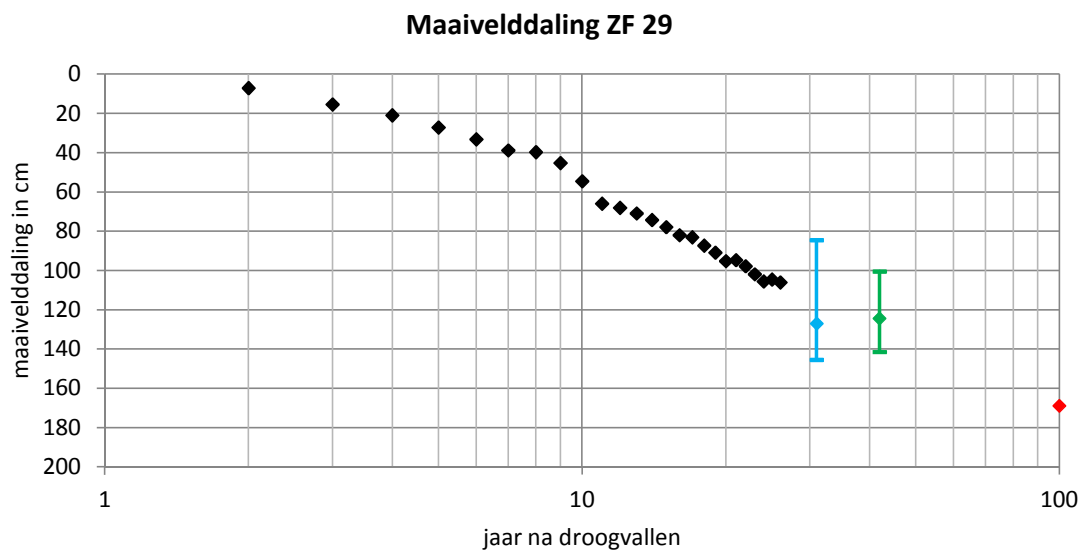
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



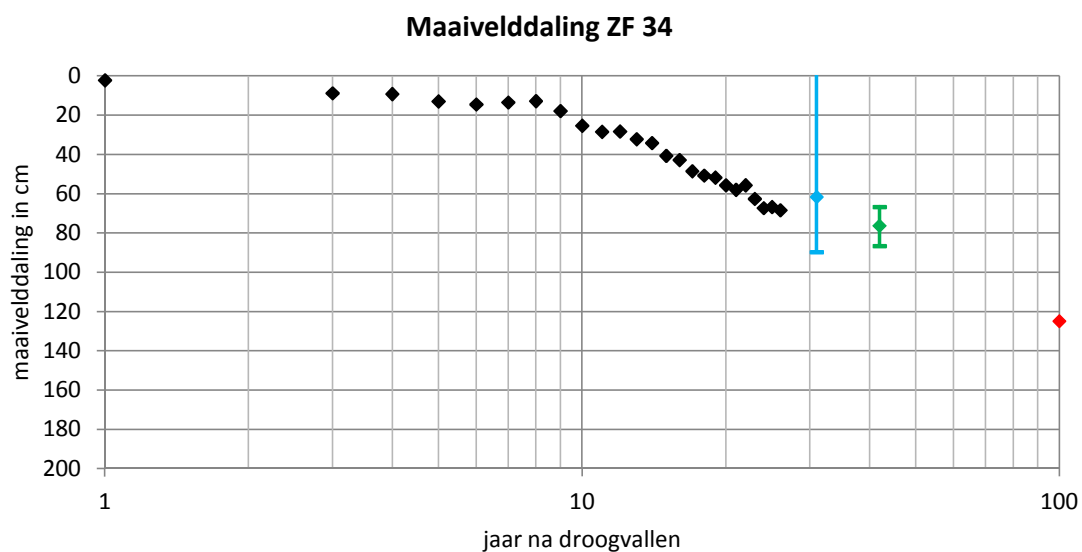
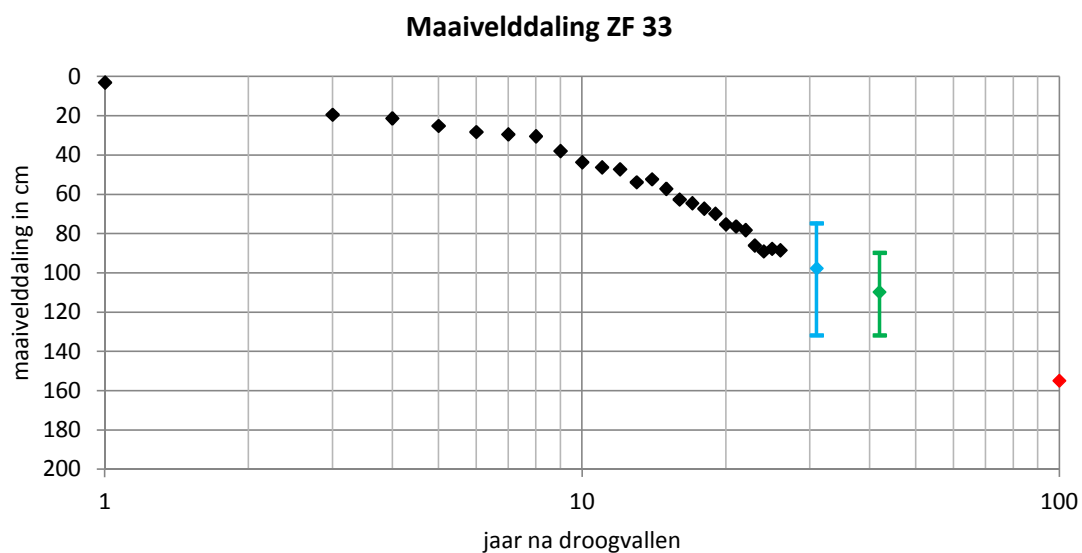
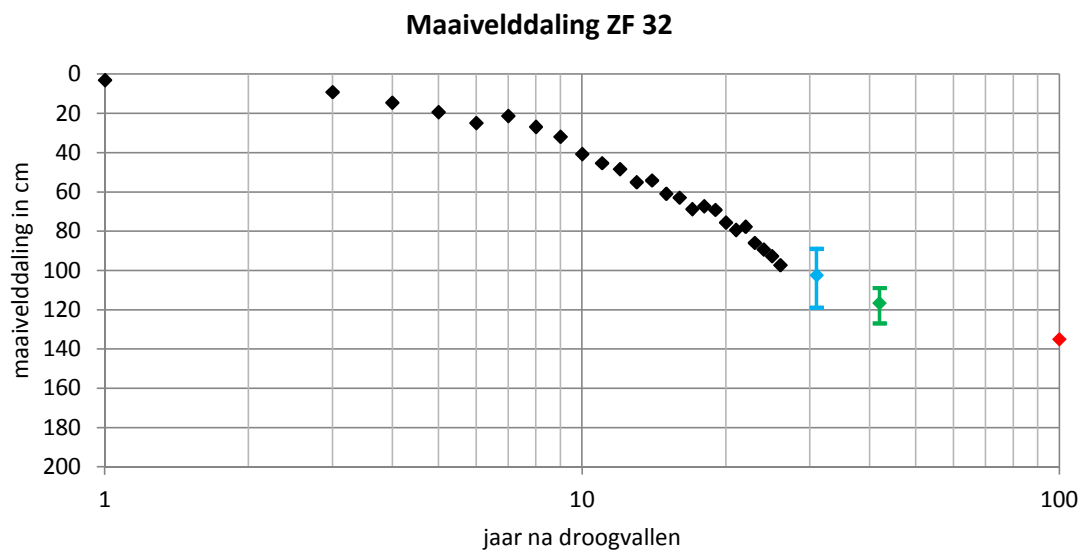
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



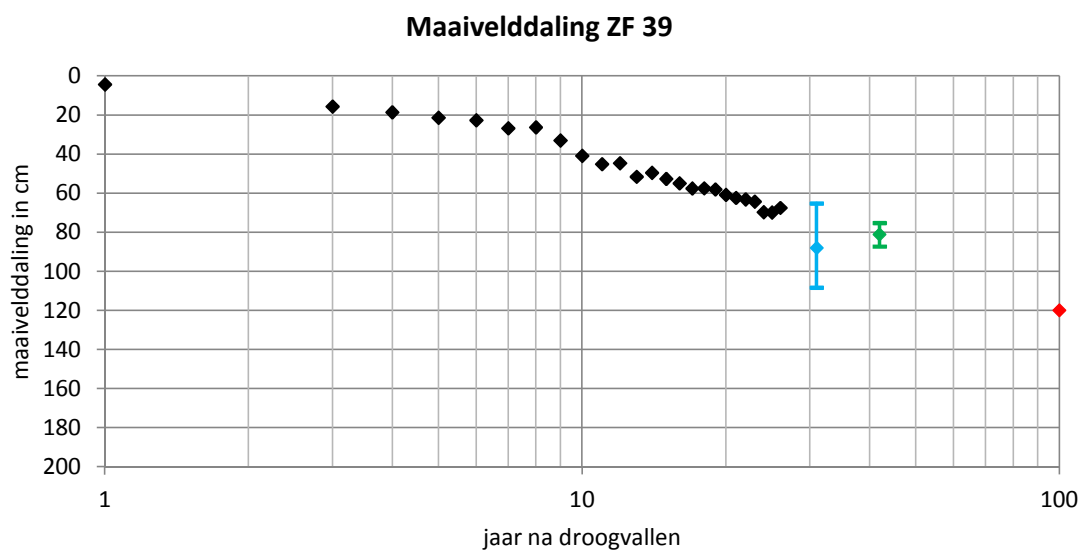
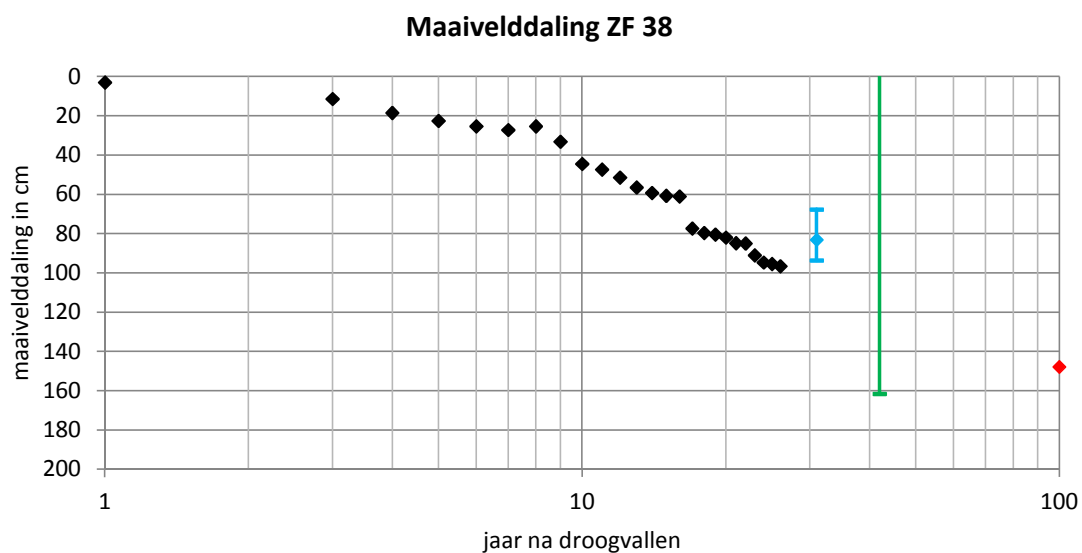
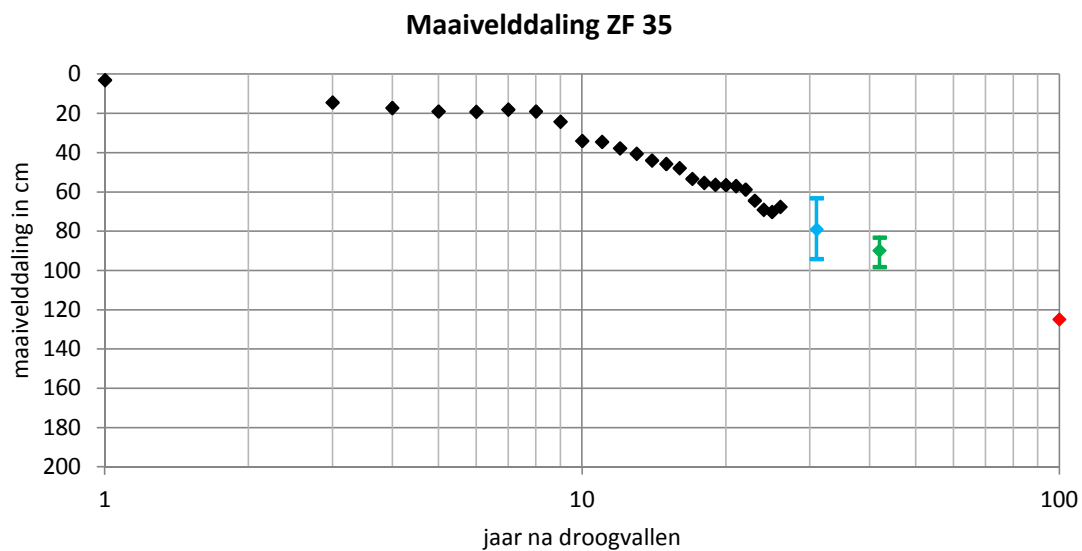
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



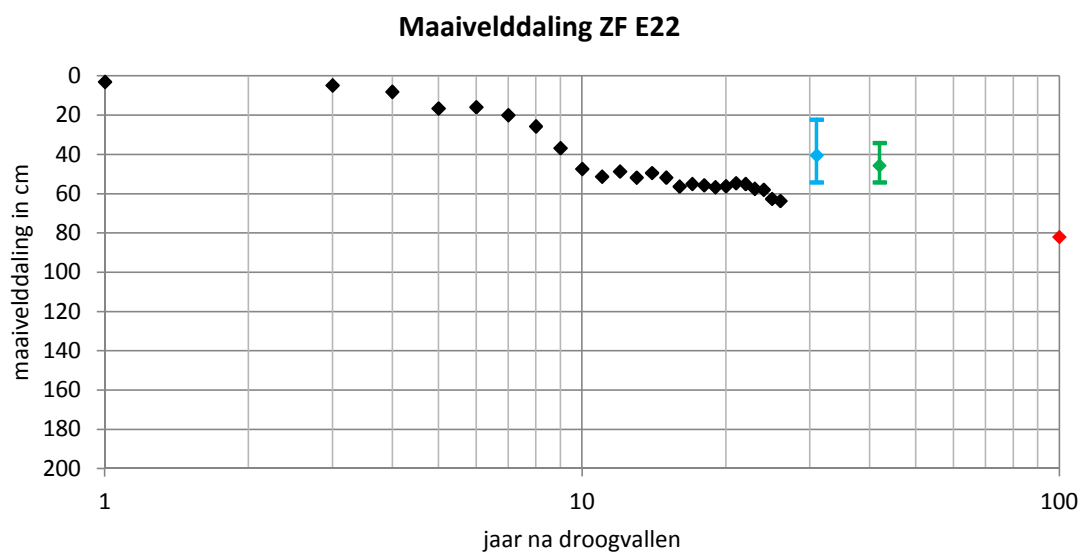
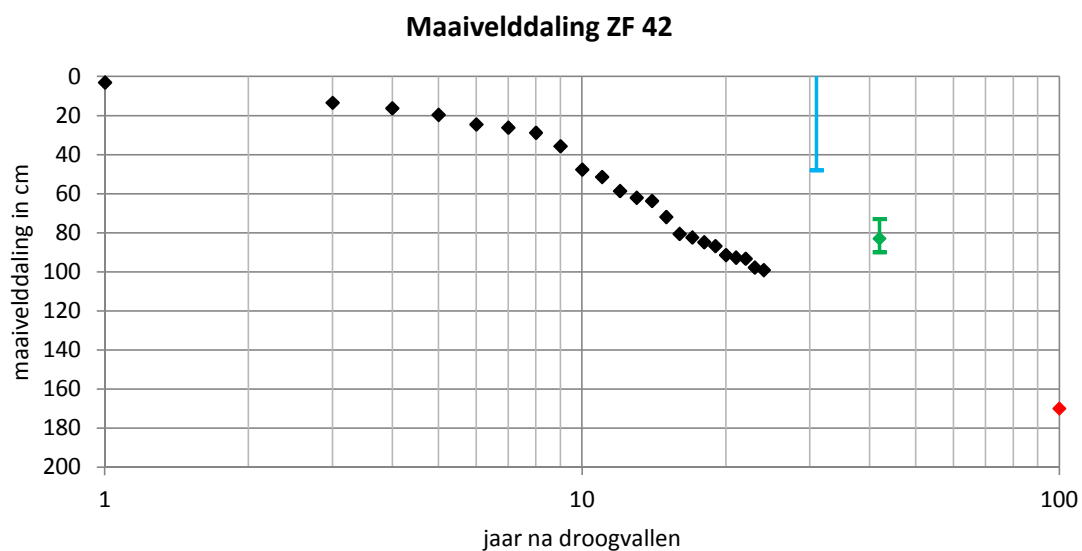
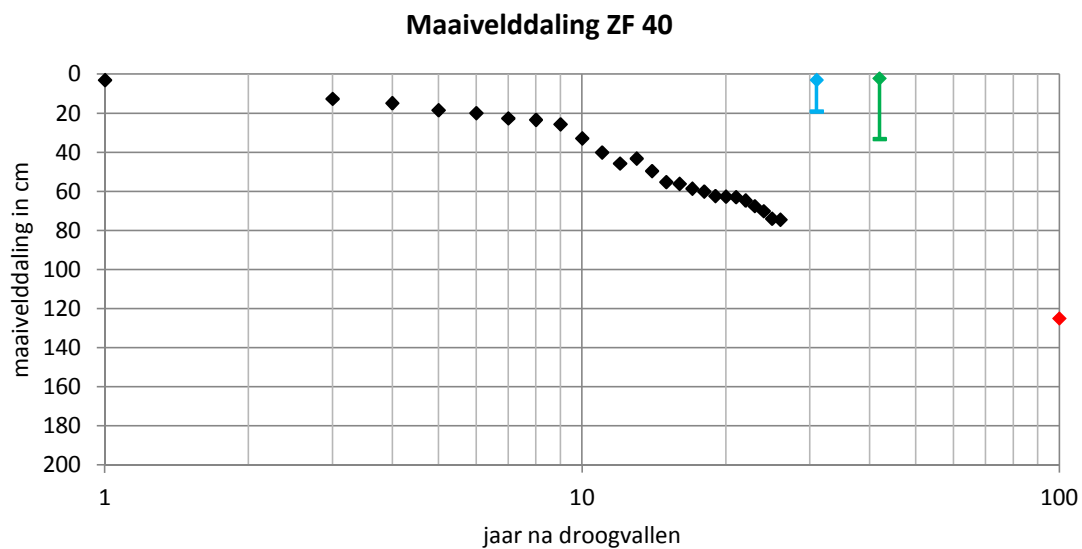
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



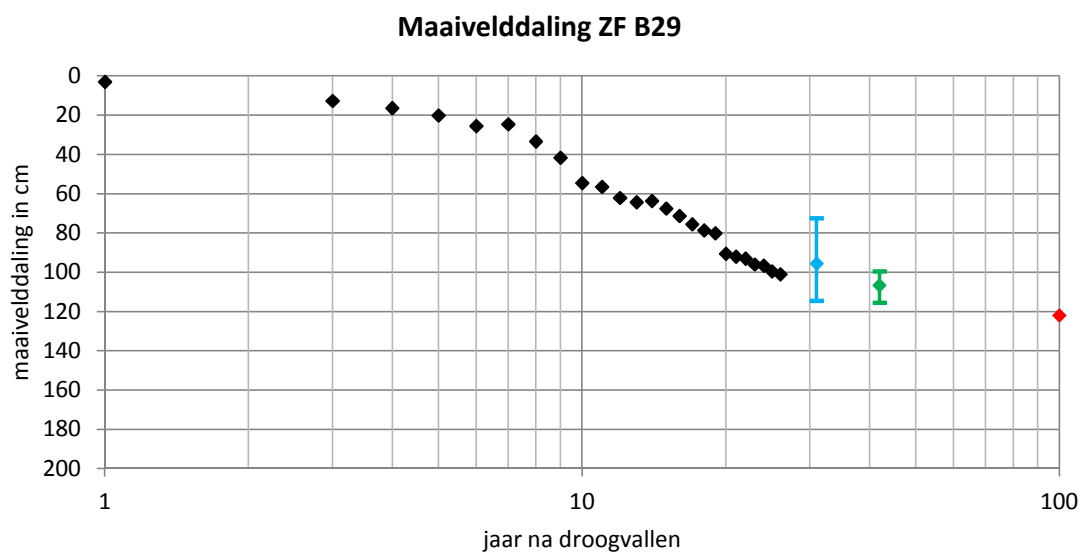
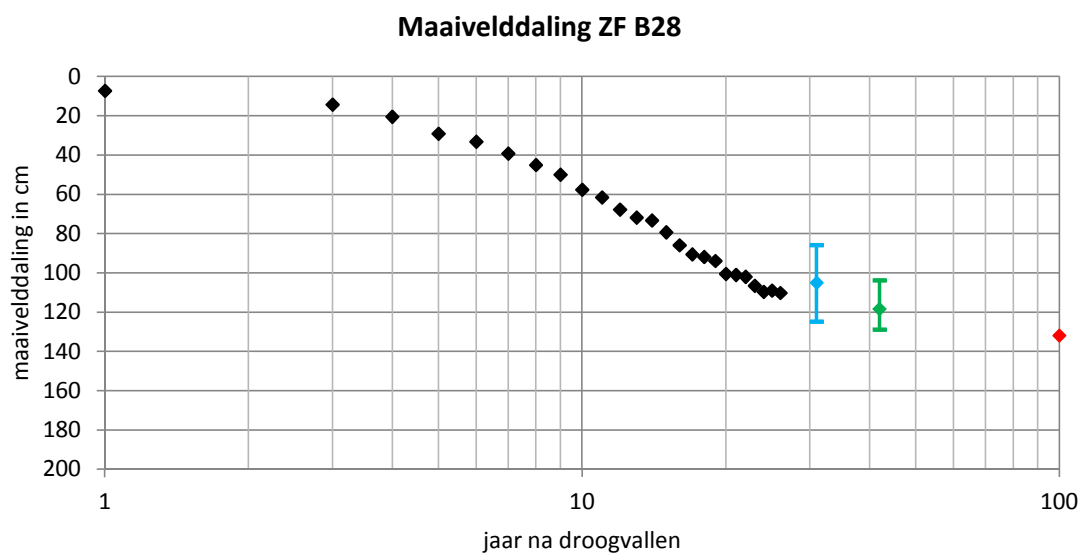
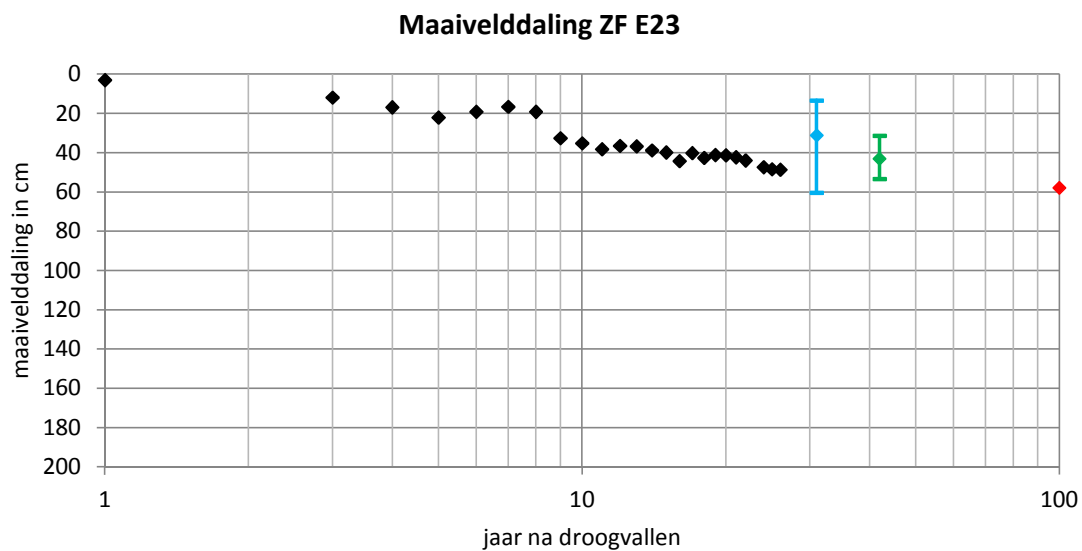
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



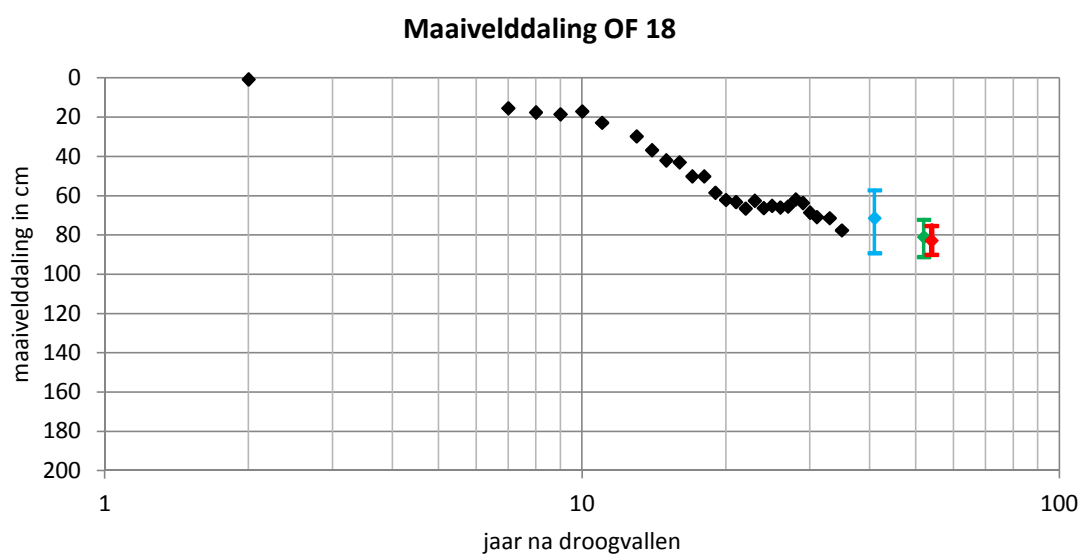
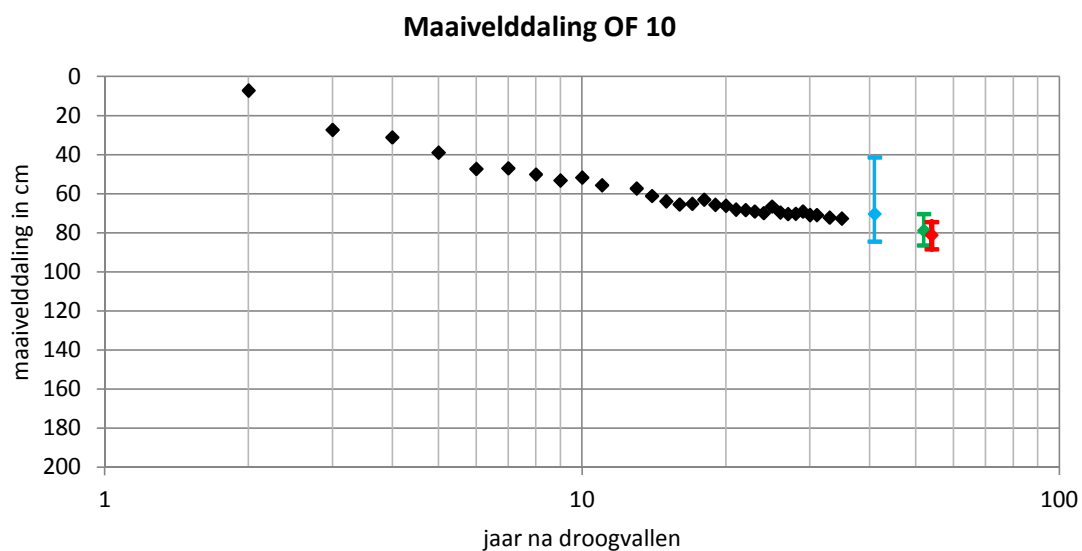
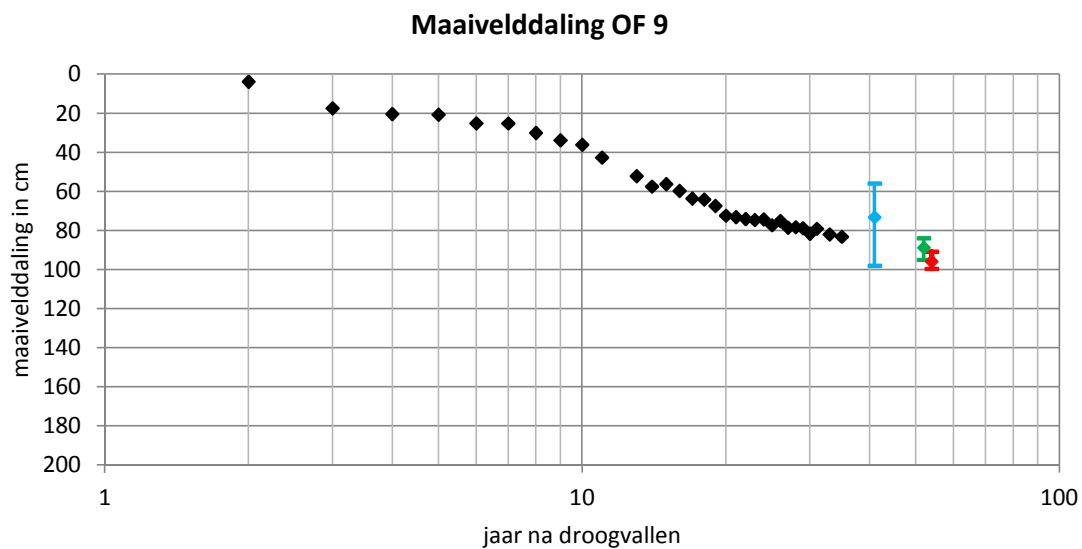
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388



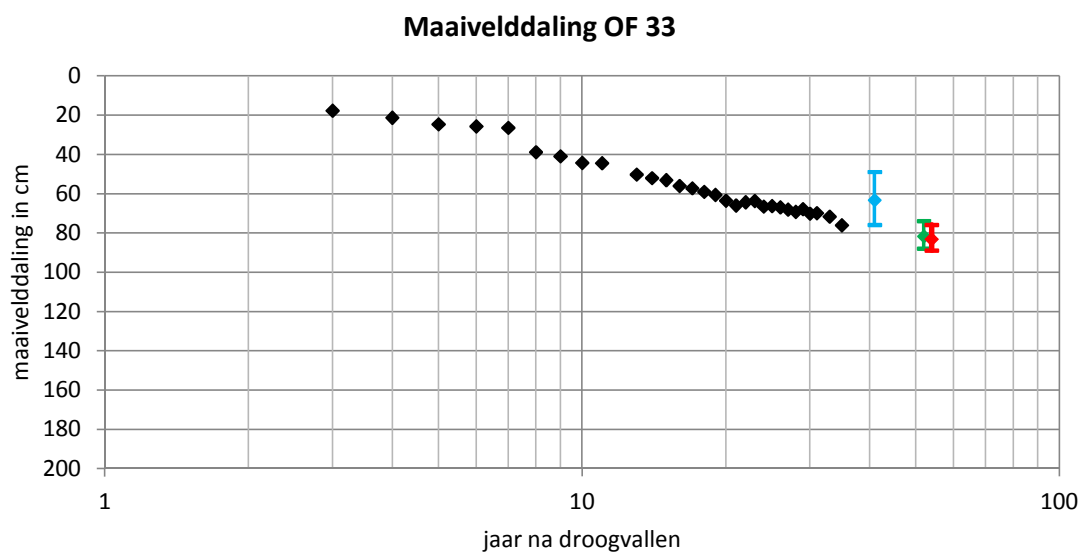
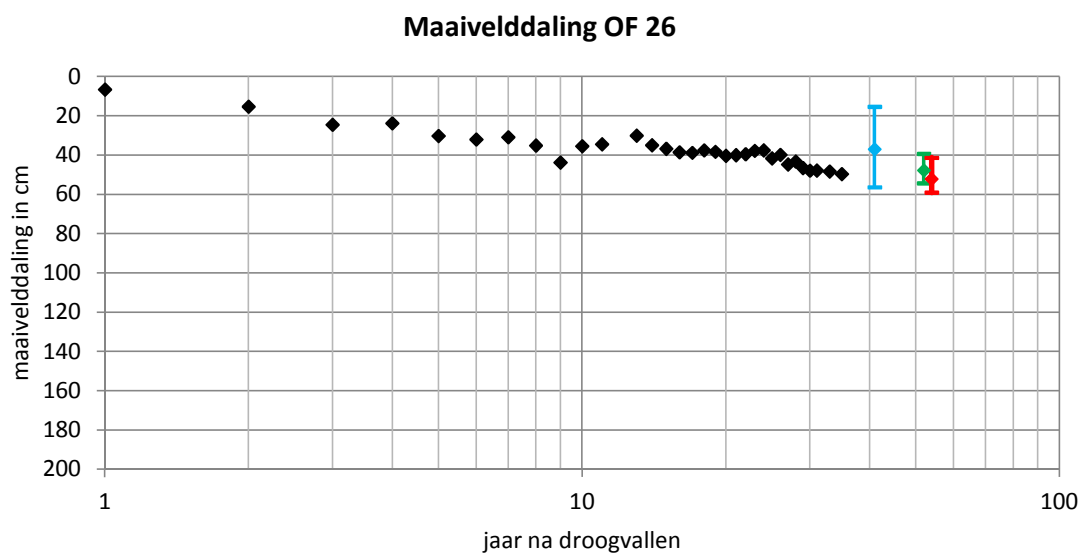
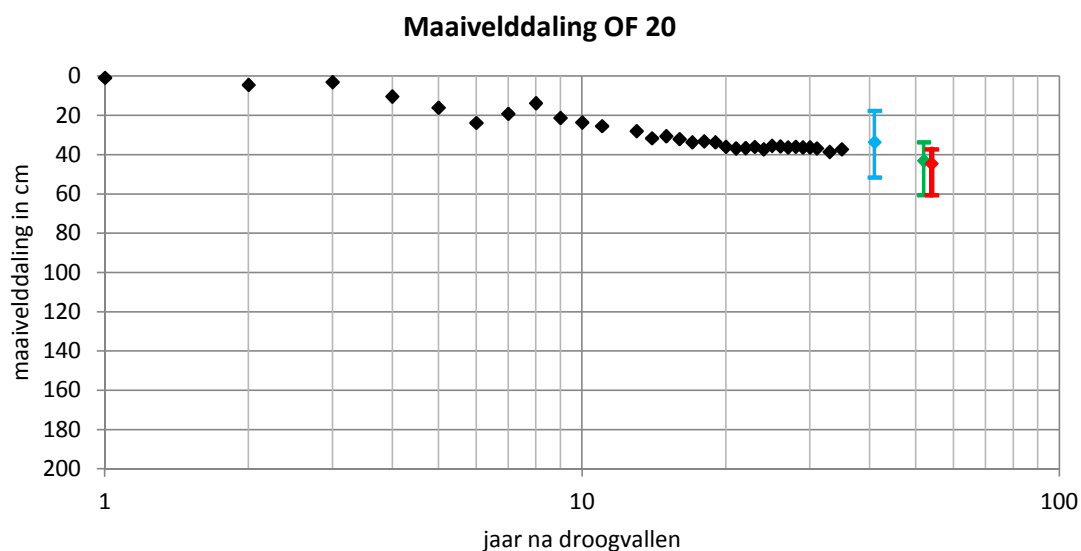
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388

Bijlage 3

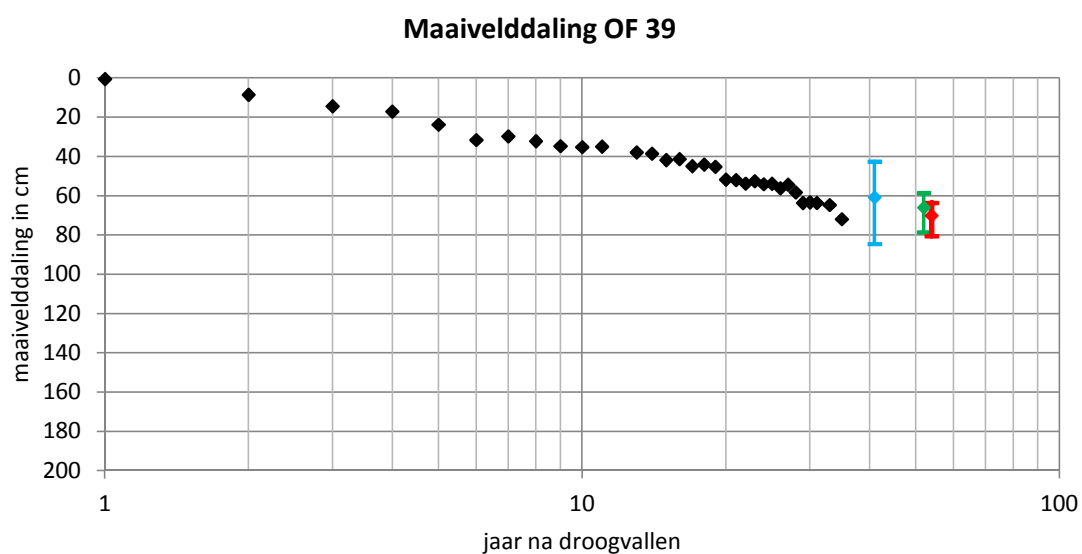
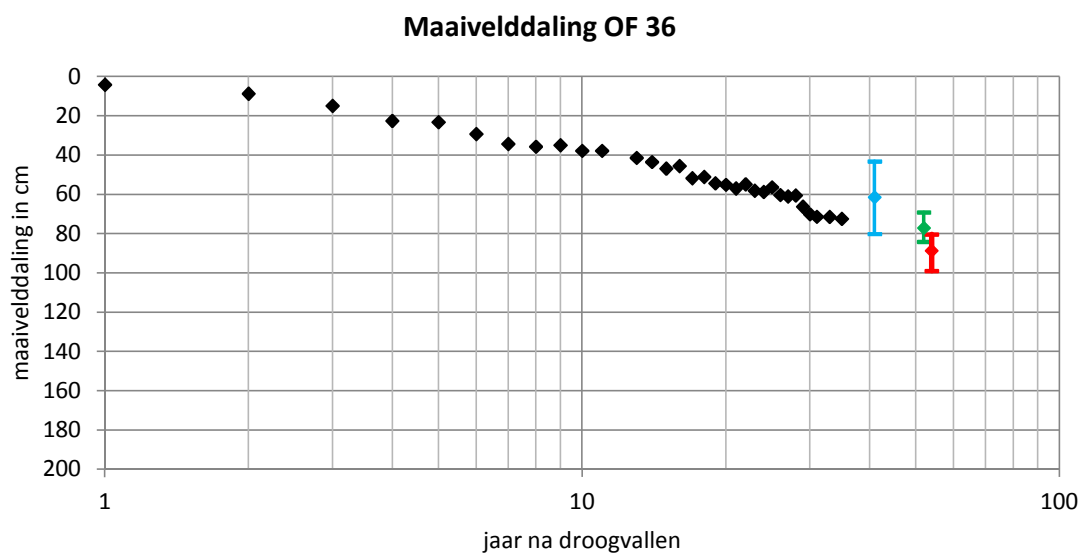
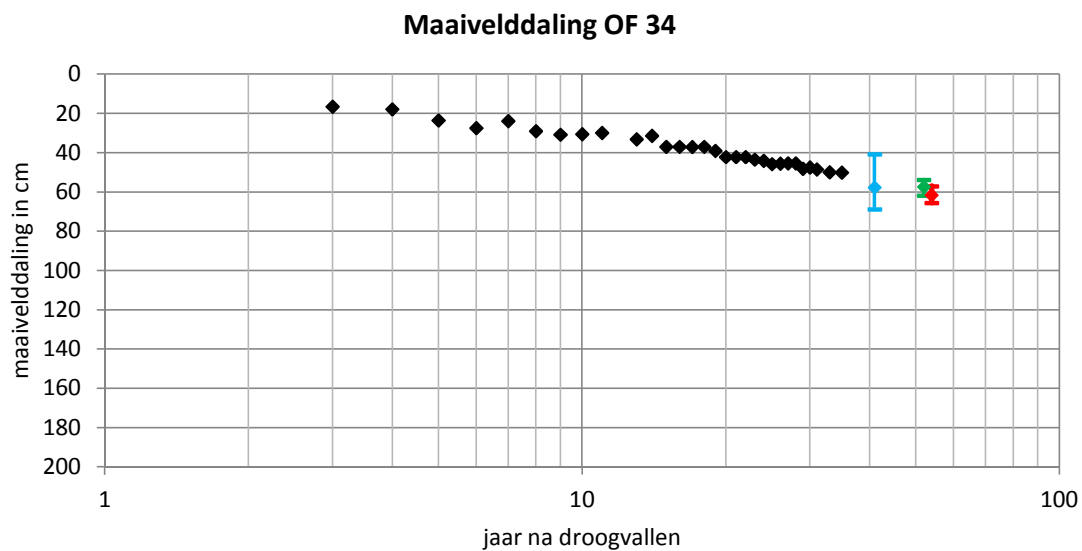
Vergelijk maaiveldddalingen en metingen



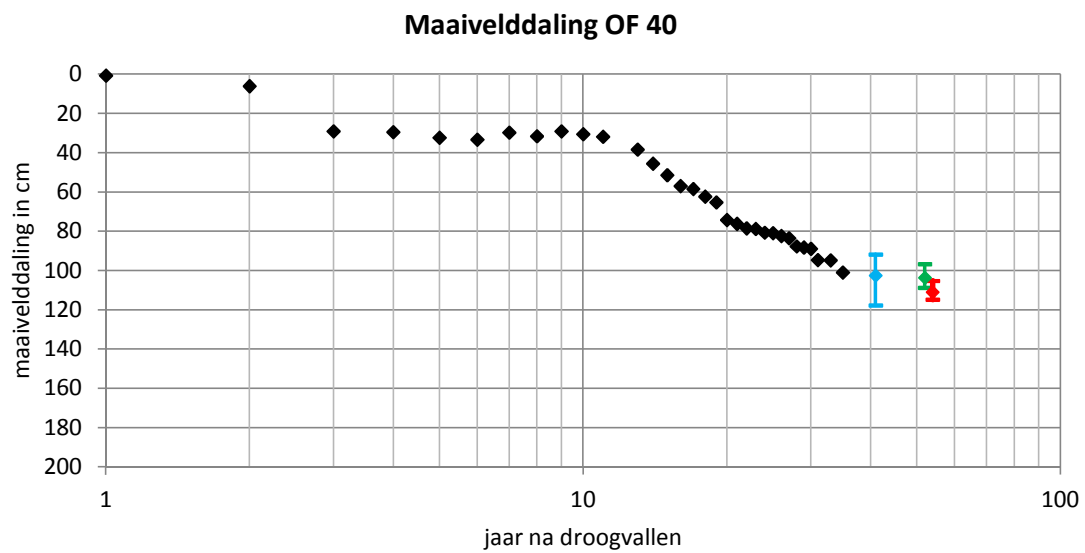
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. terreinmeting, incl. bandbreedte o.b.v. min./max. maaiveldhoogte



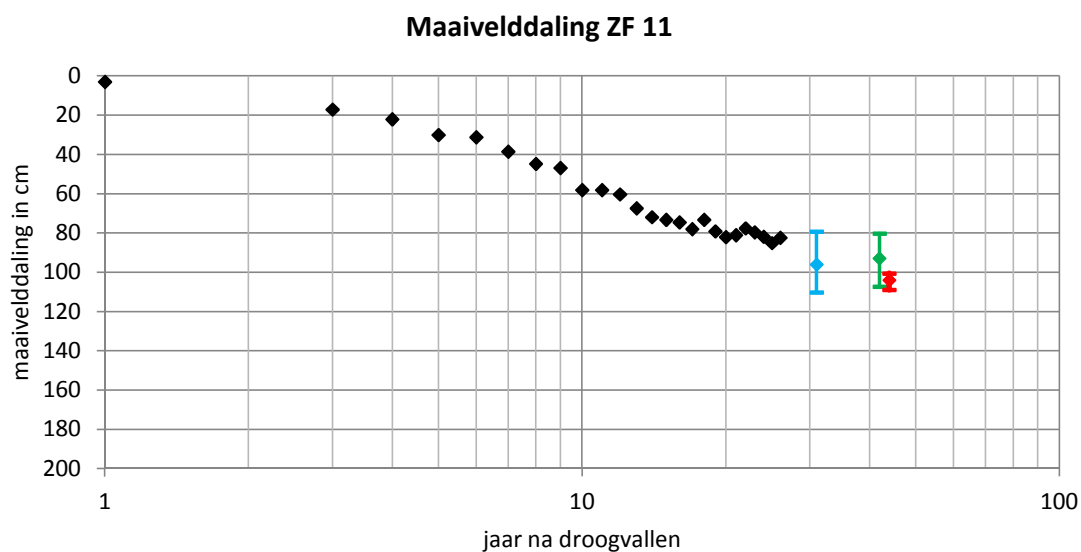
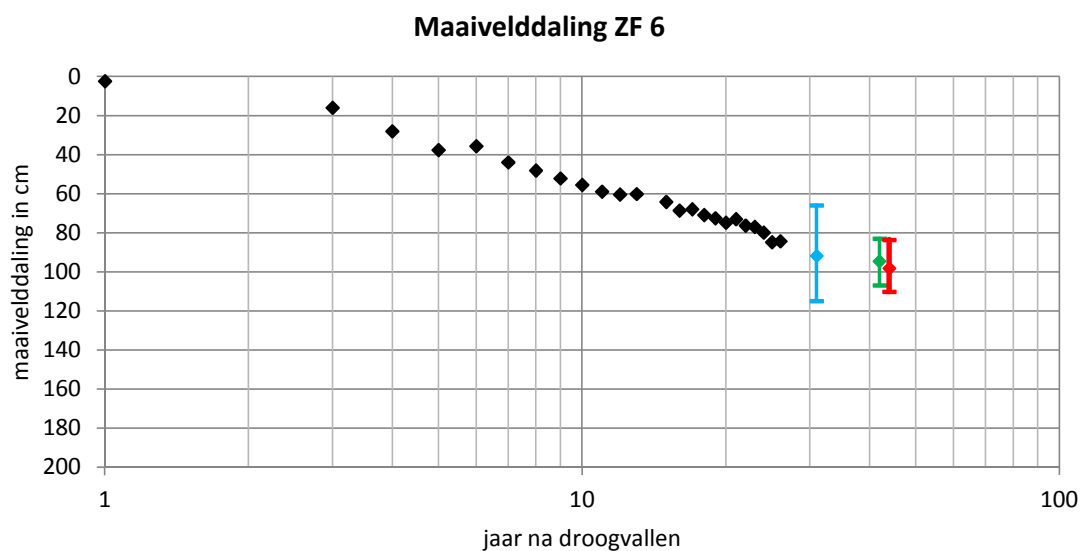
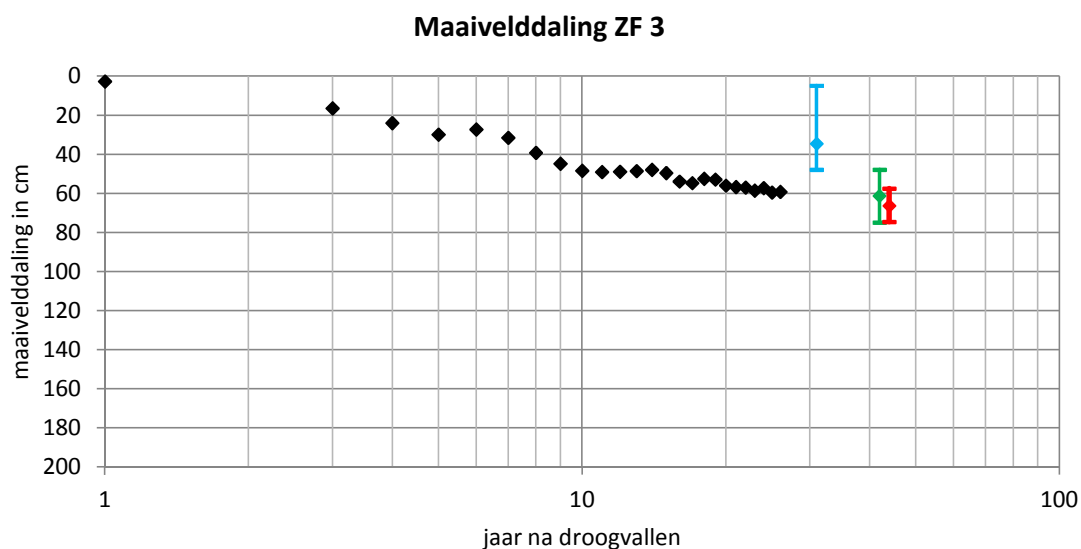
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. terreinmeting, incl. bandbreedte o.b.v. min./max. maaiveldhoogte



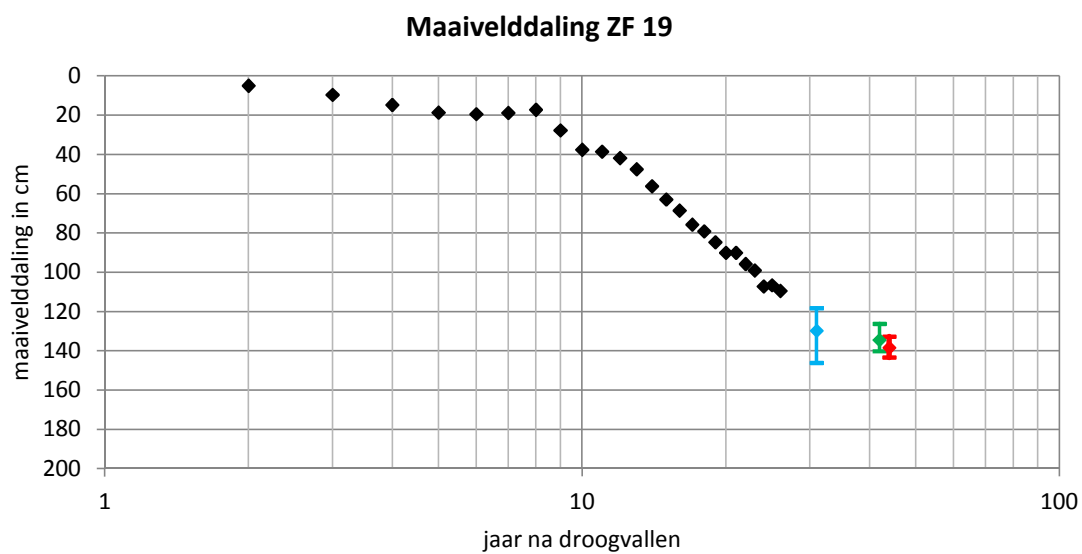
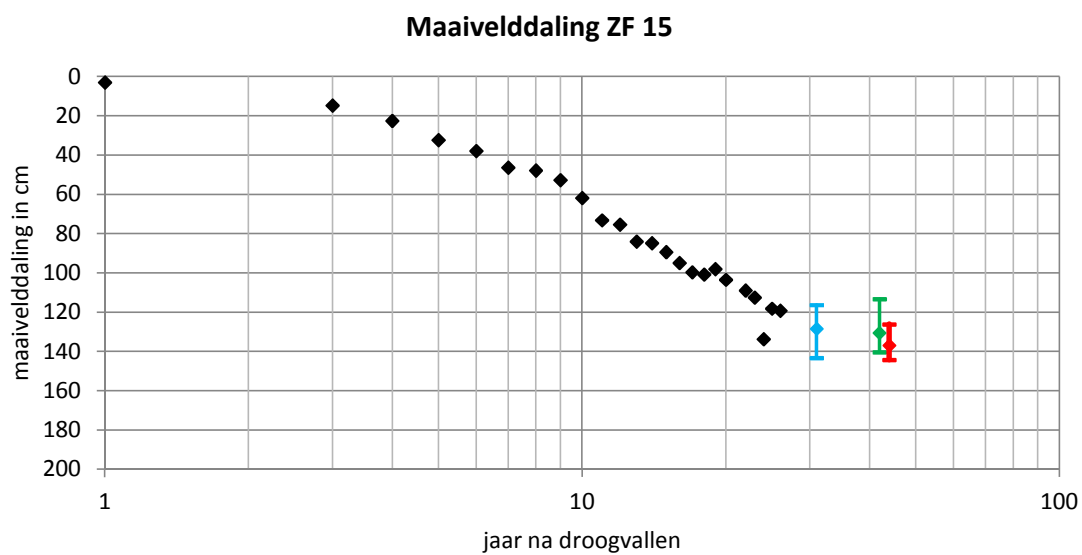
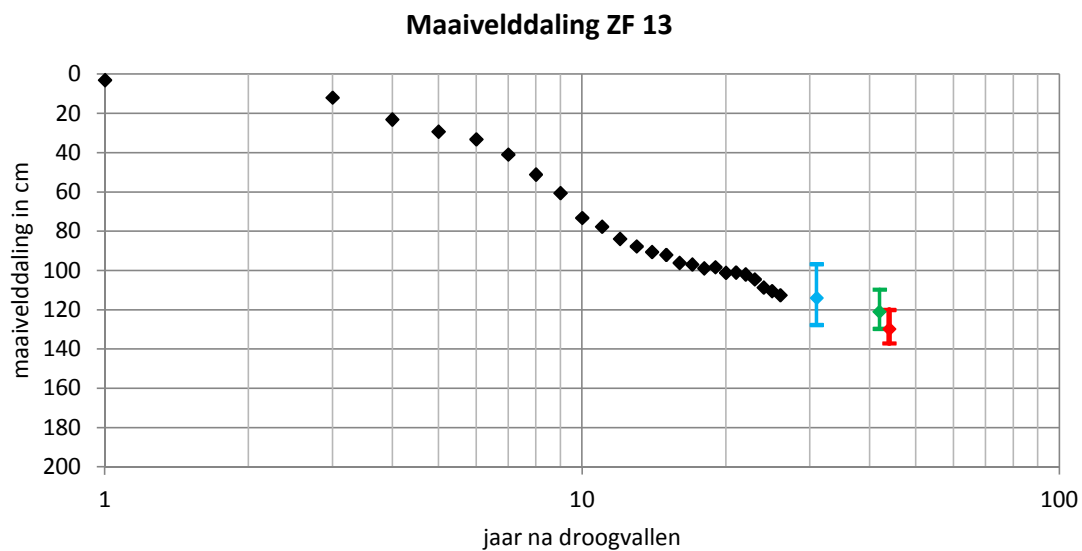
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. terreinmeting, incl. bandbreedte o.b.v. min./max. maaiveldhoogte



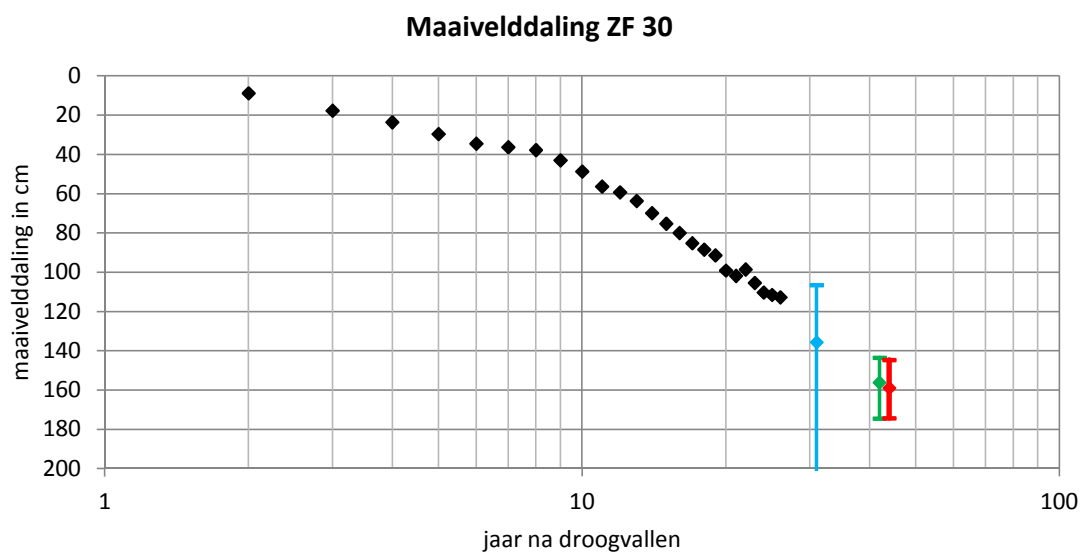
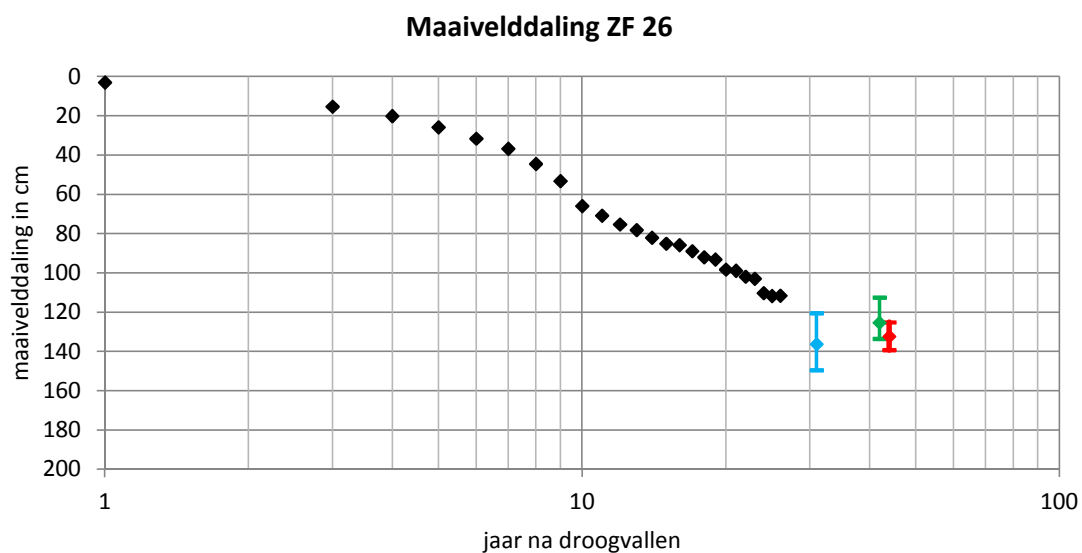
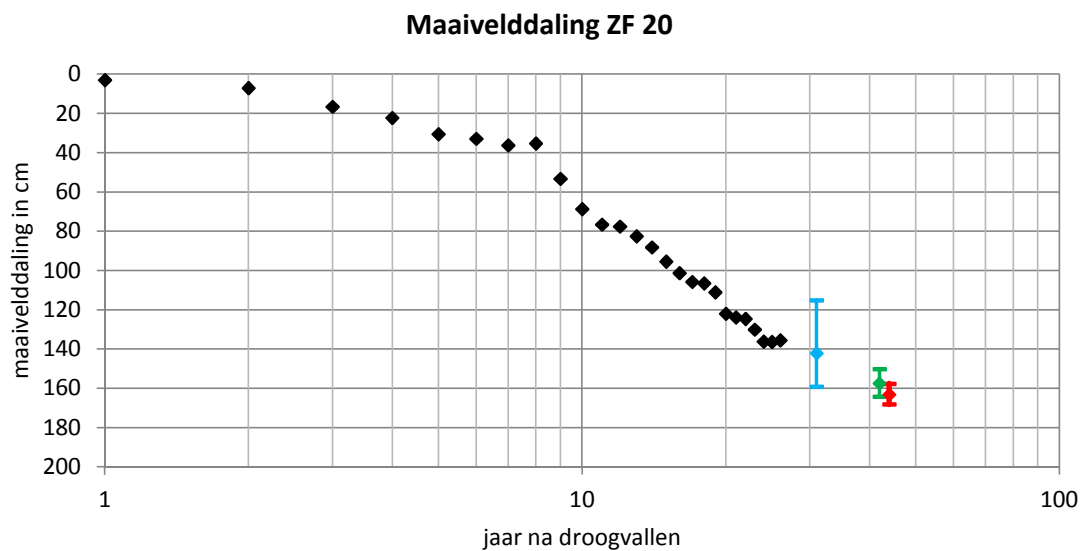
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. terreinmeting, incl. bandbreedte o.b.v. min./max. maaiveldhoogte



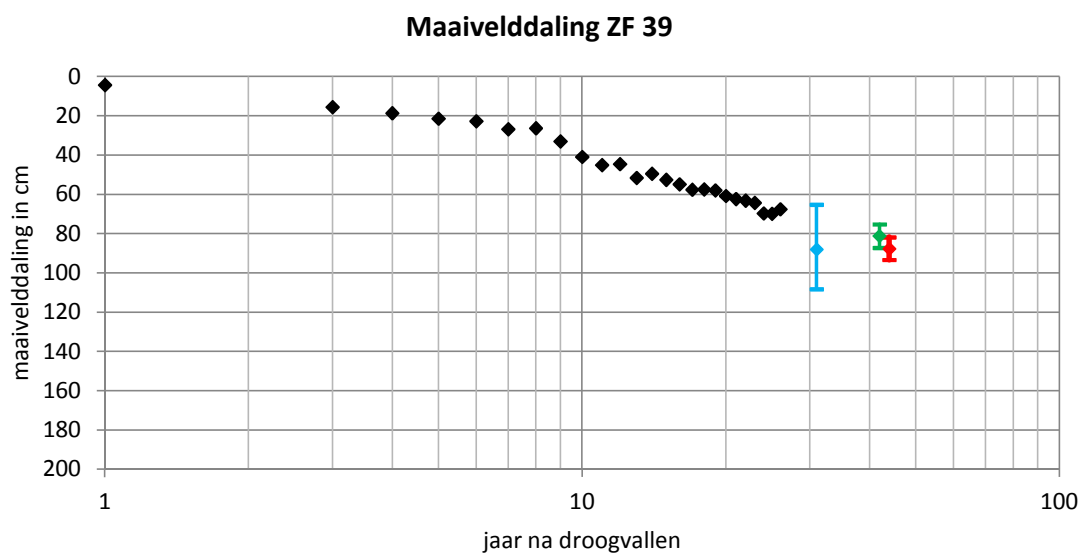
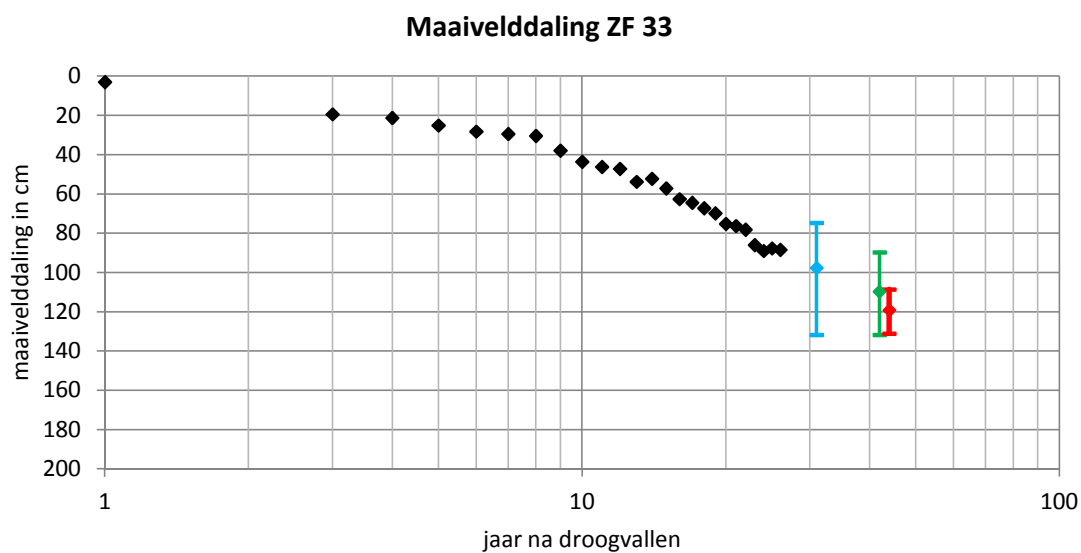
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. terreinmeting, incl. bandbreedte o.b.v. min./max. maaiveldhoogte



zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. terreinmeting, incl. bandbreedte o.b.v. min./max. maaiveldhoogte

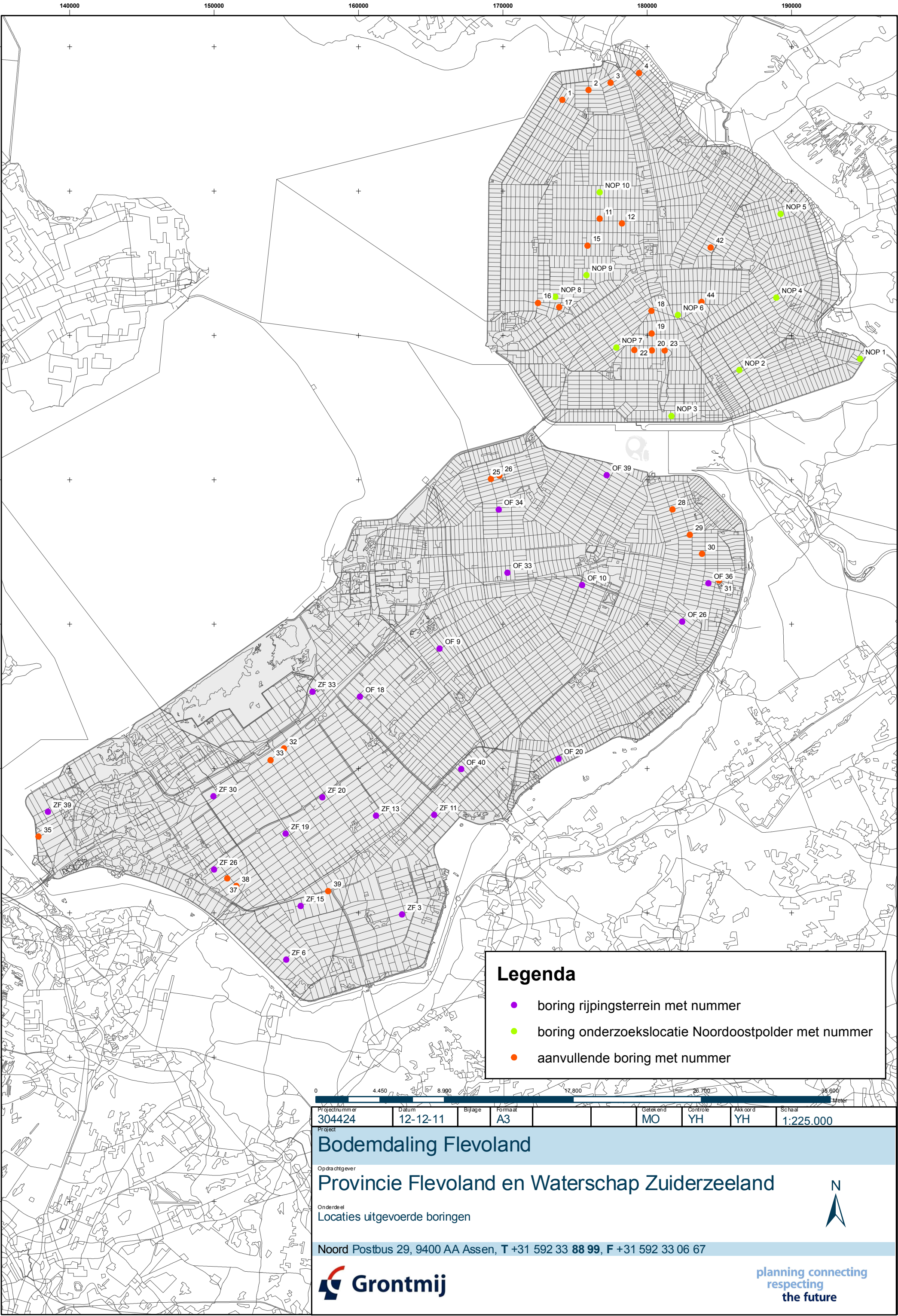


zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. terreinmeting, incl. bandbreedte o.b.v. min./max. maaiveldhoogte



Bijlage 4

Locaties uitgevoerde boringen



Legenda

boring rijpingsterrein met nummer

boring onderzoekslocatie Noordoostpolder met nummer

aanvullende boring met nummer

04.4508.90017.80028.70028.600

Meter

Projectnummer	Datum	Bijlage	Formaat	Getekend	Controle	Akkoord	Schaal
304424	12-12-11		A3	MO	YH	YH	1:225.000

Project

Bodemdaling Flevoland

Opdrachtgever

Provincie Flevoland en Waterschap Zuiderzeeland

Onderdeel

Locaties uitgevoerde boringen

Noord Postbus 29, 9400 AA Assen, T +31 592 33 88 99, F +31 592 33 06 67

Grontmij

planning connecting

respecting

the future

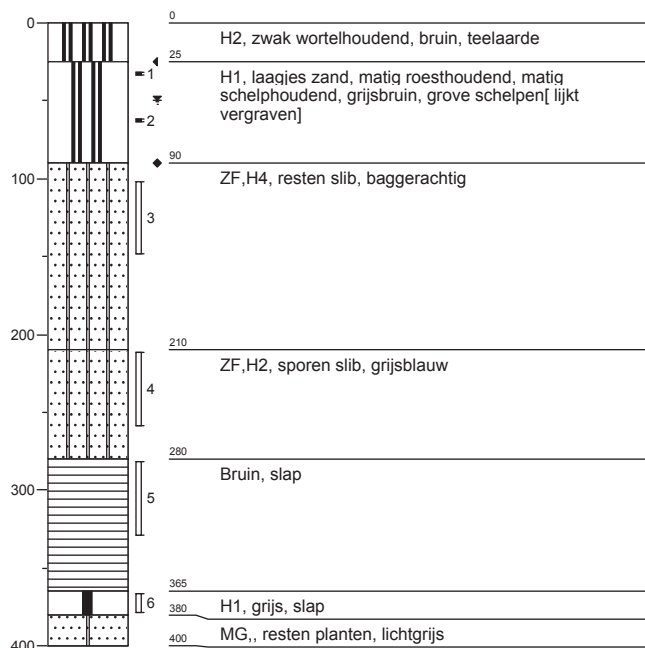
P:\304424\GIS\MXD\Bodemdaling_Flevoland_kleinformat.mxd

Bijlage 5

Boorprofielen + legenda

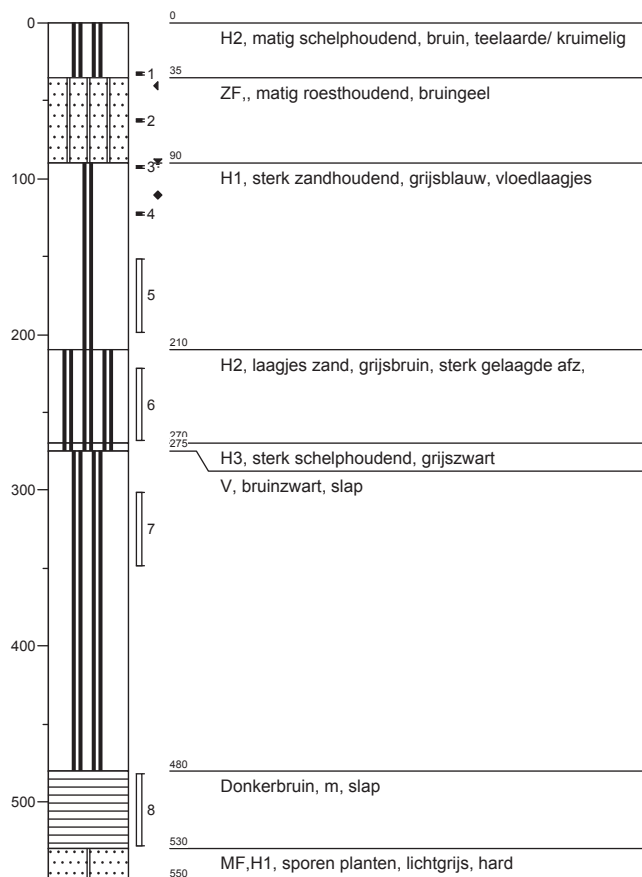
Boring NOP 01

X-coördinaat 194741,522
Y-coördinaat 518375,389
maaiveldhoogte in m + NAP -1,92



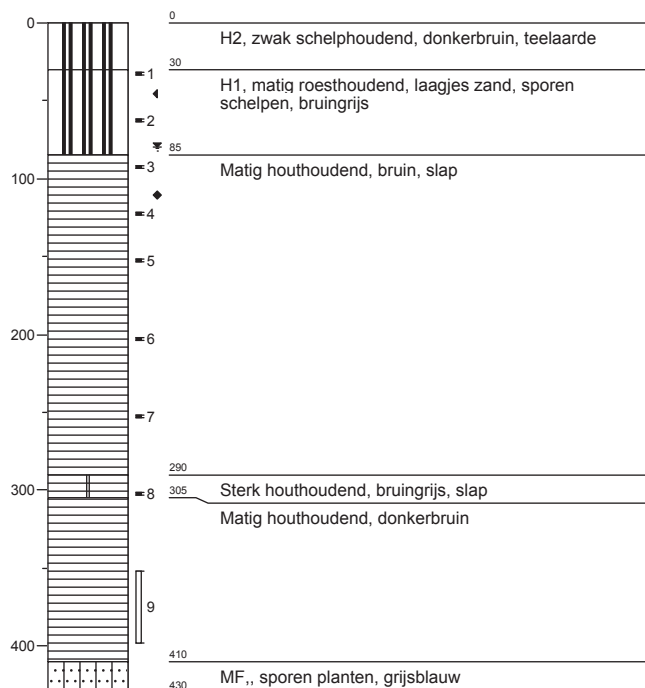
Boring NOP 02

X-coördinaat 186382,708
Y-coördinaat 517603,896
maaiveldhoogte in m + NAP -2,72



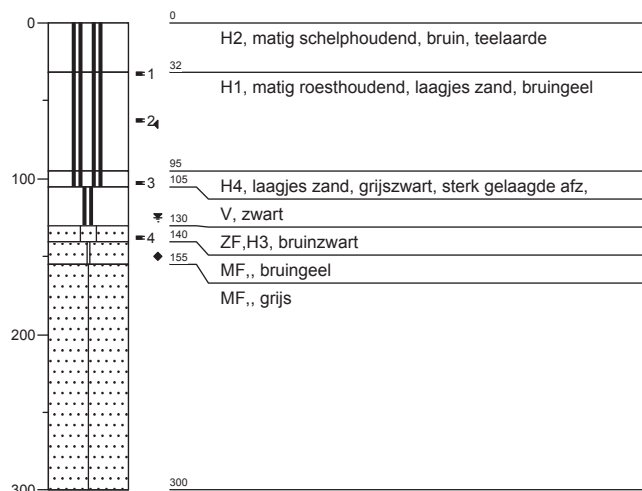
Boring NOP 03

X-coördinaat 181683,534
Y-coördinaat 514424,674
maaiveldhoogte in m + NAP -3,69



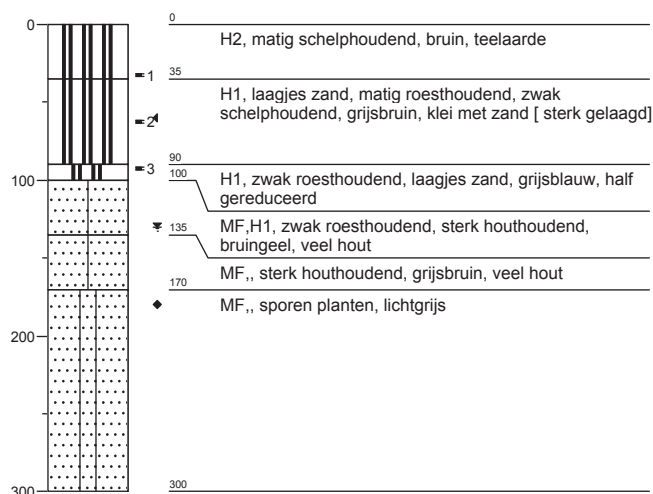
Boring NOP 04

X-coördinaat 188945,108
Y-coördinaat 522626,852
maaiveldhoogte in m + NAP -3,03



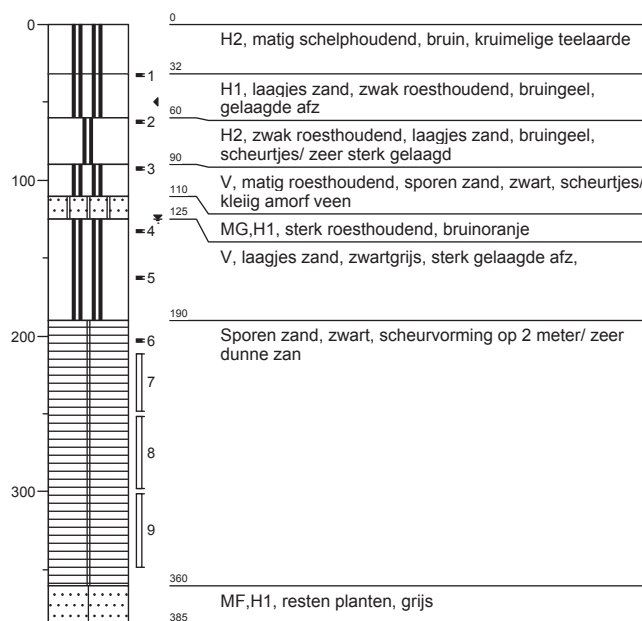
Boring NOP 05

X-coördinaat 189234,579
Y-coördinaat 528419,229
maaiveldhoogte in m + NAP -3,17



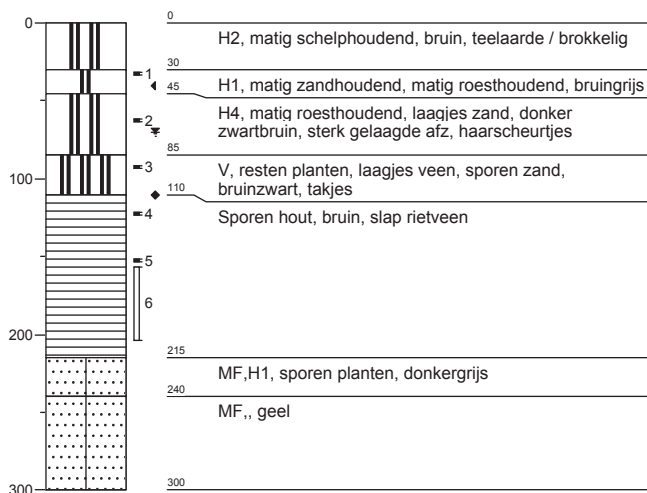
Boring NOP 06

X-coördinaat 182119,764
Y-coördinaat 521429,68
maaiveldhoogte in m + NAP -3,71



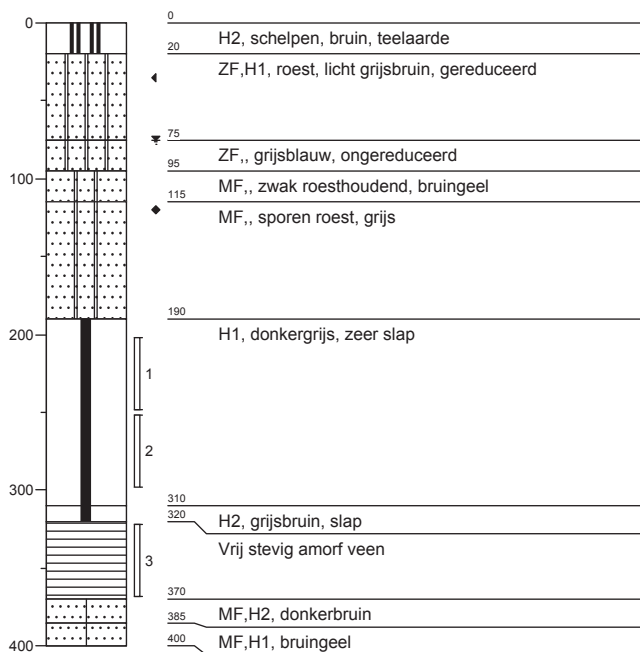
Boring NOP 07

X-coördinaat 177869,41
Y-coördinaat 519168,779
maaiveldhoogte in m + NAP -4,47



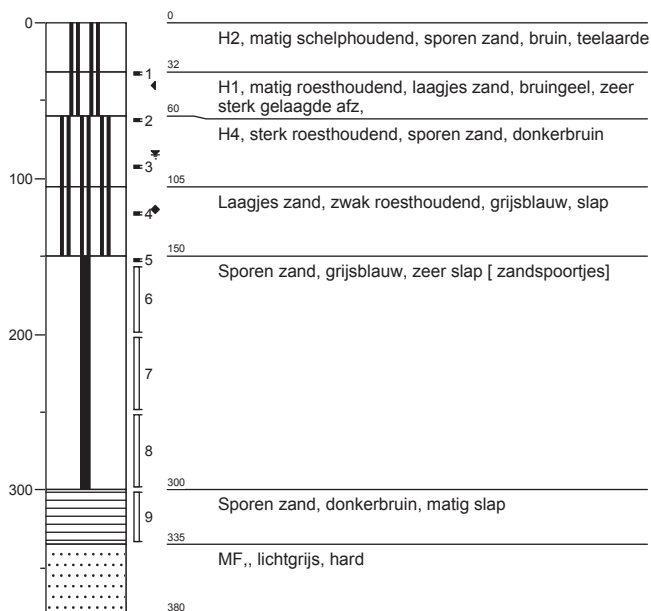
Boring NOP 08

X-coördinaat 173638,493
Y-coördinaat 522682,277
maaiveldhoogte in m + NAP -4,65



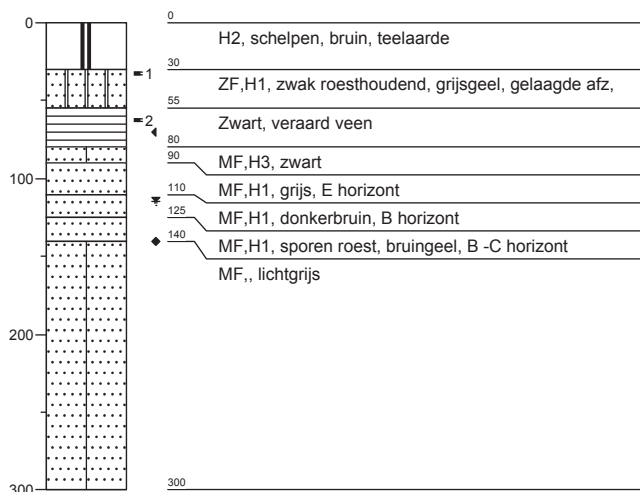
Boring NOP 09

X-coördinaat 175784,462
Y-coördinaat 524183,02
maaiveldhoogte in m + NAP -4,6



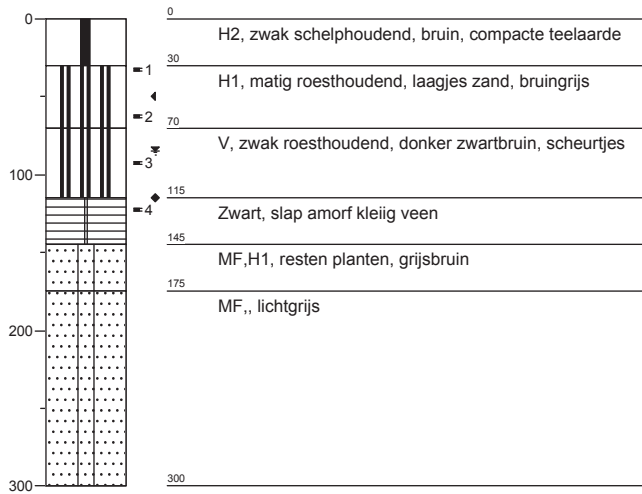
Boring NOP 10

X-coördinaat 176709,748
Y-coördinaat 529918,202
maaiveldhoogte in m + NAP -4,19



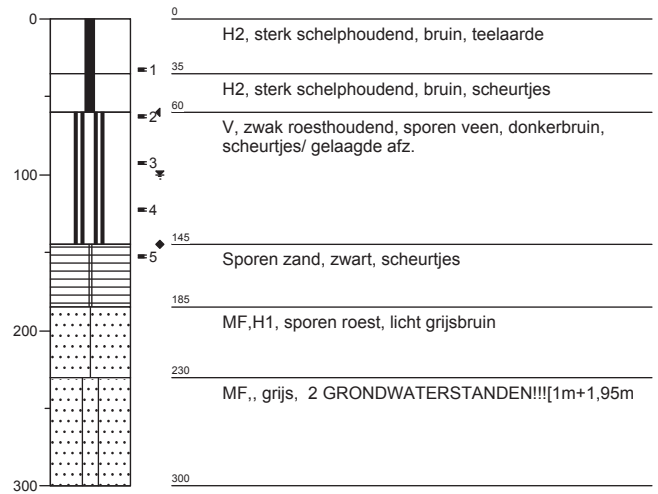
Boring OF 09

X-coördinaat 165618,967
Y-coördinaat 498308,523
maaiveldhoogte in m + NAP -4,57



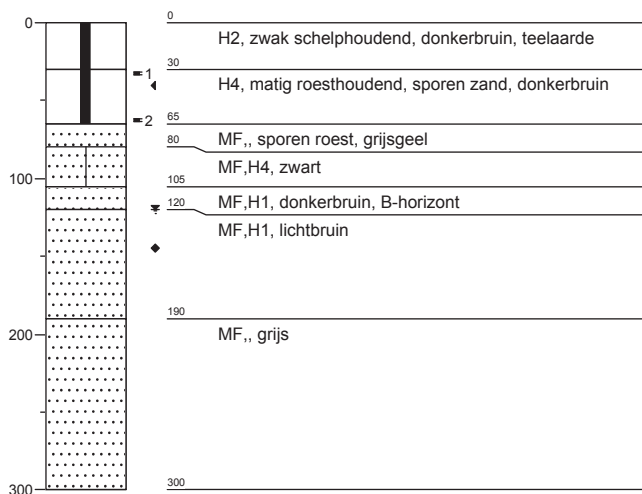
Boring OF 10

X-coördinaat 175475,827
Y-coördinaat 502704,414
maaiveldhoogte in m + NAP -4,21



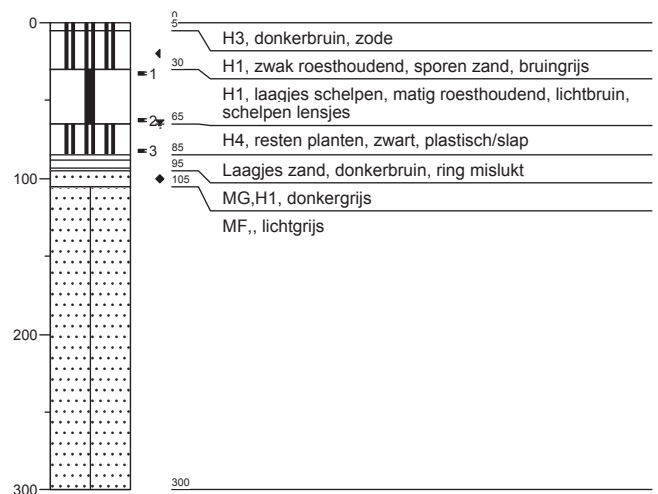
Boring OF 18

X-coördinaat 160103,823
Y-coördinaat 494979,68
maaiveldhoogte in m + NAP -4,21



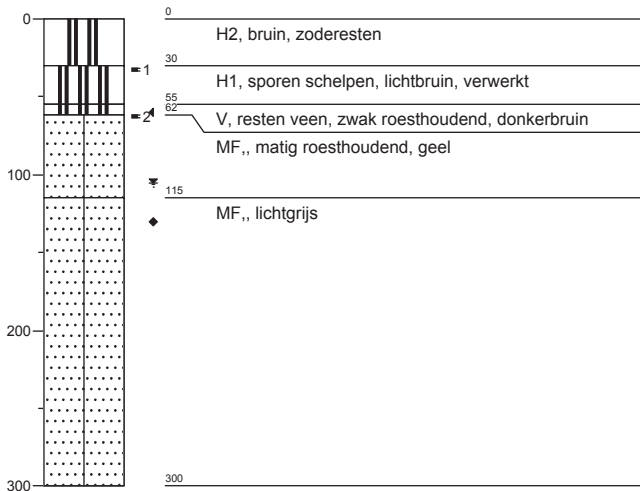
Boring OF 20

X-coördinaat 173868,484
Y-coördinaat 490677,522
maaiveldhoogte in m + NAP -2,97



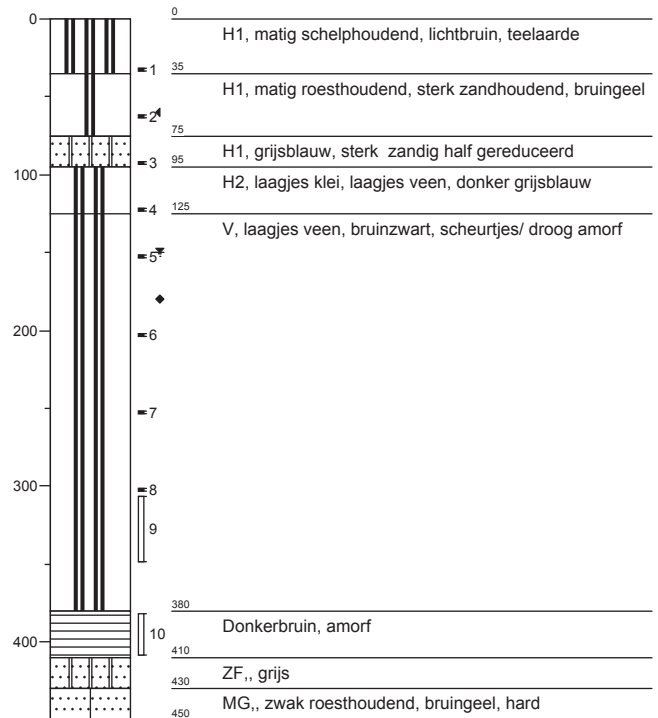
Boring OF 26

X-coördinaat 184424,329
Y-coördinaat 500170,902
maaiveldhoogte in m + NAP -3,06



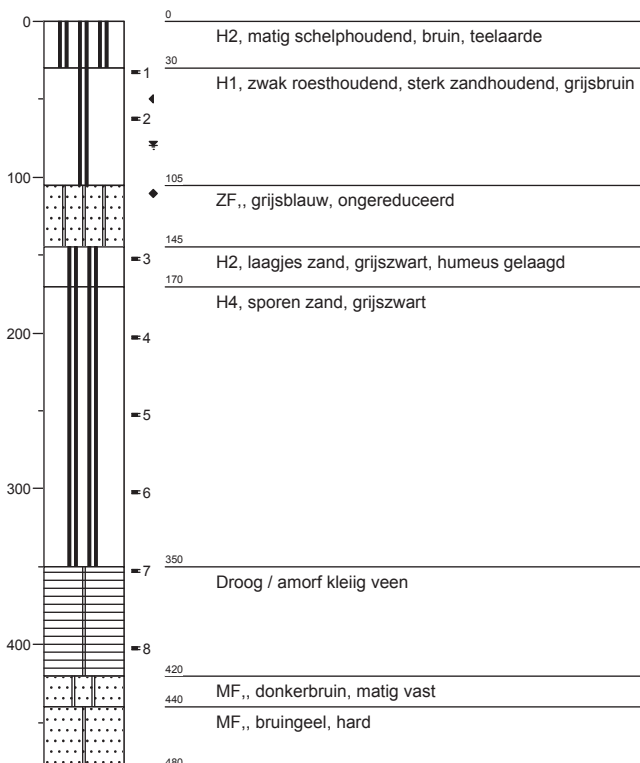
Boring OF 33

X-coördinaat 170326,25
Y-coördinaat 503569,5
maaiveldhoogte in m + NAP -4,5



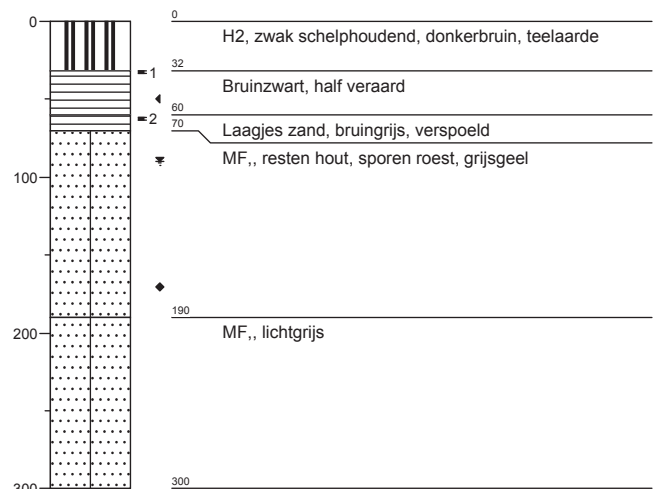
Boring OF 34

X-coördinaat 169712,83
Y-coördinaat 507938,505
maaiveldhoogte in m + NAP -4,49



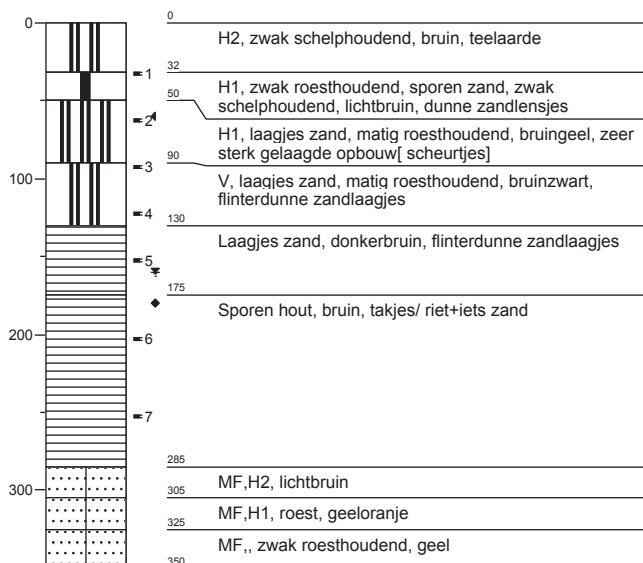
Boring OF 36

X-coördinaat 184231,985
Y-coördinaat 502829,577
maaiveldhoogte in m + NAP -3,52



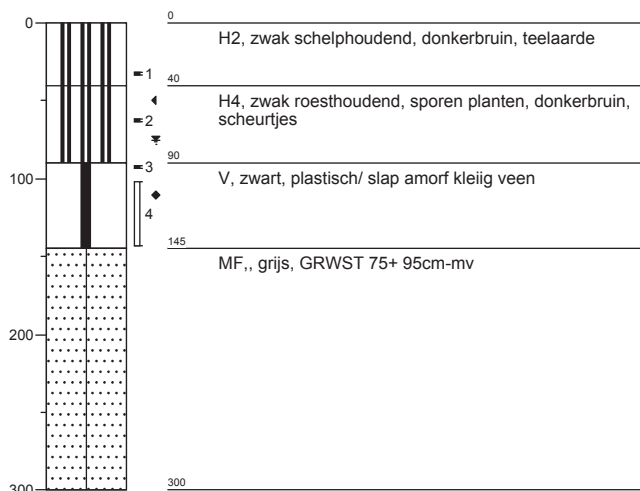
Boring OF 39

X-coördinaat 177189,854
Y-coördinaat 510318,46
maaiveldhoogte in m + NAP -4,18



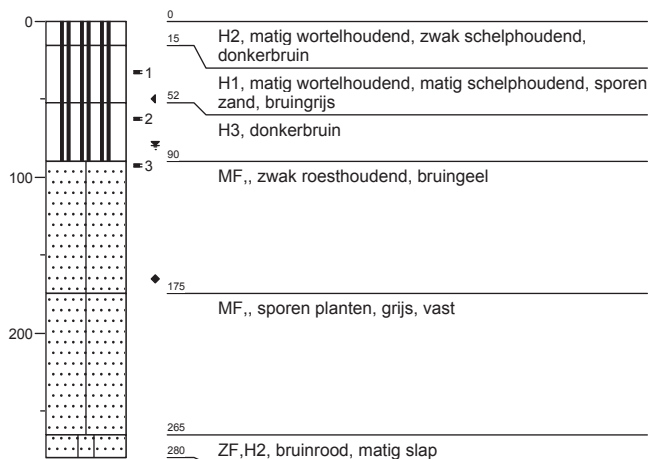
Boring OF 40

X-coördinaat 167111,842
Y-coördinaat 489954,199
maaiveldhoogte in m + NAP -3,89



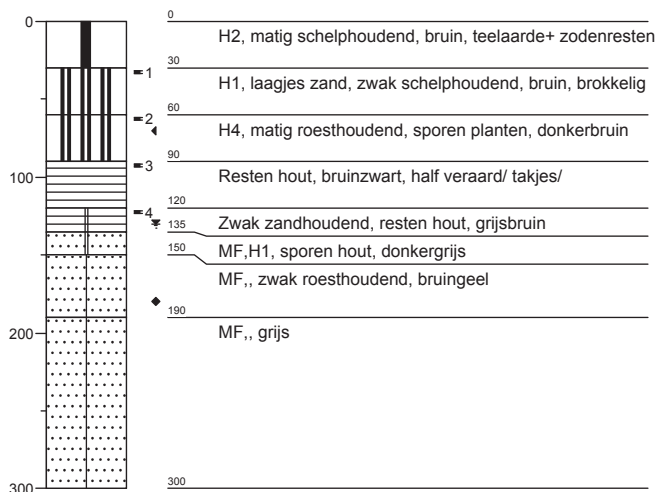
Boring ZF 03

X-coördinaat 163014,838
Y-coördinaat 479878,002
maaiveldhoogte in m + NAP -2,88



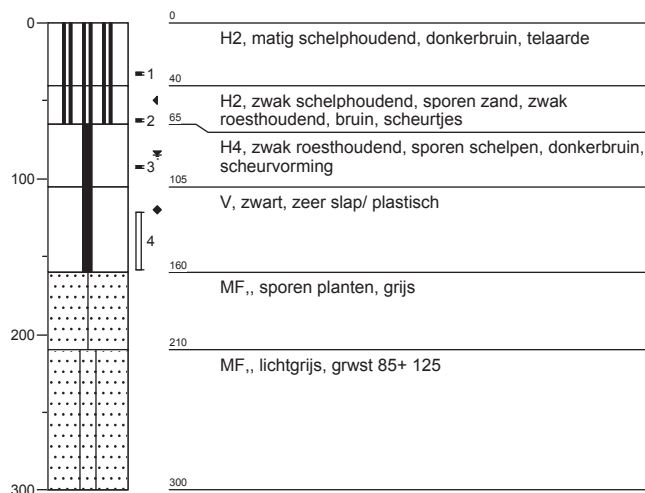
Boring ZF 06

X-coördinaat 155000,015
Y-coördinaat 476750,036
maaiveldhoogte in m + NAP -2,93



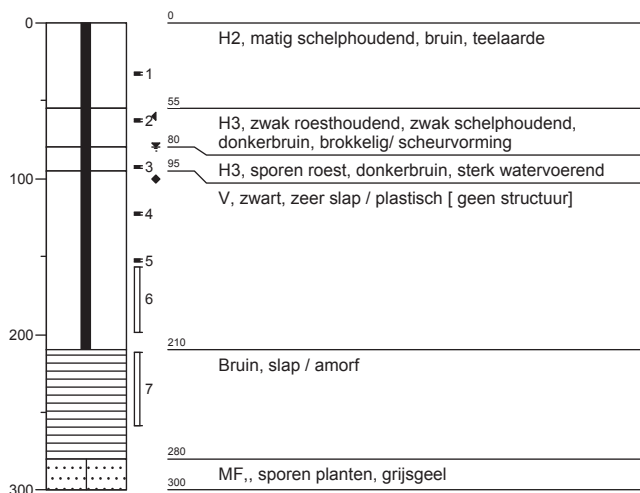
Boring ZF 11

X-coördinaat 165253,325
Y-coördinaat 486789,009
maaiveldhoogte in m + NAP -3,62



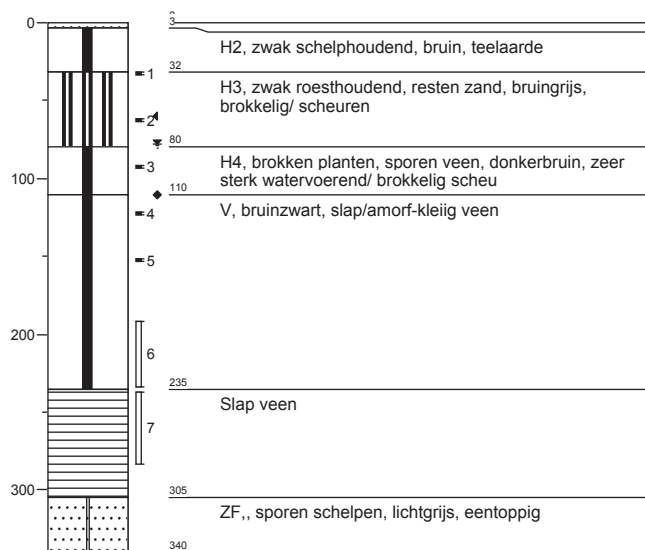
Boring ZF 13

X-coördinaat 161216,227
Y-coördinaat 486737,926
maaiveldhoogte in m + NAP -4,16



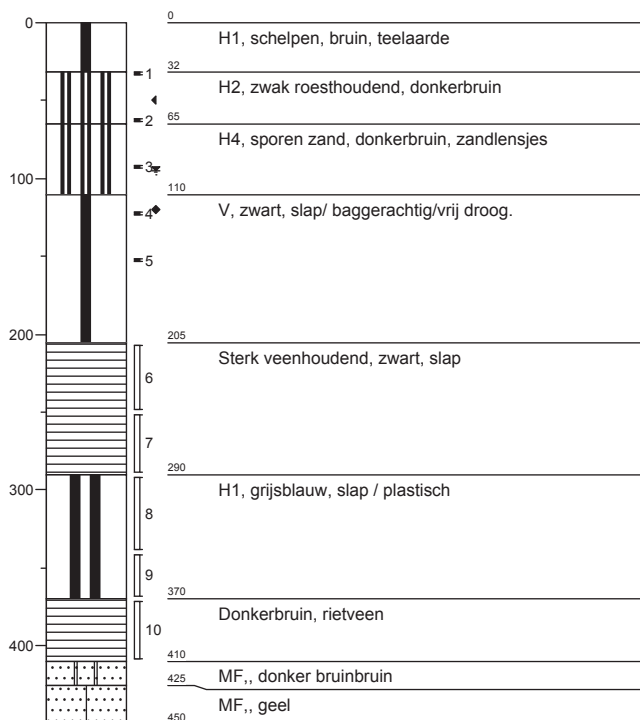
Boring ZF 15

X-coördinaat 156008,817
Y-coördinaat 480463,39
maaiveldhoogte in m + NAP -4,21



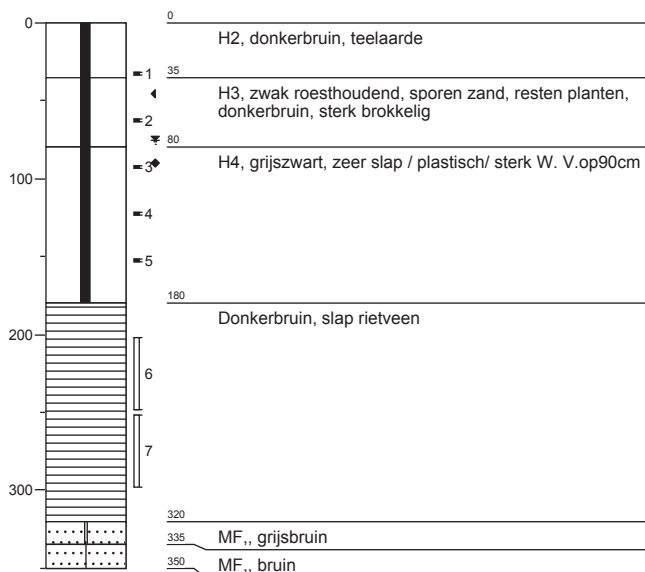
Boring ZF 19

X-coördinaat 154963,182
Y-coördinaat 485484,118
maaiveldhoogte in m + NAP -4,6



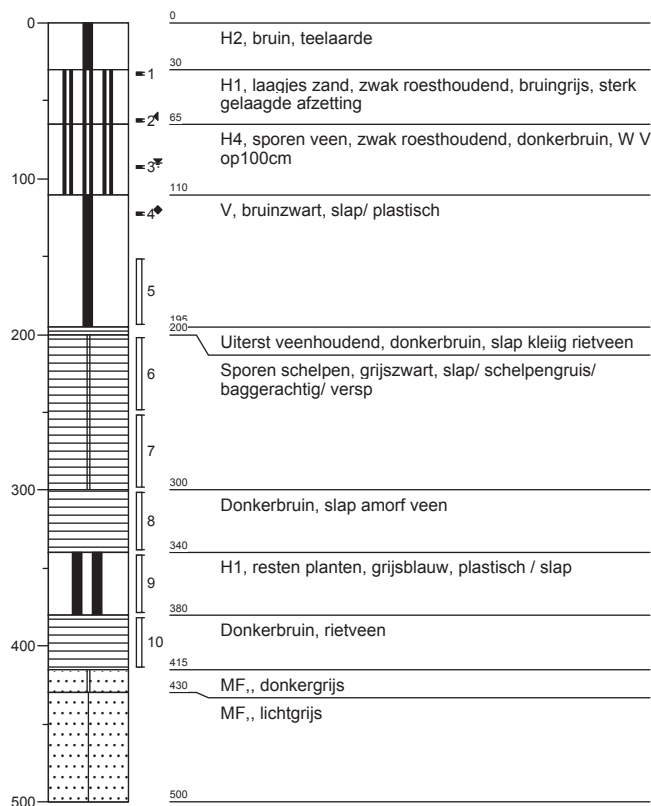
Boring ZF 20

X-coördinaat 157497,16
Y-coördinaat 488001,657
maaiveldhoogte in m + NAP -4,85



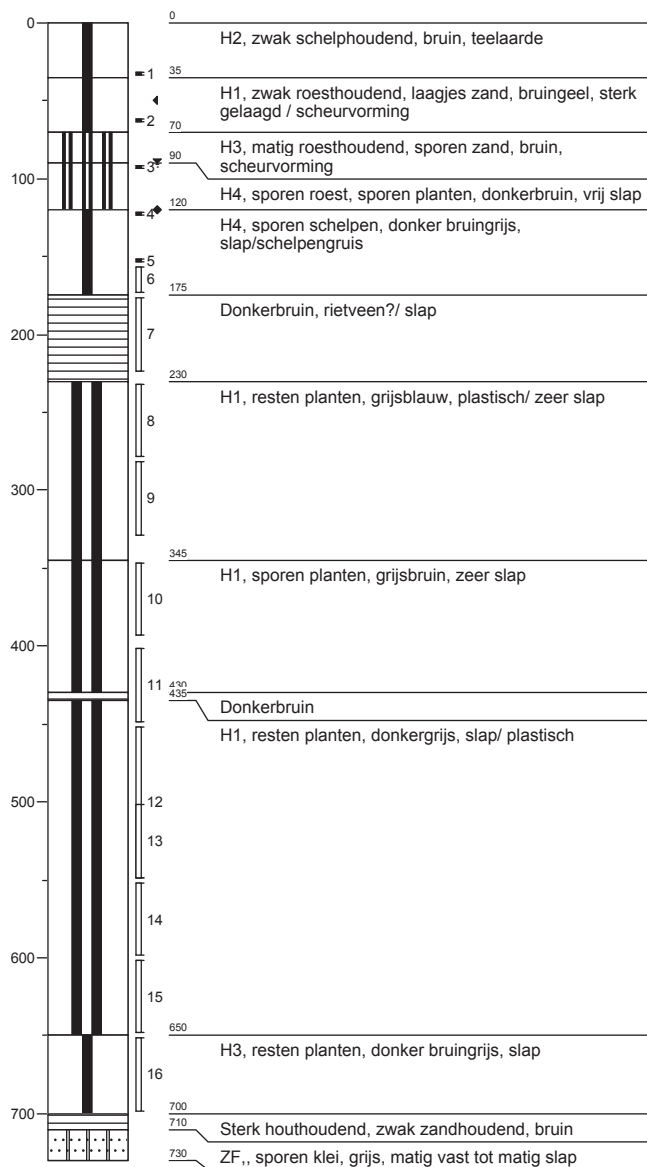
Boring ZF 26

X-coördinaat 149999,736
Y-coördinaat 483000,84
maaiveldhoogte in m + NAP -4,25



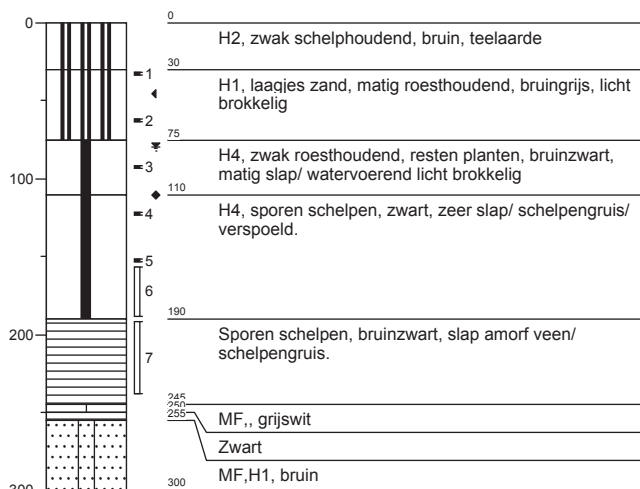
Boring ZF 30

X-coördinaat 149956,871
Y-coördinaat 488070,369
maaiveldhoogte in m + NAP -4,92



Boring ZF 33

X-coördinaat 156819,709
Y-coördinaat 495318,407
maaiveldhoogte in m + NAP -4,59

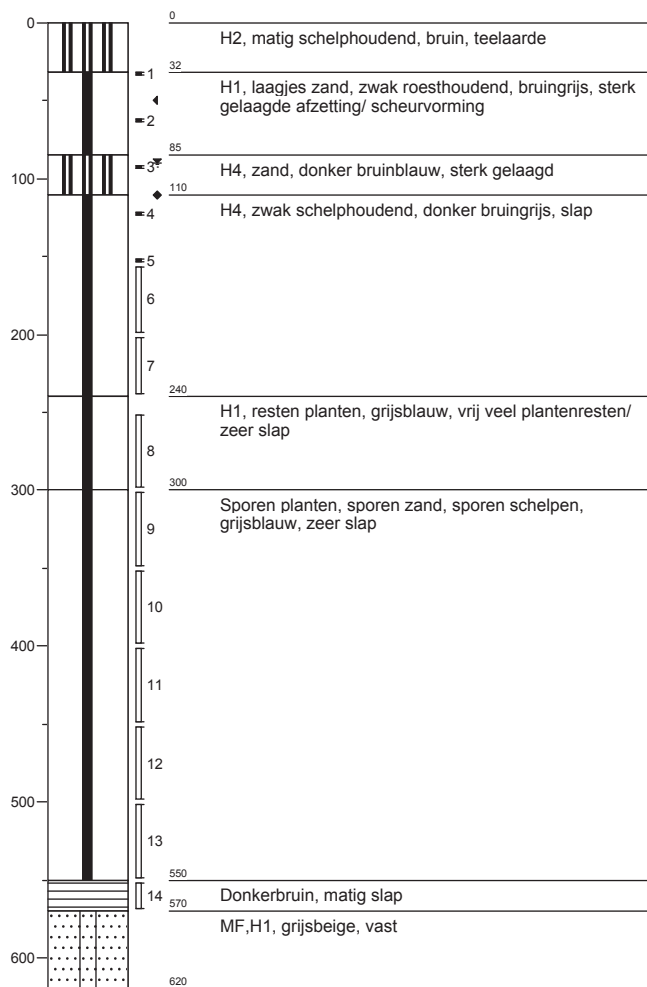


Boring ZF 39

X-coördinaat 138500,029

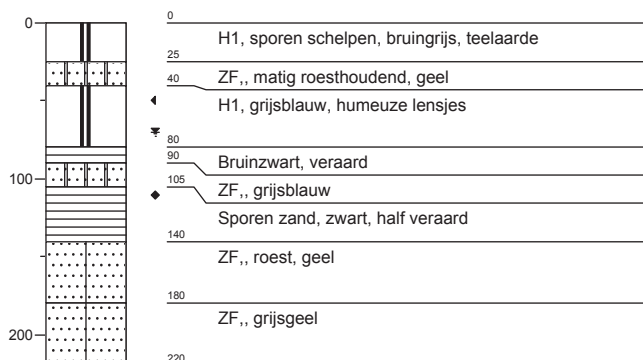
Y-coördinaat 487000,015

maaiveldhoogte in m + NAP -3,85



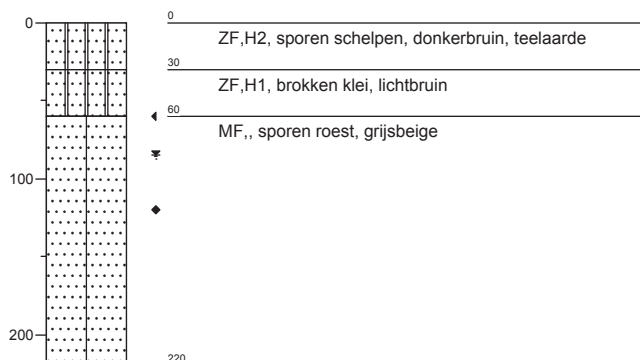
Boring 1

X-coördinaat 174126,453
Y-coördinaat 536323,896
maaiveldhoogte in m + NAP -3,64



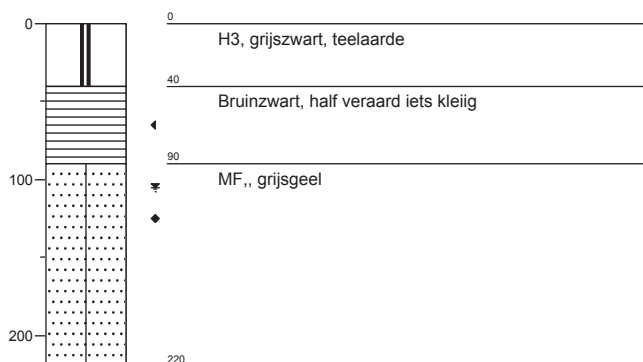
Boring 2

X-coördinaat 175938,736
Y-coördinaat 537012,582
maaiveldhoogte in m + NAP -3,75



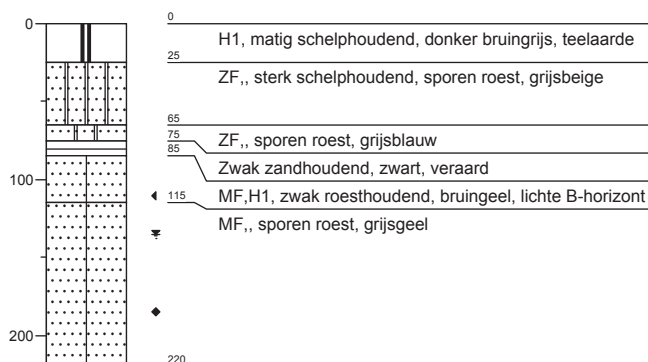
Boring 3

X-coördinaat 177472,537
Y-coördinaat 537519,97
maaiveldhoogte in m + NAP -3,74



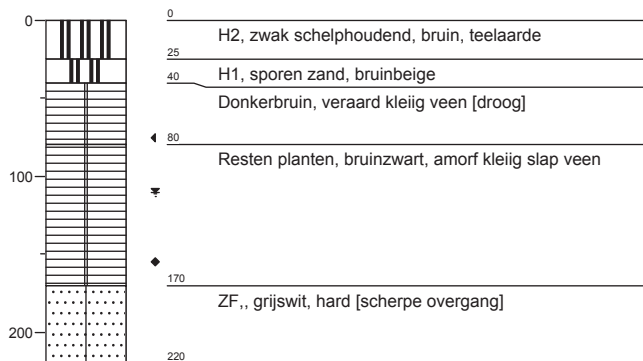
Boring 4

X-coördinaat 179438,465
Y-coördinaat 538187,108
maaiveldhoogte in m + NAP -2,13



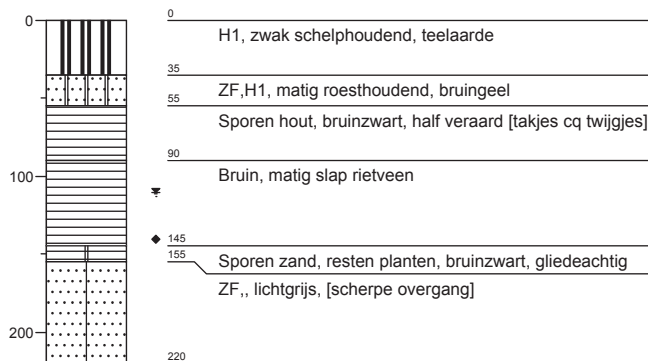
Boring 11

X-coördinaat 176710,487
Y-coördinaat 528092,739
maaiveldhoogte in m + NAP -4,53



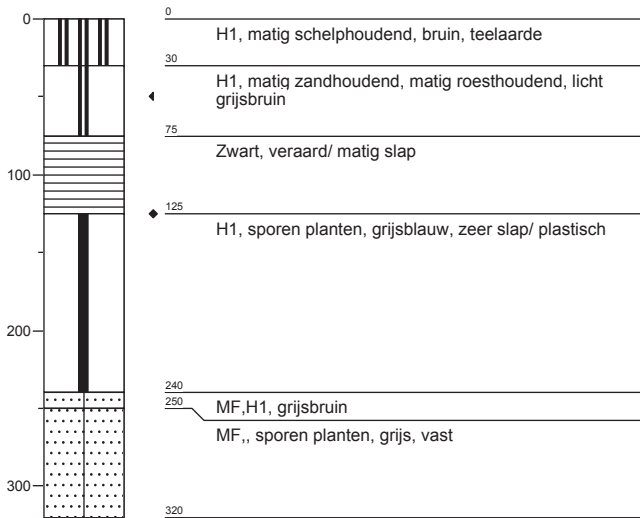
Boring 12

X-coördinaat 178252,488
Y-coördinaat 527765,223
maaiveldhoogte in m + NAP -4,43



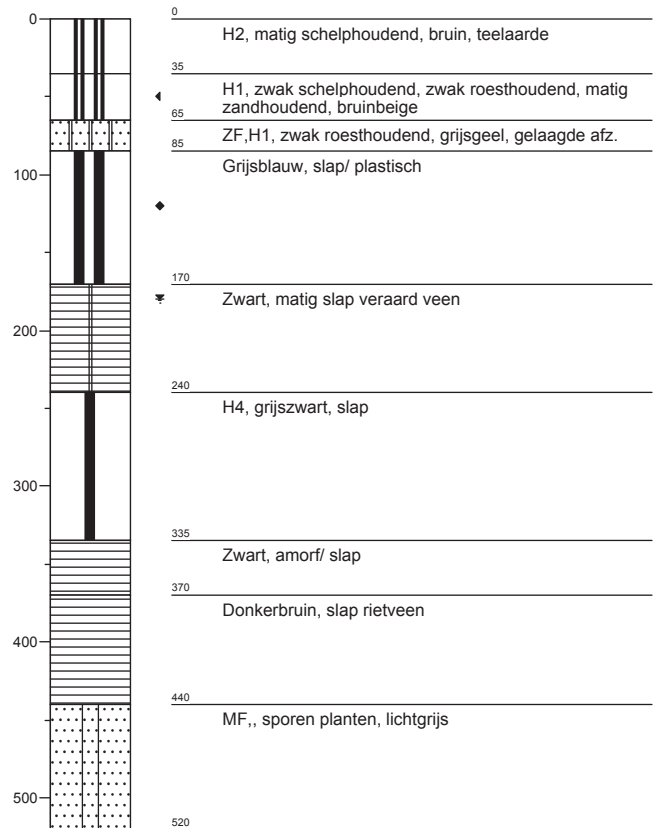
Boring 15

X-coördinaat 175867,128
Y-coördinaat 526220,443
maaiveldhoogte in m + NAP -4,55



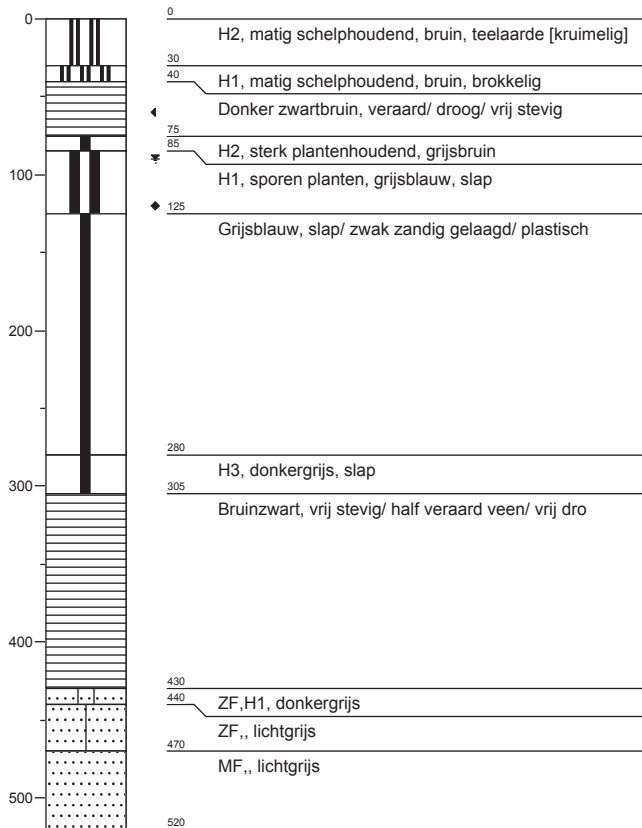
Boring 16

X-coördinaat 172443,207
Y-coördinaat 522254,929
maaiveldhoogte in m + NAP -4,73



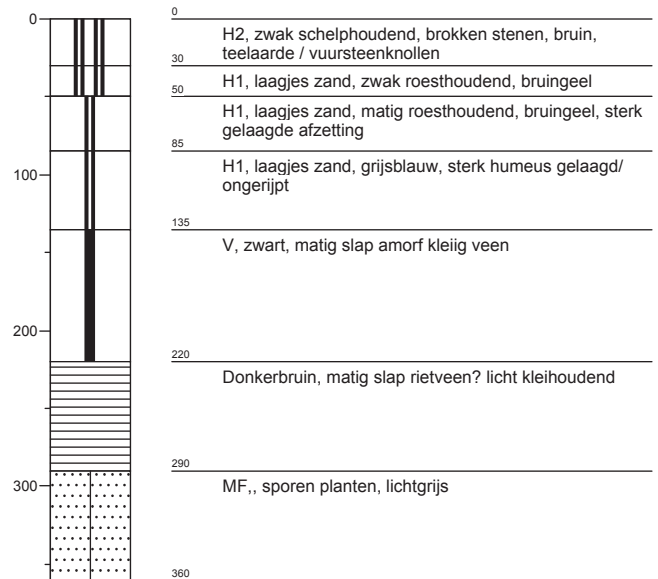
Boring 17

X-coördinaat 173912,162
Y-coördinaat 521963,911
maaiveldhoogte in m + NAP -5,14



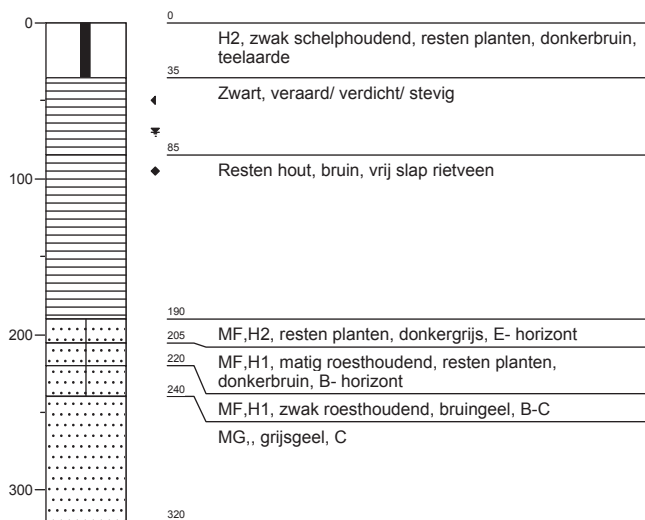
Boring 18

X-coördinaat 180301,707
Y-coördinaat 521713,917
maaiveldhoogte in m + NAP -4,06



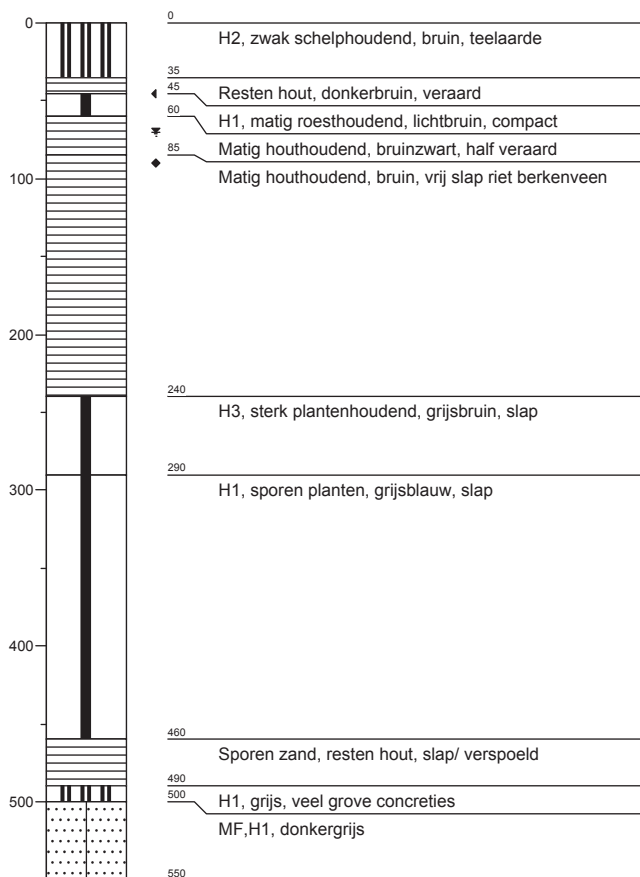
Boring 19

X-coördinaat 180311,095
Y-coördinaat 520140,46
maaiveldhoogte in m + NAP -4,47



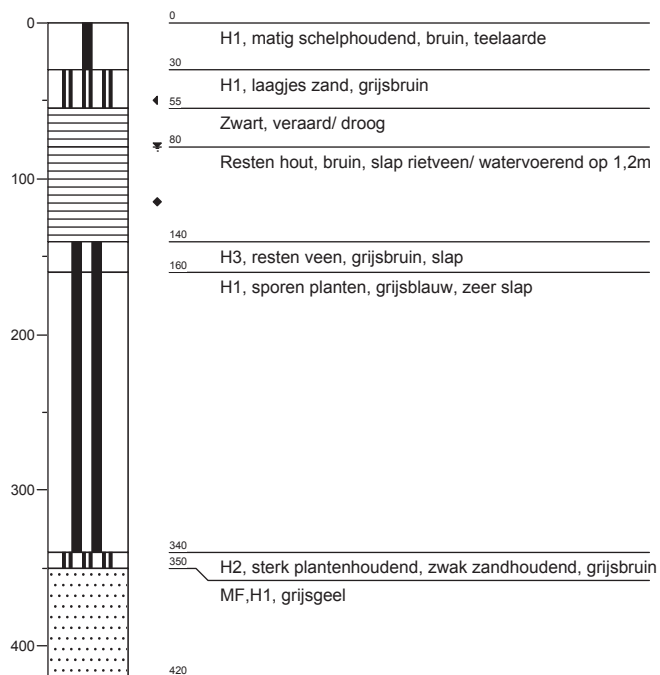
Boring 20

X-coördinaat 180330,672
Y-coördinaat 518961,373
maaiveldhoogte in m + NAP -4,65



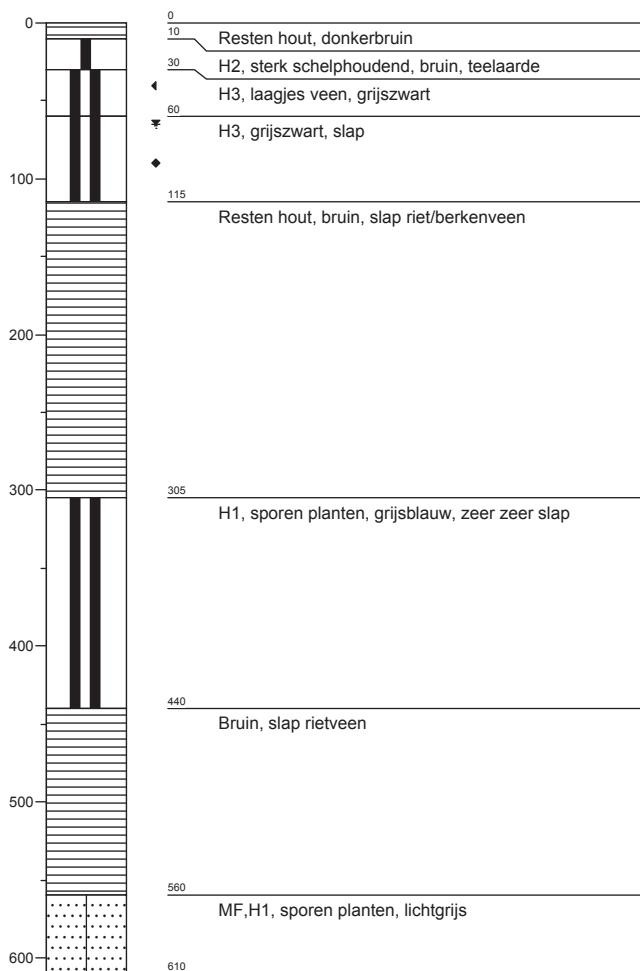
Boring 22

X-coördinaat 179115,157
Y-coördinaat 518996,205
maaiveldhoogte in m + NAP -4,58



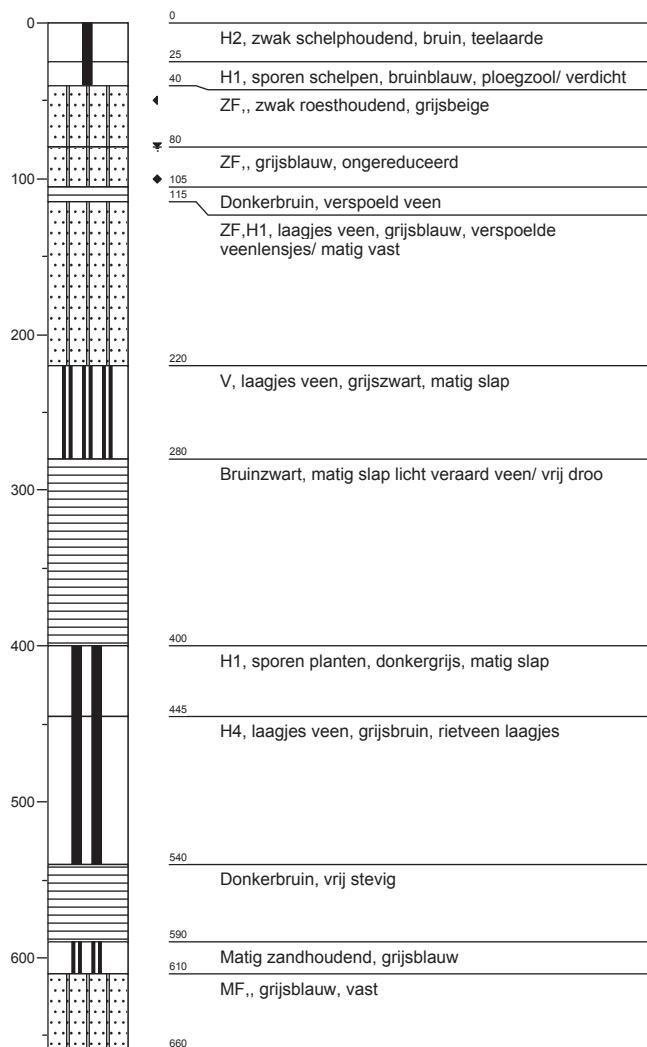
Boring 23

X-coördinaat 181206,477
Y-coördinaat 518964,319
maaiveldhoogte in m + NAP -3,79



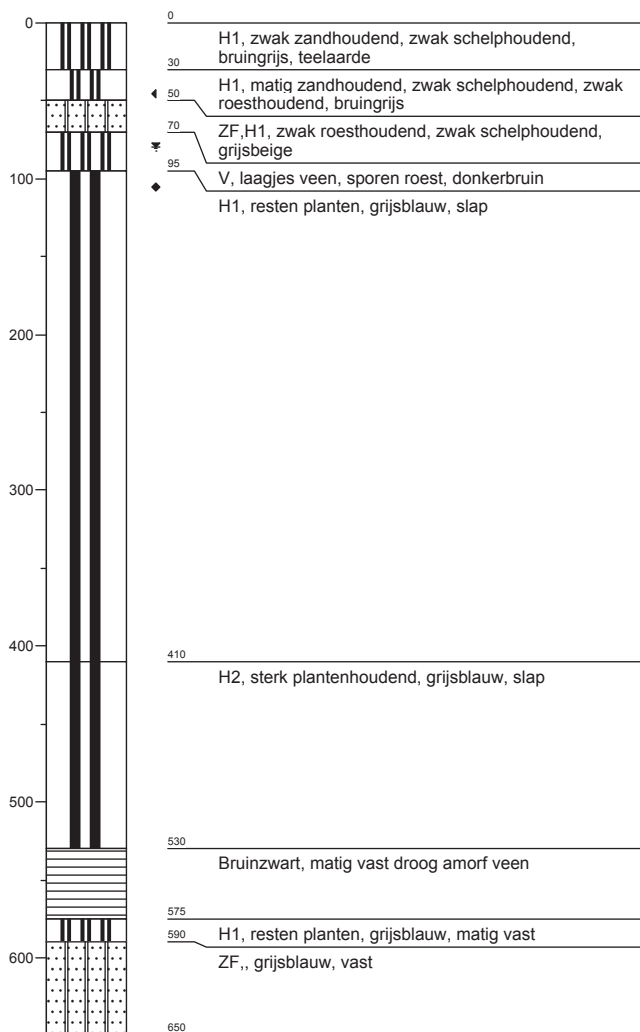
Boring 25

X-coördinaat 169184,697
Y-coördinaat 510068,845
maaiveldhoogte in m + NAP -4,32



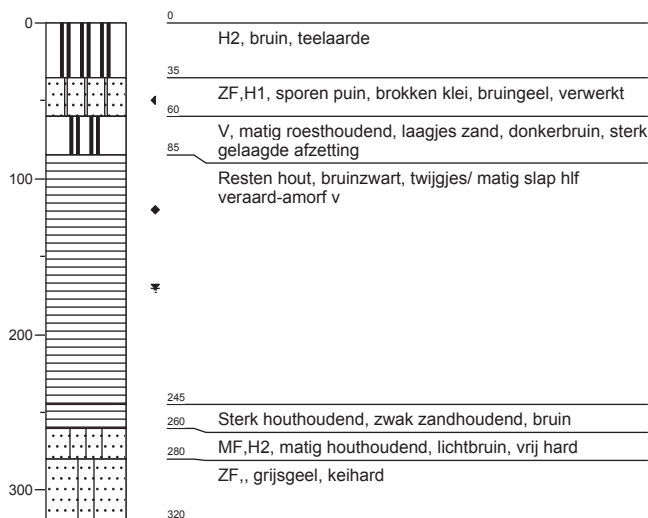
Boring 26

X-coördinaat 169768,925
Y-coördinaat 510287,018
maaiveldhoogte in m + NAP -4,49



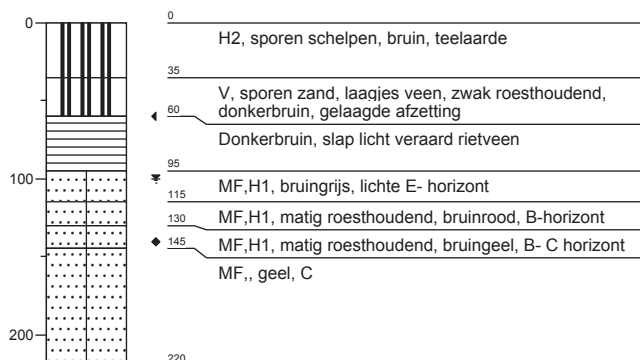
Boring 28

X-coördinaat 181747,195
Y-coördinaat 507947,555
maaiveldhoogte in m + NAP -3,52



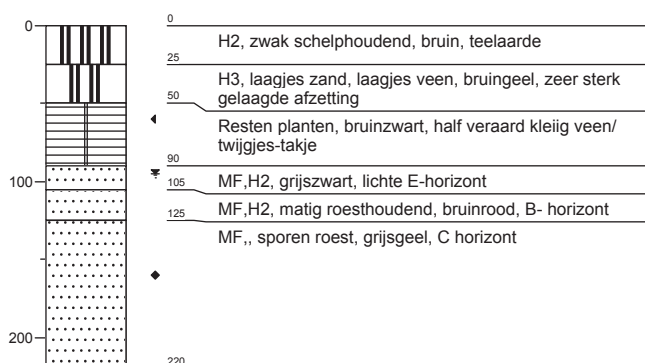
Boring 29

X-coördinaat 182949,637
Y-coördinaat 506190,643
maaiveldhoogte in m + NAP -3,78



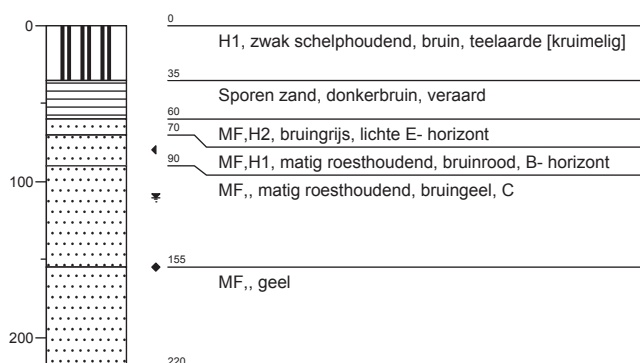
Boring 30

X-coördinaat 183802,802
Y-coördinaat 504870,482
maaiveldhoogte in m + NAP -3,4



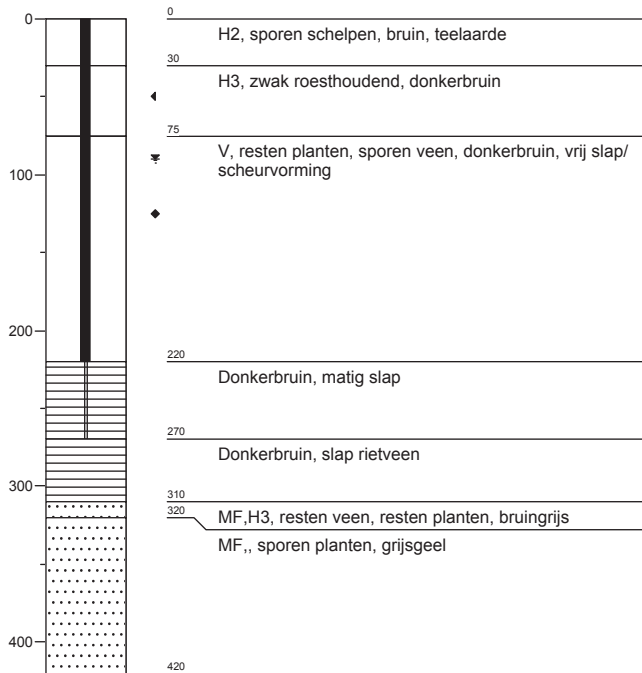
Boring 31

X-coördinaat 184963,897
Y-coördinaat 503031,546
maaiveldhoogte in m + NAP -2,82



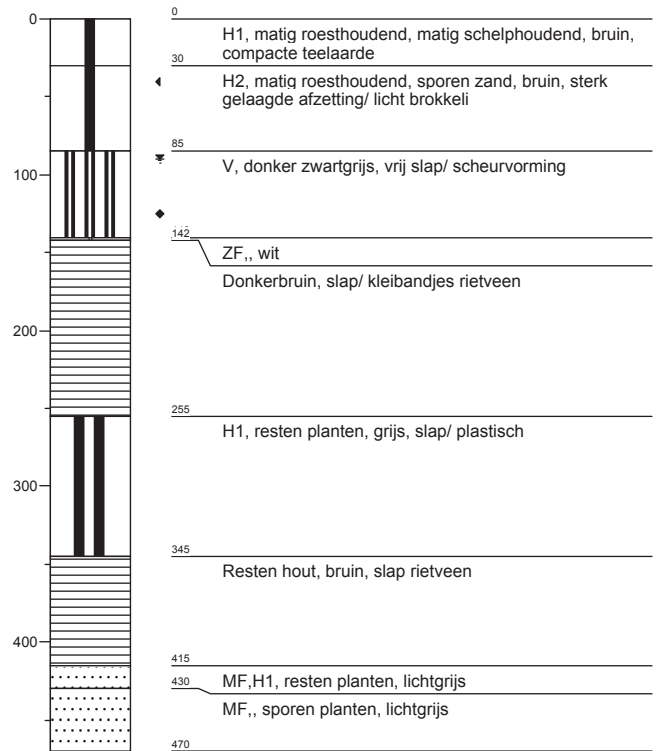
Boring 32

X-coördinaat 154843,147
Y-coördinaat 491385,543
maaiveldhoogte in m + NAP -4,75



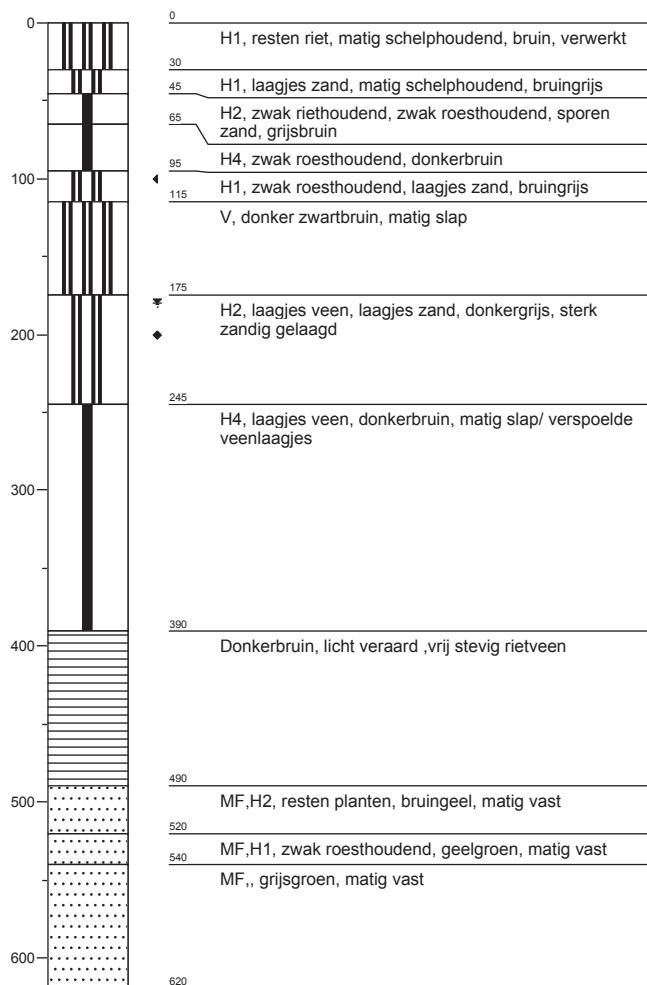
Boring 33

X-coördinaat 153918,254
Y-coördinaat 490575,595
maaiveldhoogte in m + NAP -5,12



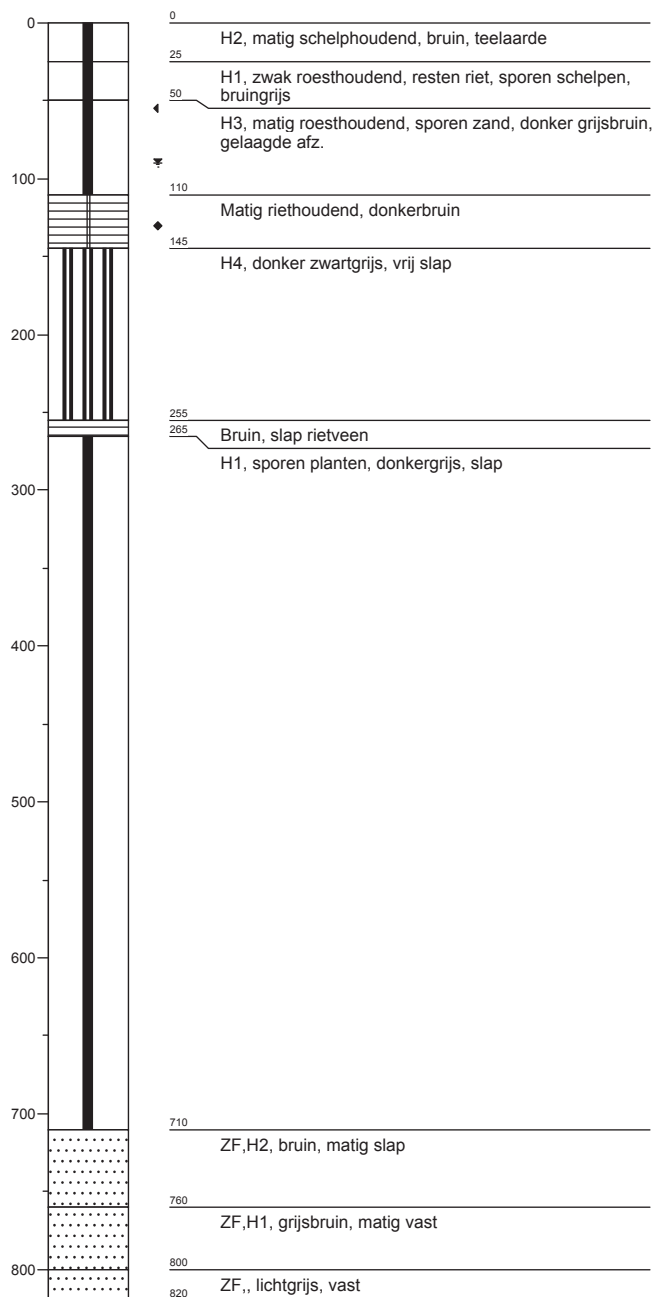
Boring 35

X-coördinaat 137842,074
Y-coördinaat 485280,238
maaiveldhoogte in m + NAP -3,72



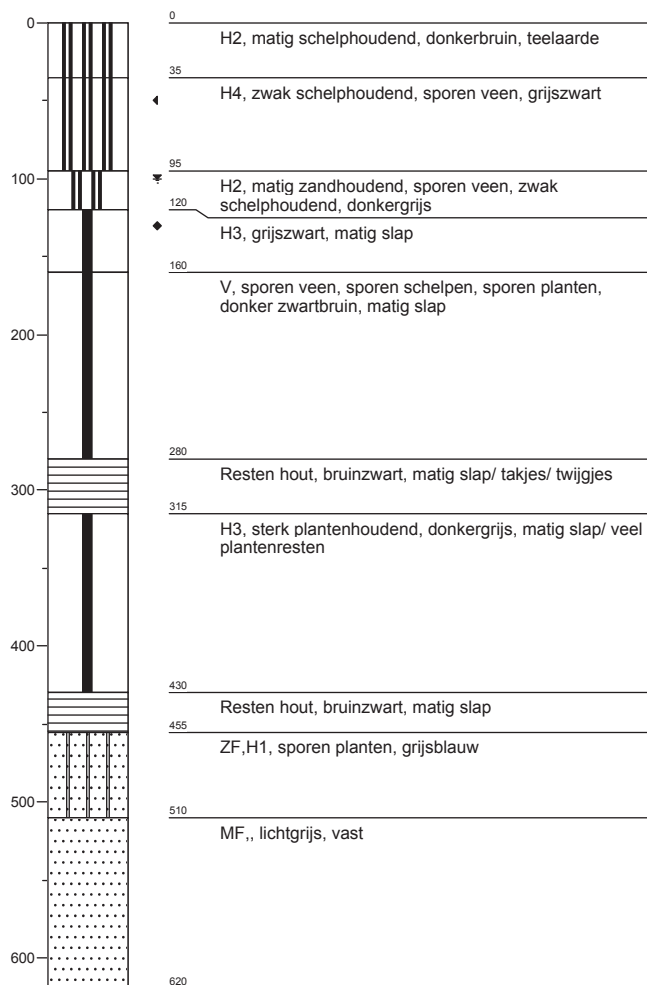
Boring 37

X-coördinaat 150910,781
Y-coördinaat 482387,851
maaiveldhoogte in m + NAP -3,93



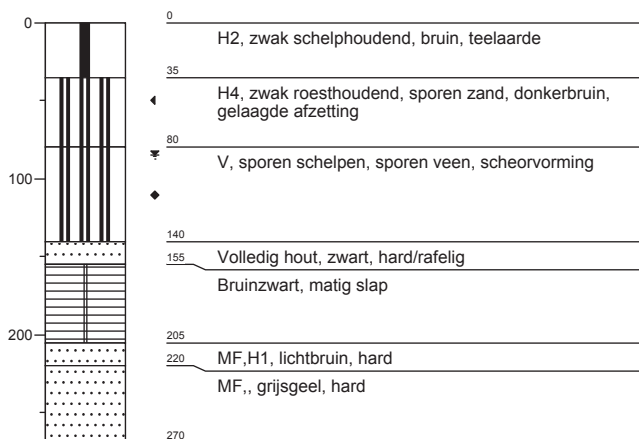
Boring 38

X-coördinaat 151540,57
Y-coördinaat 481848,951
maaiveldhoogte in m + NAP -3,5



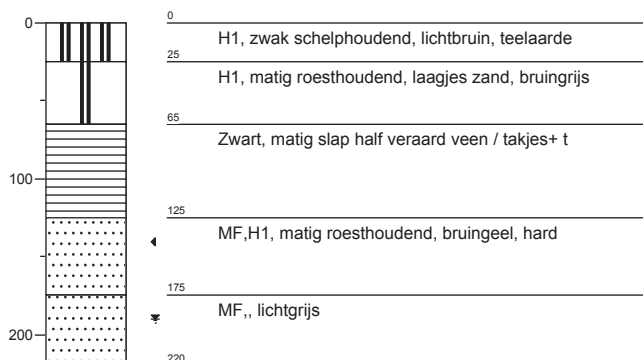
Boring 39

X-coördinaat 157903,556
Y-coördinaat 481500,216
maaiveldhoogte in m + NAP -4,16



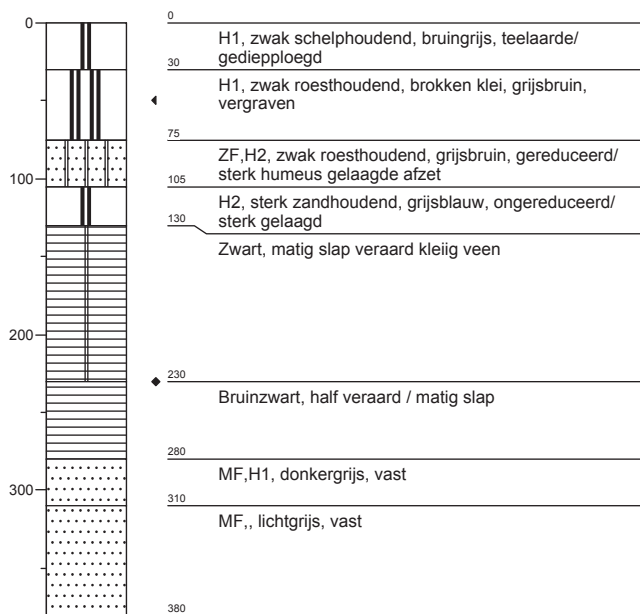
Boring 42

X-coördinaat 184400,612
Y-coördinaat 526098,466
maaiveldhoogte in m + NAP -3,96



Boring 44

X-coördinaat 183769,963
Y-coördinaat 522326,218
maaiveldhoogte in m + NAP -3,66



Legenda

Minerale sedimenten

Indeling naar lutumgehalte (delen < 2 µm)
(voor waterafzettingen)

	zeer kleiarm zand (0 - 3% lutum)
	matig kleiarm zand (3 - 5% lutum)
	kleiig zand (5 - 8% lutum)
	zeer lichte zavel (8 - 12% lutum)
	matig lichte zavel (12 - 18% lutum)
	zware zavel (18 - 25% lutum)
	lichte klei (25 - 35% lutum)
	matig zware klei (35 - 50% lutum)
	zeer zware klei (meer dan 50% lutum)

Veen

	veen
	kleiig veen
	zandig veen

Aanduidingen (gebruikt in combinatie met bovenstaande indeling)

Indeling van zand naar korrelgrootte

UF	uiterst fijn zand	(M50-cijfer	50-	105 µm)
ZF	zeer fijn zand	(M50-cijfer	105-	150 µm)
MF	matig fijn zand	(M50-cijfer	150-	210 µm)
MG	matig grof zand	(M50-cijfer	210-	420 µm)
ZG	zeer grof zand	(M50-cijfer	420-	2000 µm)

Indeling naar leemgehalte (delen < 50 µm)
(voor windafzettingen)

	zeer leemarm zand (0 - 5% leem)
	matig leemarm zand (5 - 10% leem)
	zwak lemig zand (10 - 18% leem)
	sterk lemig zand (18 - 33% leem)
	zeer sterk lemig zand (33 - 50% leem)
	zandige leem (50 - 85% leem)
	siltige leem (meer dan 85% leem)

geur

- geen geur
- zwakke geur
- matige geur
- sterke geur
- uiterste geur

olie

- geen olie-water reactie
- zwakke olie-water reactie
- matige olie-water reactie
- sterke olie-water reactie
- uiterste olie-water reactie

p.i.d.-waarde

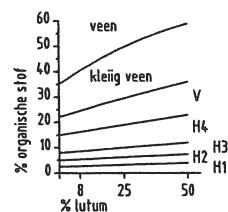
- >0
- >1
- >10
- >100
- >1000
- >10000

monsters

- geroerd monster
- ongeroerd monster

overig

- bijzonder bestanddeel
- Gemiddeld hoogste grondwaterstand
- grondwaterstand
- Gemiddeld laagste grondwaterstand



Bijlage 6

Analyseresultaten grondmonsters

boring	diepte	volumegewicht			watergehalte		verzadigings graad	organische stofgehalte	lutum- gehalte	L+3H ¹⁾	soortelijke dichtheid (van de droge stof) ²⁾		specifiek volume (van de grond) ³⁾	
		veldvochtig	verzadigd	droog	veldvochtig	verzadigd					analytisch	berekend	analytisch	berekend
[-]	[m -mv]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[%]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[-]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[cm ³ /g]	[cm ³ /g]
NOP01	0,30-0,35	17,5	17,8	12,7	38,3	40,4	94,8	2,6	8,0	15,8	2,71		0,77	
NOP01	0,60-0,65	17,5	17,8	13,2	32,5	34,8	93,4	1,7	8,1	13,2	2,53		0,74	
NOP01	1,00-1,50	-	-	-	37,4	-		1,4	1,8	6,0		2,63		0,75
NOP01	2,10-2,60	-	-	-	36,0	-		1,7	1,9	7,0		2,63		0,74
NOP01	2,80-3,30	-	-	-	280,1	-		49,1	0,5	147,8		2,07		3,28
NOP01	3,65-3,80	-	-	-	107,3	-		9,9	9,1	38,8		2,53		1,47
NOP02	0,30-0,35	18,7	19,3	15,0	24,7	28,7	86,1	2,0	12,0	18,0	2,73		0,65	
NOP02	0,60-0,65	15,7	16,1	11,3	39,1	42,7	91,6	2,3	3,0	9,9	2,25		0,87	
NOP02	0,90-0,95	17,3	17,6	12,4	40,1	42,0	95,7	1,8	3,6	9,0	2,68		0,79	
NOP02	1,20-1,25	17,5	17,6	12,5	40,5	40,8	99,0	1,7	3,1	8,2	2,65		0,79	
NOP02	1,50-2,00	-	-	-	39,6	-		1,7	1,8	6,9		2,63		0,78
NOP02	2,20-2,70	-	-	-	89,9	-		10,7	9,0	41,1		2,52		1,30
NOP02	3,00-3,50	-	-	-	196,4	-		25,4	6,1	82,3		2,35		2,39
NOP02	4,80-5,30	-	-	-	311,6	-		46,8	1,6	142,0		2,10		3,59
NOP03	0,30-0,35	18,4	18,6	14,0	30,7	32,6	94,2	2,9	14,0	22,7	2,68		0,70	
NOP03	0,60-0,65	16,5	16,7	11,2	47,5	49,5	95,9	4,5	13,0	26,5	2,63		0,88	
NOP03	0,90-0,95	10,2	10,4	1,7	517,2	530,2	97,5	72,1	0,0	216,3	1,63		5,92	
NOP03	1,20-1,25	10,2	10,4	1,3	684,1	700,8	97,6	64,6	0,0	193,8	1,76		7,58	
NOP03	1,50-1,55	9,7	10,0	1,2	703,3	730,1	96,3	71,7	0,0	215,1	1,21		8,13	
NOP03	2,00-2,05	10,0	10,2	1,5	556,4	569,2	97,7	65,6	0,0	196,8	1,39		6,41	
NOP03	2,50-2,55	10,1	10,6	1,4	629,1	664,5	94,7	65,6	0,0	196,8	2,24		7,09	
NOP03	3,00-3,05	11,0	11,3	3,0	271,0	279,9	96,8	19,2	20,0	77,6	1,99		3,30	
NOP03	3,50-4,00	-	-	-	753,3	-		66,1	0,0	198,3		1,87		8,07
NOP04	0,30-0,35	18,6	19,0	14,6	26,7	29,5	90,5	2,0	12,0	18,0	2,67		0,67	
NOP04	0,60-0,65	16,3	16,6	10,9	49,6	52,0	95,3	2,7	0,5	8,6	2,64		0,90	
NOP04	1,00-1,05	12,1	12,4	4,4	178,6	184,7	96,7	22,4	4,0	71,2	2,47		2,25	
NOP04	1,35-1,40	18,0	18,1	13,5	33,4	34,3	97,2	3,1	0,5	9,8	2,61		0,73	
NOP05	0,30-0,35	16,7	16,9	11,6	44,1	46,1	95,8	4,0	12,0	24,0	2,58		0,85	
NOP05	0,60-0,65	15,7	16,0	10,0	57,8	60,9	95,0	5,0	0,5	15,5	2,67		0,98	
NOP05	0,90-0,95	17,9	18,0	13,0	37,5	38,4	97,6	3,2	0,5	10,1	2,70		0,75	
NOP06	0,30-0,35	16,3	16,9	11,6	40,2	45,4	88,5	7,2	11,0	32,6	2,57		0,84	
NOP06	0,60-0,65	14,0	14,5	7,7	81,1	87,3	92,9	12,8	0,5	38,9	2,55		1,27	
NOP06	0,90-0,95	11,9	12,2	4,1	189,9	197,8	96,0	25,3	8,8	84,7	2,38		2,40	
NOP06	1,30-1,35	12,2	12,4	4,1	194,8	199,5	97,6	30,4	0,5	91,7	2,63		2,38	
NOP06	1,60-1,65	12,1	12,4	3,9	211,9	220,5	96,1	29,7	0,5	89,6	3,06		2,53	
NOP06	2,00-2,05	12,6	12,9	5,0	152,8	158,0	96,8	31,5	0,5	95,0	2,60		1,96	
NOP06	2,10-2,50	-	-	-	277,1	-		30,2	6,5	97,1		2,29		3,21
NOP06	2,50-3,00	-	-	-	257,7	-		28,1	7,9	92,2		2,32		3,01
NOP06	3,00-3,50	-	-	-	245,3	-		23,9	10,0	81,7		2,37		2,88
NOP07	0,30-0,35	17,4	17,7	13,1	33,3	35,6	93,5	3,1	0,5	9,8	2,53		0,75	
NOP07	0,60-0,65	12,9	13,6	6,2	106,9	118,0	90,7	14,7	12,0	56,1	2,53		1,57	

boring	diepte	volumegewicht			watergehalte		verzadigings graad	organische stofgehalte	lutum- gehalte	L+3H ¹⁾	soortelijke dichtheid (van de droge stof) ²⁾		specifiek volume (van de grond) ³⁾	
		veldvochtig	verzadigd	droog	veldvochtig	verzadigd					analytisch	berekend	analytisch	berekend
[-]	[m -mv]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[%]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[-]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[cm ³ /g]	[cm ³ /g]
NOP07	0,90-0,95	12,2	12,3	4,2	186,1	190,1	97,9	24,5	16,0	89,5	2,45		2,31	
NOP07	1,20-1,25	10,0	10,5	1,8	468,7	496,6	94,4	58,6	0,0	175,8	1,61		5,59	
NOP07	1,50-1,55	10,1	10,5	1,3	683,2	719,8	94,9	66,1	0,0	198,3	2,30		7,63	
NOP07	1,55-2,05	-	-	-	553,7	-		57,4	0,0	172,2		1,97		6,04
NOP08	2,00-2,50	-	-	-	78,0	-		3,6	10,0	20,8		2,61		1,16
NOP08	2,50-3,00	-	-	-	71,5	-		3,7	10,0	21,1		2,61		1,10
NOP08	3,20-3,70	-	-	-	343,8	-		53,8	2,4	163,8		2,02		3,93
NOP09	0,30-0,35	18,0	18,5	14,1	27,3	30,6	89,1	2,2	7,9	14,5	2,58		0,69	
NOP09	0,60-0,65	14,9	15,1	9,1	64,3	66,6	96,4	6,1	16,0	34,3	2,42		1,08	
NOP09	0,90-0,95	14,7	14,8	8,1	81,0	83,2	97,4	4,4	18,0	31,2	2,64		1,21	
NOP09	1,20-1,25	15,6	15,9	10,0	56,8	59,2	96,0	3,2	11,0	20,6	2,55		0,98	
NOP09	1,50-1,55	15,4	15,6	8,9	72,4	74,0	97,8	4,4	9,7	22,9	2,81		1,10	
NOP09	1,55-2,00	-	-	-	92,9	-		4,5	15,0	28,5		2,60		1,31
NOP09	2,00-2,50	-	-	-	82,5	-		5,0	17,0	32,0		2,59		1,21
NOP09	2,50-3,00	-	-	-	108,1	-		6,8	20,0	40,4		2,57		1,47
NOP09	3,00-3,35	-	-	-	134,2	-		18,6	6,2	62,0		2,43		1,75
NOP10	0,30-0,35	17,0	17,4	12,4	36,6	39,9	91,7	4,0	2,6	14,6	2,57		0,79	
NOP10	0,60-0,65	11,1	11,3	2,7	310,2	319,3	97,2	57,4	1,9	174,1	2,25		3,64	
OF09	0,30-0,35	16,6	16,9	11,7	42,3	45,3	93,3	4,3	13,0	25,9	2,57		0,84	
OF09	0,60-0,65	14,0	14,8	9,0	55,7	63,8	87,2	6,4	13,0	32,2	2,22		1,09	
OF09	0,90-0,95	13,2	13,7	6,5	104,4	111,9	93,3	12,3	21,0	57,9	2,49		1,52	
OF09	1,20-1,25	15,4	15,8	9,1	69,2	72,9	95,0	5,4	5,8	22,0	2,89		1,08	
OF10	0,30-0,35	16,0	16,6	10,8	47,8	53,5	89,3	4,2	20,0	32,6	2,70		0,90	
OF10	0,60-0,65	14,4	15,0	8,6	67,7	74,9	90,4	7,6	17,0	39,8	2,56		1,14	
OF10	0,90-0,95	13,0	13,5	6,2	108,0	117,3	92,1	11,9	18,0	53,7	2,49		1,57	
OF10	1,20-1,25	13,7	13,9	6,6	107,0	109,8	97,4	10,2	16,0	46,6	2,61		1,48	
OF10	1,50-1,55	12,9	13,2	5,3	144,9	150,5	96,3	15,4	4,9	51,1	2,80		1,86	
OF18	0,30-0,35	14,7	15,5	9,3	58,7	67,0	87,7	6,6	25,0	44,8	2,56		1,06	
OF18	0,60-0,65	14,0	14,6	7,4	88,4	96,3	91,8	9,5	35,0	63,5	2,78		1,32	
OF20	0,30-0,35	15,8	16,1	10,5	50,7	53,7	94,4	4,0	11,0	23,0	2,51		0,94	
OF20	0,60-0,65	13,7	13,9	6,6	107,3	110,9	96,8	9,2	28,0	55,6	2,64		1,49	
OF20	0,80-0,85	14,1	14,5	7,1	100,0	105,3	95,0	13,0	11,0	50,0	2,99		1,39	
OF26	0,30-0,35	17,2	17,6	12,5	38,3	41,4	92,6	1,0	14,0	17,0	2,68		0,79	
OF26	0,60-0,65	14,0	14,3	7,3	92,4	96,5	95,8	11,5	2,5	37,0	2,60		1,35	
OF33	0,30-0,35	19,4	19,5	15,7	23,4	24,4	95,9	2,9	21,0	29,7	2,63		0,62	
OF33	0,60-0,65	16,6	16,9	11,8	40,9	42,8	95,5	2,4	4,4	11,6	2,48		0,83	
OF33	0,90-0,95	16,2	16,8	11,9	35,9	40,8	87,9	1,8	9,2	14,6	2,42		0,82	
OF33	1,20-1,25	14,2	14,6	7,2	96,5	101,5	95,1	8,3	11,0	35,9	2,92		1,36	
OF33	1,50-1,55	12,5	13,1	5,0	149,3	160,7	92,9	15,4	11,0	57,2	2,85		1,96	
OF33	2,00-2,05	11,1	11,7	2,9	286,3	308,6	92,8	33,5	6,1	106,6	2,95		3,42	
OF33	2,50-2,55	11,7	12,2	3,9	197,7	211,3	93,6	20,6	8,2	70,0	2,54		2,51	

boring	diepte	volumegewicht			watergehalte		verzadigings graad	organische stofgehalte	lutum- gehalte	L+3H ¹⁾	soortelijke dichtheid (van de droge stof) ²⁾		specifiek volume (van de grond) ³⁾	
		veldvochtig	verzadigd	droog	veldvochtig	verzadigd					analytisch	berekend	analytisch	berekend
[-]	[m -mv]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[%]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[-]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[cm ³ /g]	[cm ³ /g]
OF33	3,00-3,05	11,3	11,6	2,9	295,2	307,6	96,0	37,1	0,5	111,8	2,77		3,44	
OF33	3,05-3,50	-	-	-	287,4	-		31,8	8,0	103,4		2,27		3,31
OF33	3,80-4,10	-	-	-	365,2	-		43,8	2,8	134,2		2,13		4,12
OF34	0,30-0,35	18,2	18,6	14,3	27,1	30,1	89,8	1,7	5,5	10,6	2,61		0,68	
OF34	0,60-0,65	18,6	18,9	14,6	27,3	29,4	92,7	1,5	2,5	7,0	2,65		0,67	
OF34	1,50-1,55	15,4	15,7	9,3	64,5	67,7	95,3	5,7	4,4	21,5	2,68		1,05	
OF34	2,00-2,05	12,7	12,9	5,3	140,5	144,8	97,0	19,7	12,0	71,1	2,43		1,86	
OF34	2,50-2,55	11,4	11,6	3,1	274,0	280,4	97,7	30,7	0,5	92,6	2,50		3,21	
OF34	3,00-3,05	11,5	11,7	3,2	262,8	268,4	97,9	28,0	1,4	85,4	2,43		3,10	
OF34	3,50-3,55	10,8	11,3	2,5	330,5	349,6	94,5	39,3	0,0	117,9	2,44		3,91	
OF34	4,00-4,05	10,3	10,7	1,7	501,1	523,4	95,7	57,8	0,0	173,4	2,08		5,71	
OF36	0,30-0,35	12,5	13,0	5,7	119,0	129,3	92,0	23,1	14,0	83,3	2,32		1,72	
OF36	0,60-0,65	16,3	16,7	11,5	42,1	45,6	92,1	5,5	2,7	19,2	2,51		0,85	
OF39	0,30-0,35	17,0	17,5	11,9	42,4	46,4	91,3	3,6	21,0	31,8	2,79		0,82	
OF39	0,60-0,65	16,0	16,6	10,7	48,9	54,4	89,9	3,9	13,0	24,7	2,71		0,91	
OF39	0,90-0,95	14,6	14,9	8,2	78,7	82,6	95,3	11,2	7,1	40,7	2,65		1,20	
OF39	1,20-1,25	11,5	11,8	3,5	234,4	241,5	97,1	37,0	2,3	113,3	2,35		2,84	
OF39	1,50-1,55	10,4	10,8	1,6	543,0	565,5	96,0	77,1	0,0	231,3	2,46		6,06	
OF39	2,00-2,05	10,2	10,5	1,9	441,9	460,2	96,0	68,9	0,0	206,7	1,58		5,24	
OF39	2,50-2,55	10,9	11,3	2,4	352,4	366,3	96,2	54,6	0,0	163,8	2,48		4,07	
OF40	0,30-0,35	15,7	16,1	10,0	57,6	61,9	93,2	9,9	19,0	48,7	2,73		0,99	
OF40	0,60-0,65	13,1	14,1	7,2	81,6	96,6	84,5	8,3	28,0	52,9	2,51		1,36	
OF40	0,90-0,95	12,8	13,1	5,2	144,0	150,4	95,8	14,5	29,0	72,5	2,71		1,87	
OF40	1,00-1,45	-	-	-	179,1	-		16,6	30,0	79,8		2,45		2,20
ZF03	0,30-0,35	16,7	17,5	12,7	31,6	38,1	83,0	2,0	10,0	16,0	2,6		0,77	
ZF03	0,60-0,65	13,2	15,1	8,5	55,5	77,4	71,7	6,7	13,0	33,1	2,6		1,15	
ZF03	0,90-0,95	19,3	19,6	15,9	21,7	23,2	93,4	0,7	0,5	2,6	2,6		0,62	
ZF06	0,30-0,35	16,0	17,0	11,4	40,1	48,3	82,9	4,8	12,0	26,4	2,7		0,86	
ZF06	0,60-0,65	12,3	13,4	6,9	77,1	93,2	82,7	10,0	21,0	51,0	2,1		1,41	
ZF06	0,90-0,95	11,0	11,6	2,9	277,9	296,6	93,7	42,8	2,6	131,0	2,6		3,36	
ZF06	1,20-1,25	12,3	12,9	5,6	121,5	132,4	91,8	10,6	1,4	33,2	2,3		1,76	
ZF11	0,30-0,35	15,2	16,0	10,2	49,5	56,6	87,4	6,1	16,0	34,3	2,5		0,96	
ZF11	0,60-0,65	13,9	14,9	8,6	61,9	73,1	84,7	4,6	25,0	38,8	2,4		1,14	
ZF11	0,90-0,95	12,5	12,9	4,7	165,5	172,3	96,0	14,1	30,0	72,3	2,8		2,08	
ZF11	1,20-1,60	-	-	-	198,1	-		16,6	20,0	69,8		2,45		2,39
ZF13	0,30-0,35	17,7	17,9	12,8	38,3	40,0	95,6	2,1	31,0	37,3	2,7		0,77	
ZF13	0,60-0,65	14,2	14,9	8,0	78,4	86,3	90,7	8,4	42,0	67,2	2,7		1,23	
ZF13	0,90-0,95	14,4	14,6	7,5	91,4	94,1	97,1	5,2	27,0	42,6	2,8		1,30	
ZF13	1,20-1,25	12,2	12,6	4,1	196,4	205,0	95,8	15,6	27,0	73,8	3,0		2,38	
ZF13	1,50-1,55	12,3	12,7	4,5	172,7	180,5	95,7	13,9	20,0	61,7	2,7		2,17	
ZF13	1,55-2,00	-	-	-	197,4	-		15,8	15,0	62,4		2,46		2,38

boring	diepte	volumegegewicht			watergehalte		verzadigings graad	organische stofgehalte	lutum- gehalte	L+3H ¹⁾	soortelijke dichtheid (van de droge stof) ²⁾		specifiek volume (van de grond) ³⁾	
		veldvochtig	verzadigd	droog	veldvochtig	verzadigd					analytisch	berekend	analytisch	berekend
[-]	[m -mv]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[%]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[-]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[cm ³ /g]	[cm ³ /g]
ZF13	2,10-2,60	-	-	-	390,6	-		40,7	0,0	122,1		2,17		4,37
ZF15	0,30-0,35	17,4	17,6	12,4	39,9	42,0	94,9	5,9	27,0	44,7	2,7		0,79	
ZF15	0,60-0,65	13,6	14,4	7,9	72,5	82,4	87,9	10,0	30,0	60,0	2,4		1,25	
ZF15	0,90-0,95	13,3	13,7	6,1	118,3	123,8	95,6	15,9	21,0	68,7	2,7		1,61	
ZF15	1,20-1,25	12,5	13,0	4,7	164,0	174,1	94,2	14,8	13,0	57,4	3,0		2,07	
ZF15	1,50-1,55	13,0	13,7	5,6	133,6	145,9	91,6	10,9	8,2	40,9	3,3		1,76	
ZF15	1,90-2,35	-	-	-	188,3	-		17,5	5,6	58,1		2,44		2,29
ZF15	2,35-2,85	-	-	-	397,9	-		46,6	0,0	139,8		2,10		4,45
ZF19	0,30-0,35	17,0	17,4	12,1	41,1	44,4	92,7	3,6	14,0	24,8	2,7		0,81	
ZF19	0,60-0,65	14,4	14,8	8,0	79,8	84,9	93,9	9,6	26,0	54,8	2,7		1,23	
ZF19	0,90-0,95	12,6	13,1	5,4	134,0	144,6	92,7	14,0	16,0	58,0	2,6		1,83	
ZF19	1,20-1,25	12,6	13,0	4,9	155,6	164,7	94,4	14,6	18,0	61,8	2,9		1,99	
ZF19	1,50-1,55	12,0	12,4	4,1	196,4	205,8	95,4	16,6	14,0	63,8	2,8		2,42	
ZF19	2,05-2,50	-	-	-	244,9	-		24,9	13,0	87,7		2,36		2,87
ZF19	2,50-2,90	-	-	-	269,6	-		28,9	14,0	100,7		2,31		3,13
ZF19	2,90-3,40	-	-	-	92,0	-		4,7	29,0	43,1		2,59		1,31
ZF19	3,40-3,70	-	-	-	136,9	-		6,4	32,0	51,2		2,57		1,76
ZF19	3,70-4,10	-	-	-	347,6	-		44,0	0,0	132,0		2,13		3,95
ZF20	0,30-0,35	15,4	15,9	9,8	58,1	63,1	92,0	8,1	27,0	51,3	2,7		1,01	
ZF20	0,60-0,65	12,1	13,9	7,1	71,5	96,3	74,3	10,7	20,0	52,1	2,3		1,39	
ZF20	0,90-0,95	13,7	13,9	6,6	107,4	111,2	96,7	11,4	31,0	65,2	2,7		1,49	
ZF20	1,20-1,25	12,3	12,8	4,3	186,3	196,8	94,7	16,2	27,0	75,6	3,2		2,28	
ZF20	1,50-1,55	12,0	12,5	4,0	199,3	210,5	94,7	16,6	11,0	60,8	3,0		2,44	
ZF20	2,00-2,50	-	-	-	637,5	-		63,3	0,0	189,9		1,90		6,90
ZF20	2,50-3,00	-	-	-	452,6	-		47,8	0,0	143,4		2,09		5,01
ZF26	0,30-0,35	16,5	17,1	11,5	43,9	48,8	90,0	4,9	23,0	37,7	2,7		0,85	
ZF26	0,60-0,65	14,6	15,2	8,8	66,1	73,6	89,8	8,8	24,0	50,4	2,6		1,12	
ZF26	0,90-0,95	13,3	13,6	6,4	108,6	113,2	95,9	12,4	20,0	57,2	2,5		1,53	
ZF26	1,20-1,25	12,4	12,9	4,5	177,2	188,4	94,1	15,0	11,0	56,0	3,3		2,19	
ZF26	1,50-1,95	-	-	-	121,4	-		13,5	8,4	48,9		2,49		1,62
ZF26	2,00-2,50	-	-	-	97,2	-		7,8	13,0	36,4		2,56		1,36
ZF26	2,50-3,00	-	-	-	319,4	-		28,8	2,8	89,2		2,31		3,63
ZF26	3,00-3,40	-	-	-	494,2	-		53,9	0,0	161,7		2,01		5,44
ZF26	3,40-3,80	-	-	-	206,9	-		12,7	36,0	74,1		2,50		2,47
ZF26	3,80-4,15	-	-	-	502,8	-		54,1	0,0	162,3		2,01		5,52
ZF30	0,30-0,35	17,2	17,8	12,4	38,4	42,8	89,7	2,6	13,0	20,8	2,8		0,79	
ZF30	0,60-0,65	15,2	16,0	9,4	61,4	69,2	88,7	6,3	9,9	28,8	2,9		1,04	
ZF30	0,90-0,95	13,7	14,2	6,7	106,6	112,8	94,5	10,6	18,0	49,8	2,9		1,47	
ZF30	1,20-1,25	13,1	13,4	5,4	142,0	148,4	95,7	12,4	26,0	63,2	3,0		1,81	
ZF30	1,50-1,55	12,5	13,1	4,6	170,8	183,5	93,1	15,0	20,0	65,0	3,5		2,12	
ZF30	1,55-1,75	-	-	-	176,7	-		13,9	9,6	51,3		2,49		2,17

boring	diepte	volumegewicht			watergehalte		verzadigings graad	organische stofgehalte	lutum- gehalte	L+3H ¹⁾	soortelijke dichtheid (van de droge stof) ²⁾		specifiek volume (van de grond) ³⁾	
		veldvochtig	verzadigd	droog	veldvochtig	verzadigd					analytisch	berekend	analytisch	berekend
[-]	[m -mv]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[%]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[% v.d. DS ⁴⁾]	[-]	[g/cm ³]	[g/cm ³]	[cm ³ /g]	[cm ³ /g]
ZF30	1,75-2,25	-	-	-	510,1	-		45,6	0,0	136,8		2,11		5,57
ZF30	2,30-2,80	-	-	-	118,7	-		5,7	28,0	45,1		2,58		1,57
ZF30	2,80-3,30	-	-	-	100,8	-		4,6	6,0	19,8		2,60		1,39
ZF30	3,45-3,95	-	-	-	240,1	-		13,1	9,2	48,5		2,50		2,80
ZF30	4,00-4,50	-	-	-	145,6	-		9,5	28,0	56,5		2,54		1,85
ZF30	4,50-5,00	-	-	-	119,5	-		6,1	34,0	52,3		2,58		1,58
ZF30	5,00-5,50	-	-	-	114,3	-		7,3	26,0	47,9		2,56		1,53
ZF30	5,50-6,00	-	-	-	125,4	-		8,0	30,0	54,0		2,56		1,64
ZF30	6,00-6,50	-	-	-	120,4	-		8,1	28,0	52,3		2,55		1,60
ZF30	6,50-7,00	-	-	-	109,4	-		7,7	18,0	41,1		2,56		1,48
ZF33	0,30-0,35	16,1	16,9	11,1	44,7	51,9	86,2	3,7	21,0	32,1	2,8		0,88	
ZF33	0,60-0,65	14,2	15,4	8,9	59,4	72,0	82,5	7,0	24,0	45,0	2,6		1,10	
ZF33	0,90-0,95	13,0	13,4	6,1	114,4	121,5	94,1	14,3	9,7	52,6	2,5		1,62	
ZF33	1,20-1,25	11,7	12,1	3,5	236,6	246,8	95,9	17,0	28,0	79,0	2,9		2,82	
ZF33	1,50-1,55	11,9	13,0	3,7	220,3	250,0	88,1	13,0	26,0	65,0	7,6		2,63	
ZF33	1,55-1,90	-	-	-	239,8	-		16,5	19,0	68,5		2,46		2,81
ZF33	1,90-2,40	-	-	-	323,1	-		28,1	2,7	87,0		2,32		3,66
ZF39	0,30-0,35	17,1	17,9	12,8	33,6	39,4	85,3	3,1	15,0	24,3	2,7		0,76	
ZF39	0,60-0,65	14,2	14,8	7,8	82,1	89,4	91,8	9,3	21,0	48,9	2,8		1,26	
ZF39	0,90-0,95	14,1	14,7	8,0	76,6	84,4	90,8	5,6	12,0	28,8	2,6		1,23	
ZF39	1,20-1,25	13,3	13,7	5,9	124,9	132,2	94,5	11,3	17,0	50,9	3,0		1,66	
ZF39	1,50-1,55	12,5	13,0	4,7	164,2	174,9	93,8	12,3	20,0	56,9	3,1		2,07	
ZF39	1,55-2,00	-	-	-	73,8	-		5,4	6,4	22,6		2,59		1,13
ZF39	2,00-2,40	-	-	-	86,8	-		6,6	7,7	27,5		2,57		1,26
ZF39	2,50-3,00	-	-	-	84,2	-		3,1	27,0	36,3		2,61		1,22
ZF39	3,00-3,50	-	-	-	57,8	-		2,8	11,0	19,4		2,62		0,96
ZF39	3,50-4,00	-	-	-	68,4	-		3,7	6,1	17,2		2,61		1,07
ZF39	4,00-4,50	-	-	-	63,9	-		2,8	11,0	19,4		2,62		1,02
ZF39	4,50-5,00	-	-	-	55,8	-		2,0	7,7	13,7		2,63		0,94
ZF39	5,00-5,50	-	-	-	62,9	-		2,9	6,7	15,4		2,62		1,01
ZF39	5,50-5,70	-	-	-	311,9	-		35,6	0,0	106,8		2,23		3,57

¹⁾ klei-humusgetal, berekend als lutumgehalte + 3 maal het organische stofgehalte

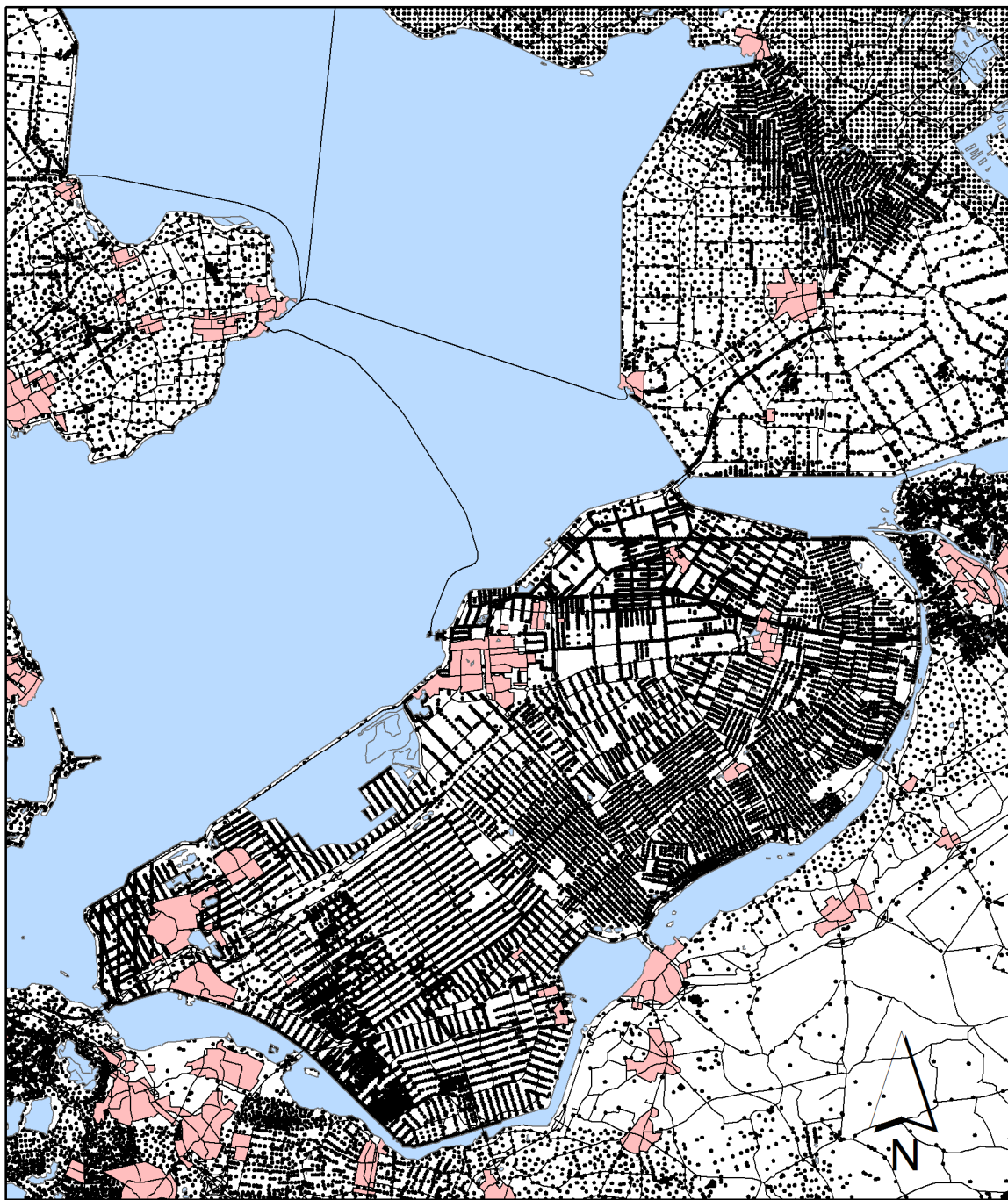
²⁾ de soortelijke massa van de droge stof is analytisch (ringmonsters) bepaald uit het droge volumegewicht en het watergehalte in verzadigde toestand ofwel berekend (gutsmonsters) uit het organische stofgehalte, uitgaande van een soortelijke dichtheid van 1,47 g/cm³ voor de organische fractie en een soortelijke dichtheid van 2,65 g/cm³ voor de overige (minerale) fractie

³⁾ het specifieke volume is analytisch (ringmonsters) bepaald uit het droge volumegewicht ofwel berekend (gutsmonsters) uit het watergehalte, het droge volumegewicht en de soortelijke massa van de droge stof, uitgaande van een verzadigde toestand en een soortelijke dichtheid van 1,0 g/cm³ voor water

⁴⁾ DS = droge stof

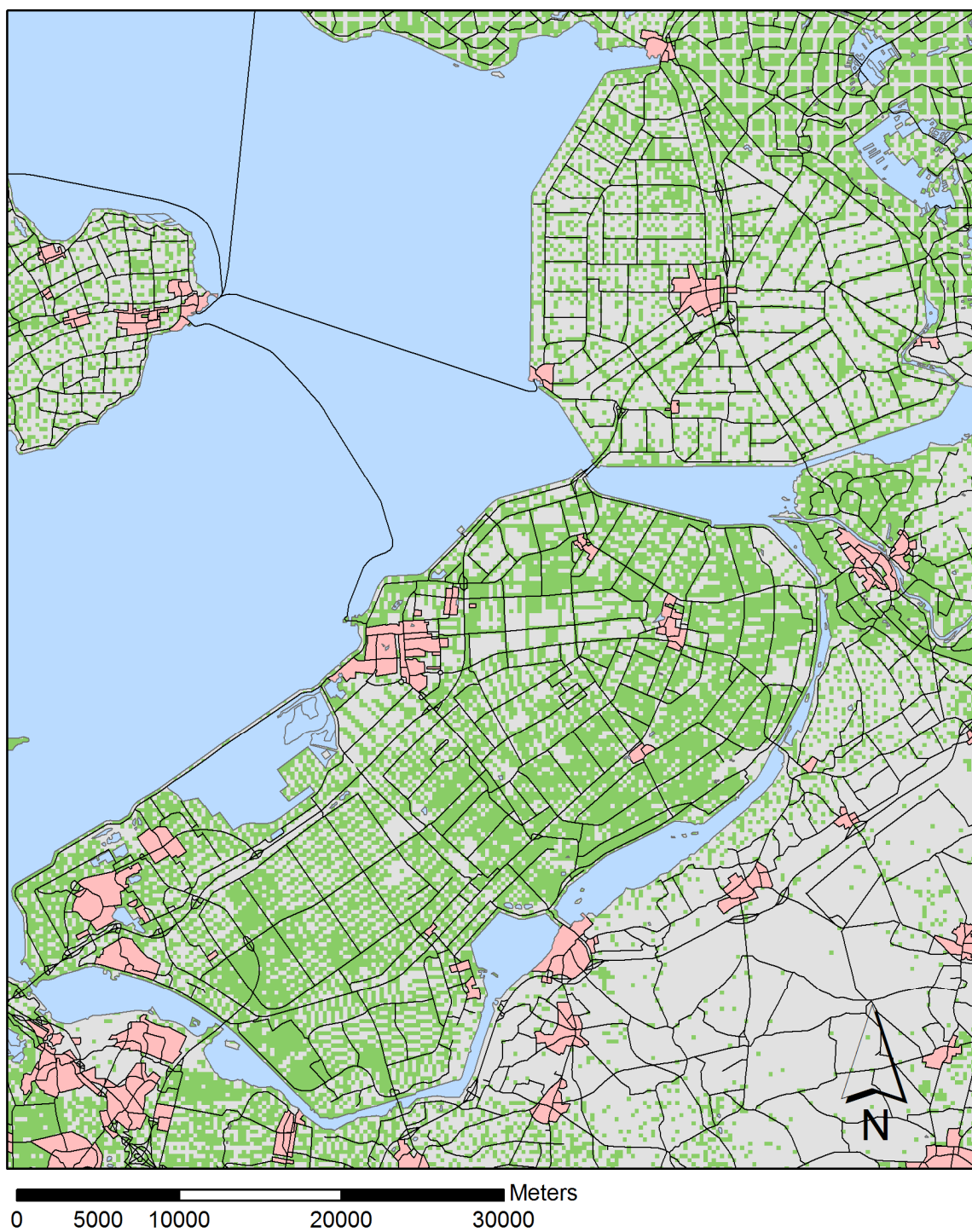
Bijlage 7

Boordichtheid

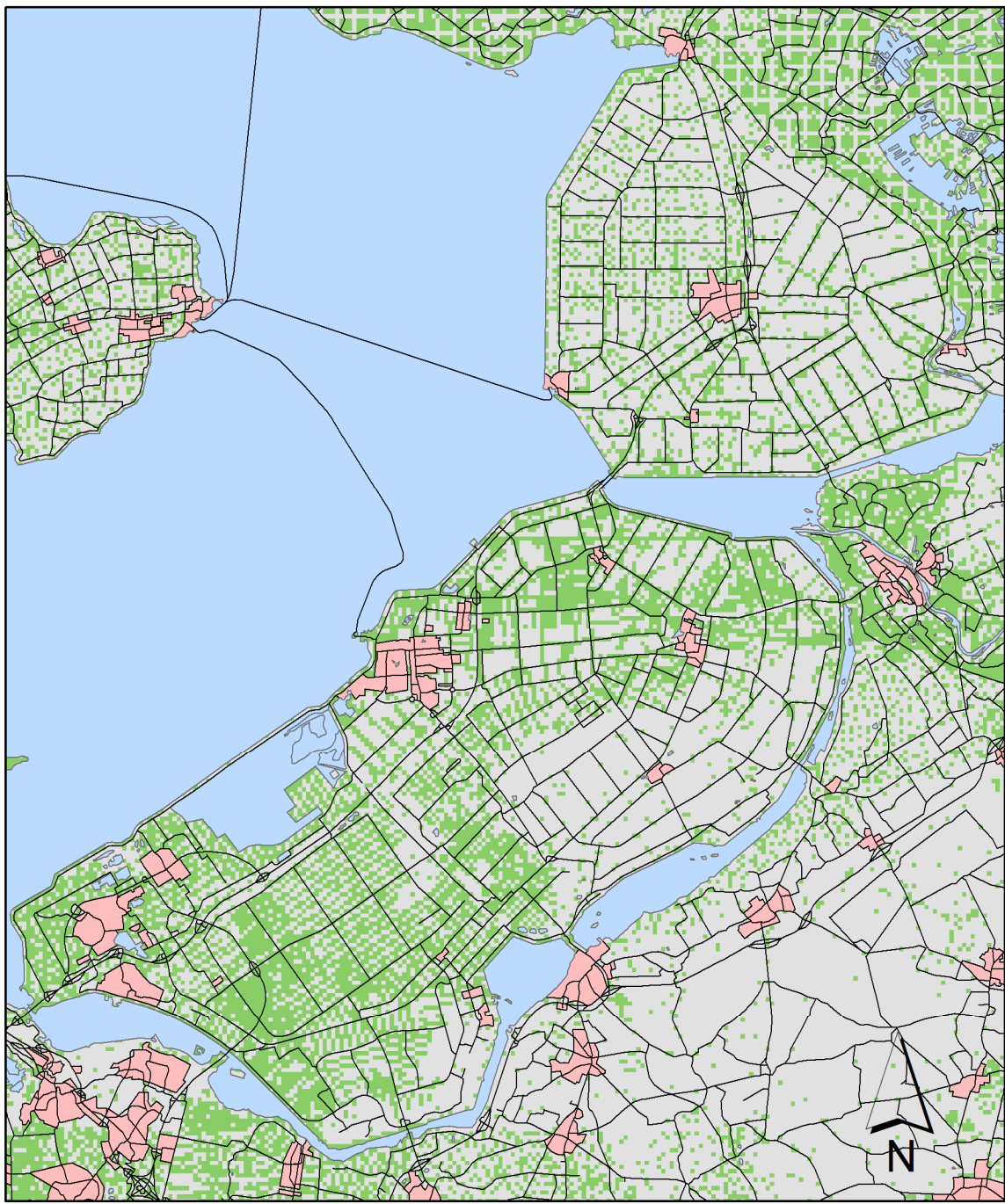


0 5000 10000 20000 30000 Meters

Boordichtheid Flevoland

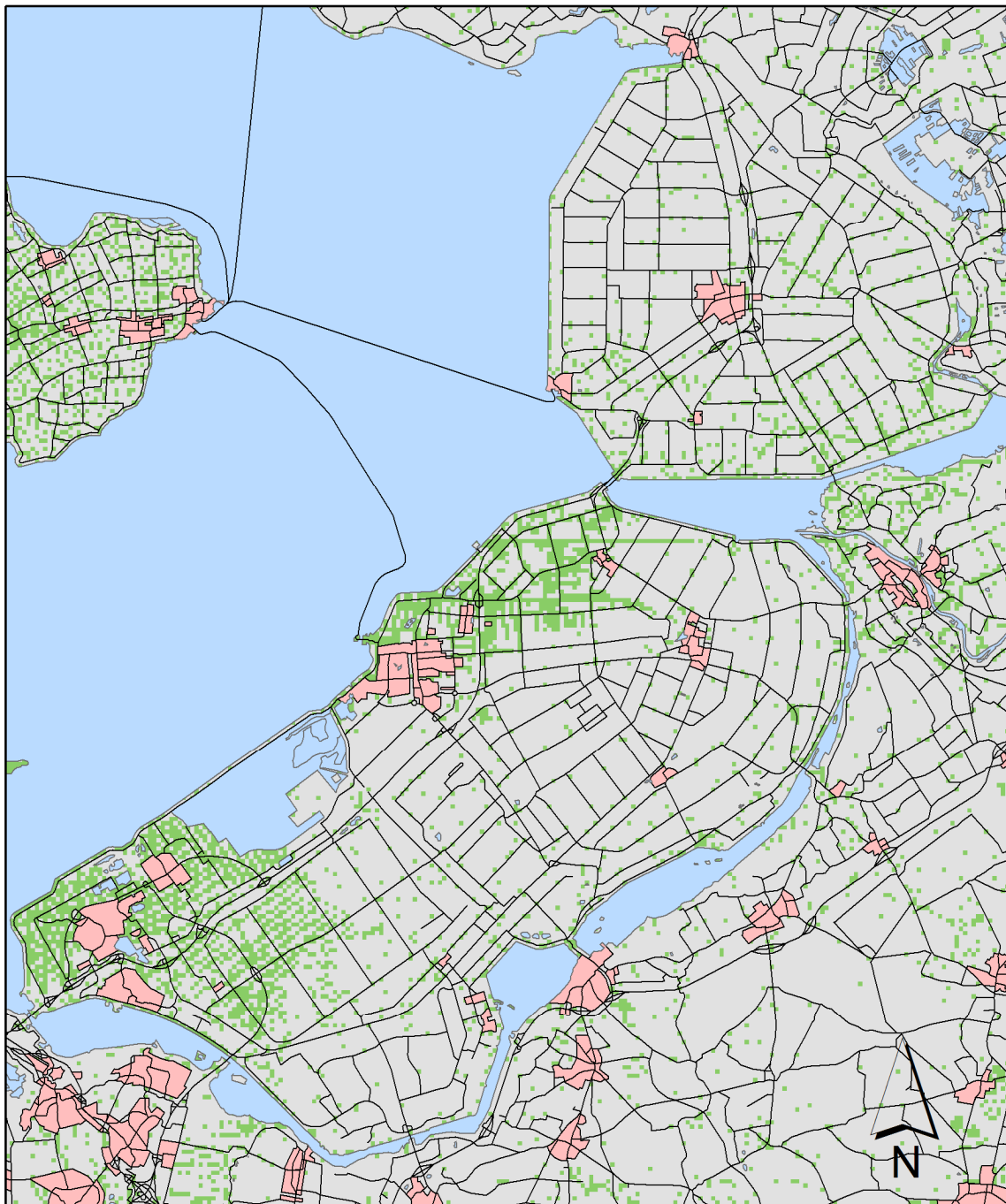


Boordichtheid boringen tot 1,0 m -mv



0 5000 10000 20000 30000 Meters

Boordichtheid boringen tot 2,0 m -mv

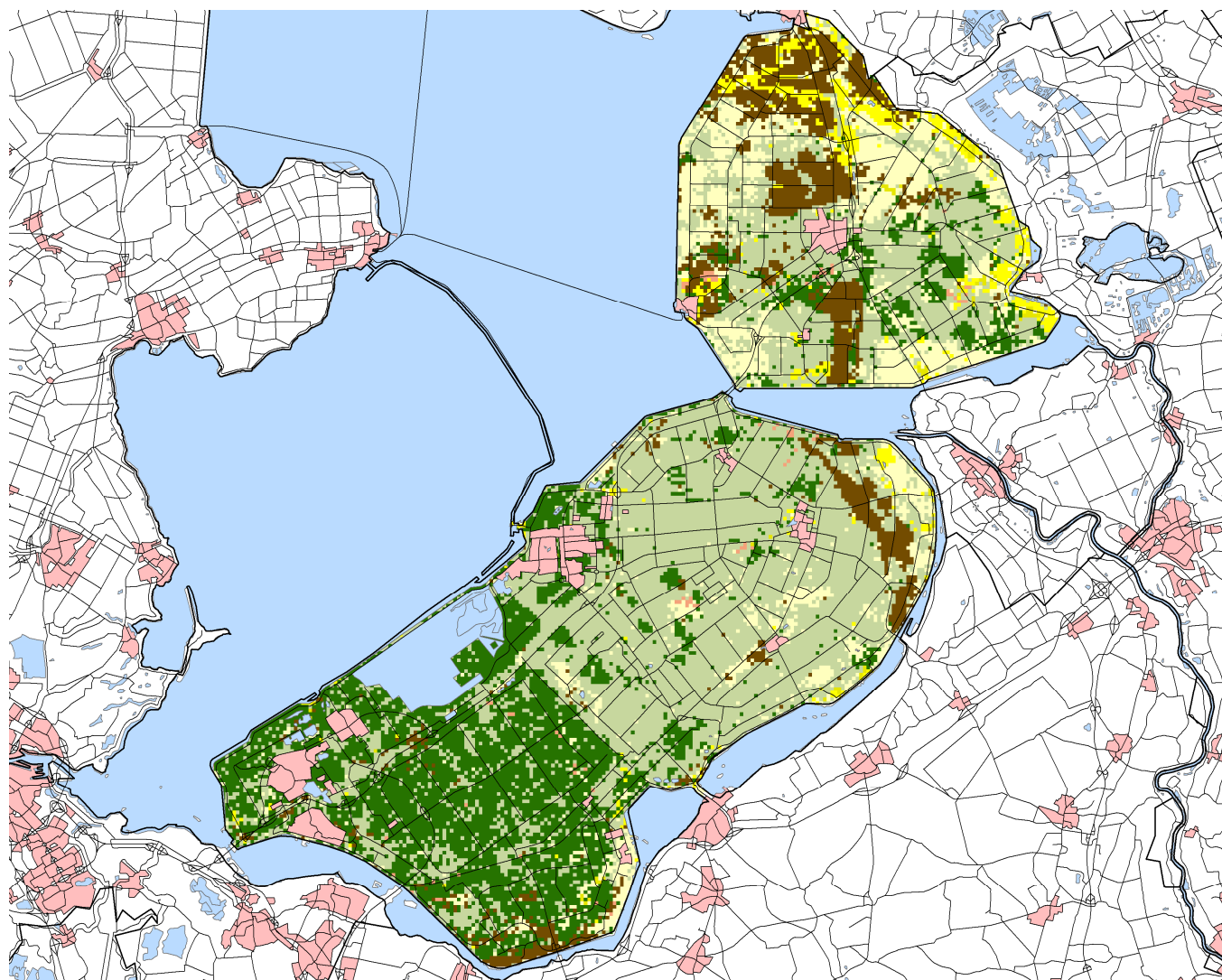


0 5000 10000 20000 30000 Meters

Boordichtheid boringen tot 5,0 m -mv

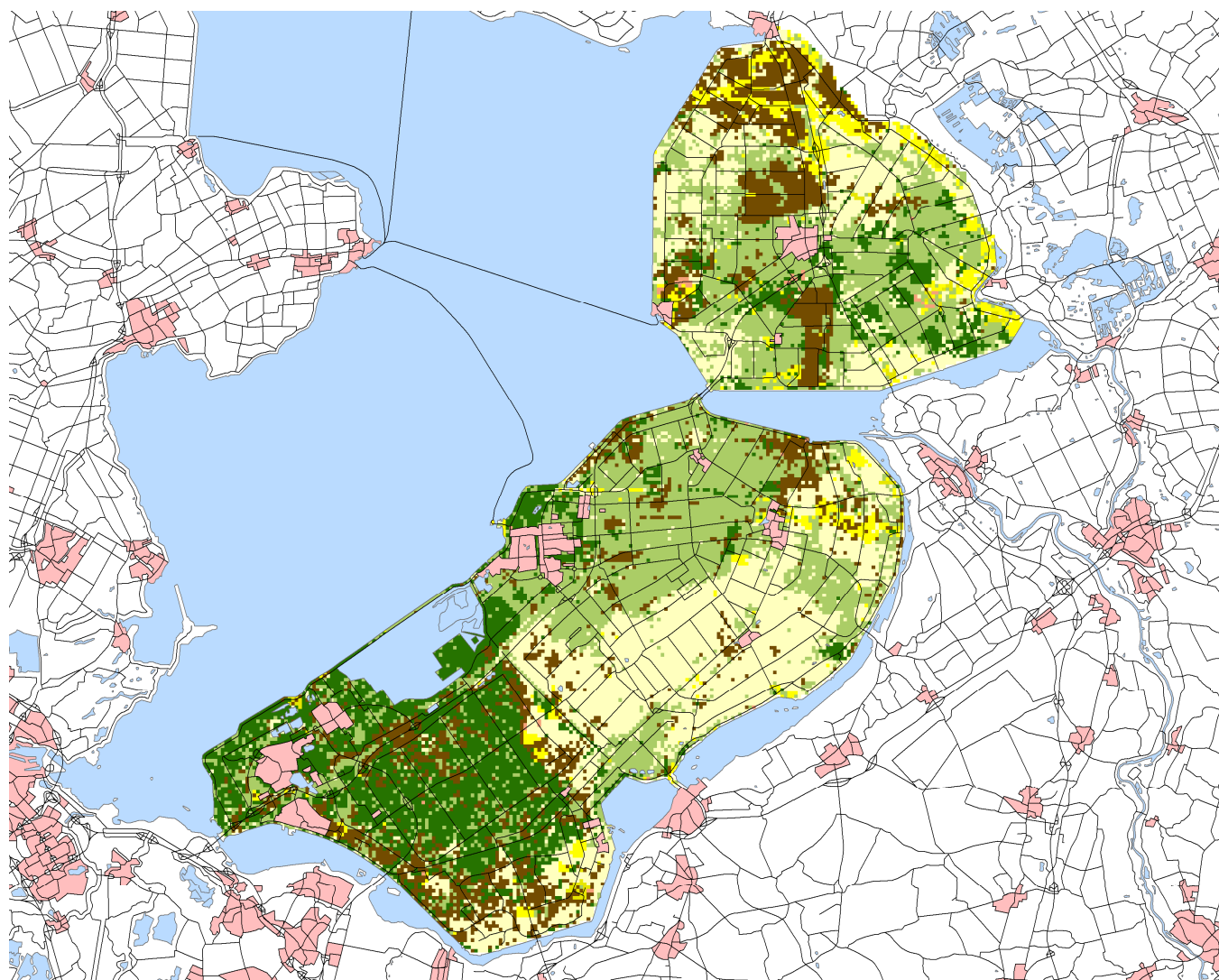
Bijlage 8

Grondsoorten per diepte-interval



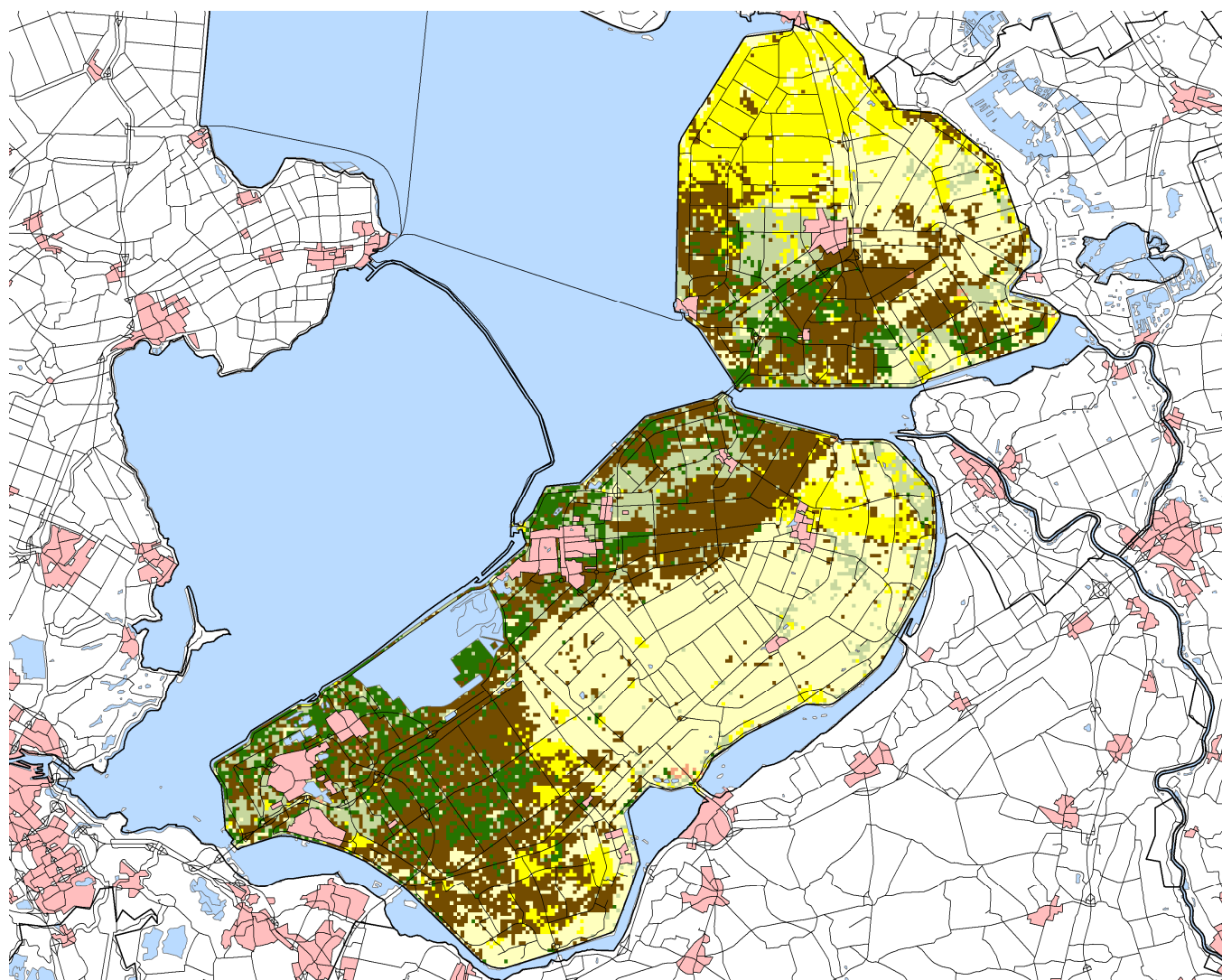
Grondsoorten op 0,5 m beneden maaiveld

- Veen
- Klei
- Zandige klei
- Fijn zand
- Matig grof zand



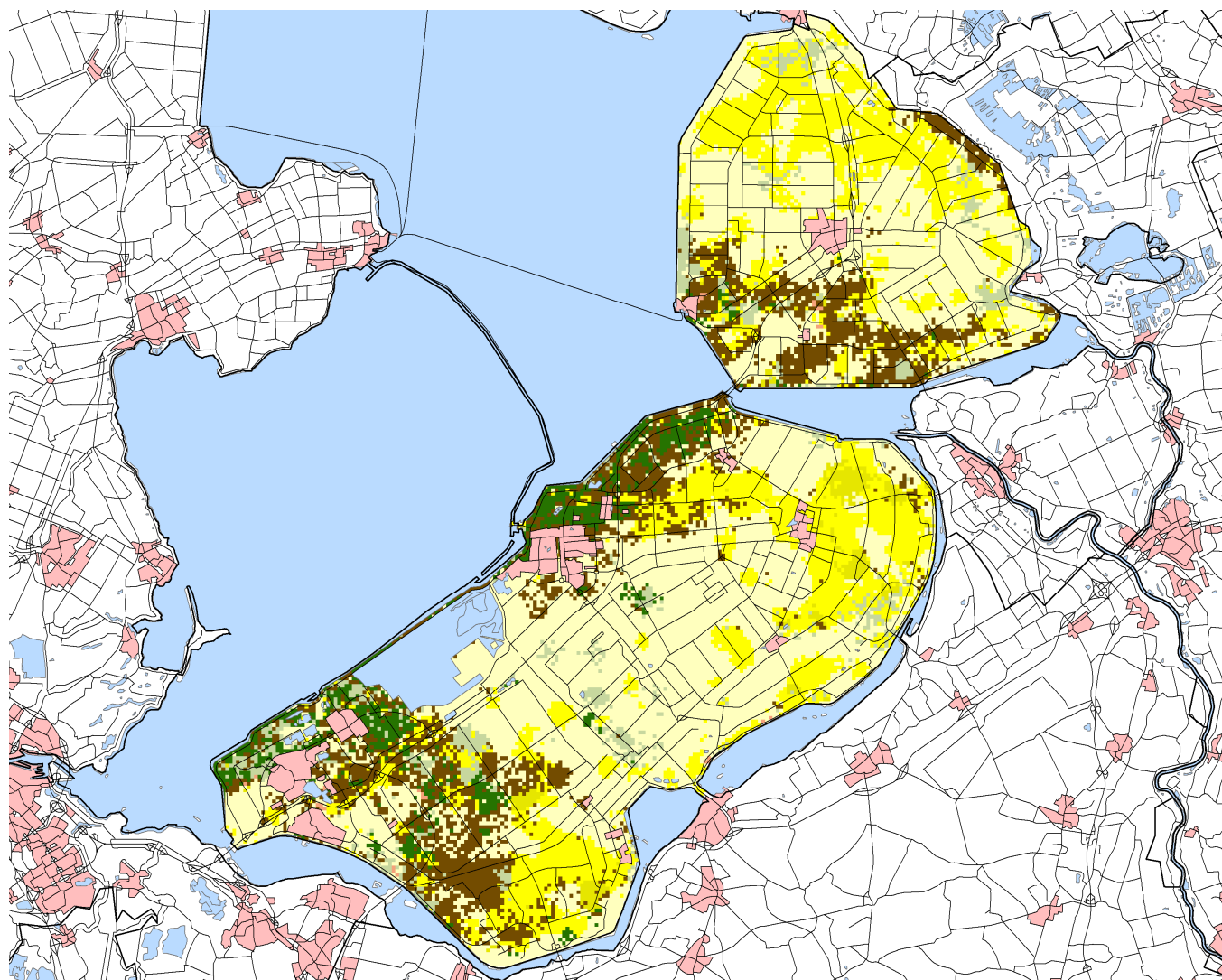
Grondsoorten op 1,0m beneden maaiveld

-  Veen
-  Klei
-  Zandige klei
-  Fijn zand
-  Matig grof zand



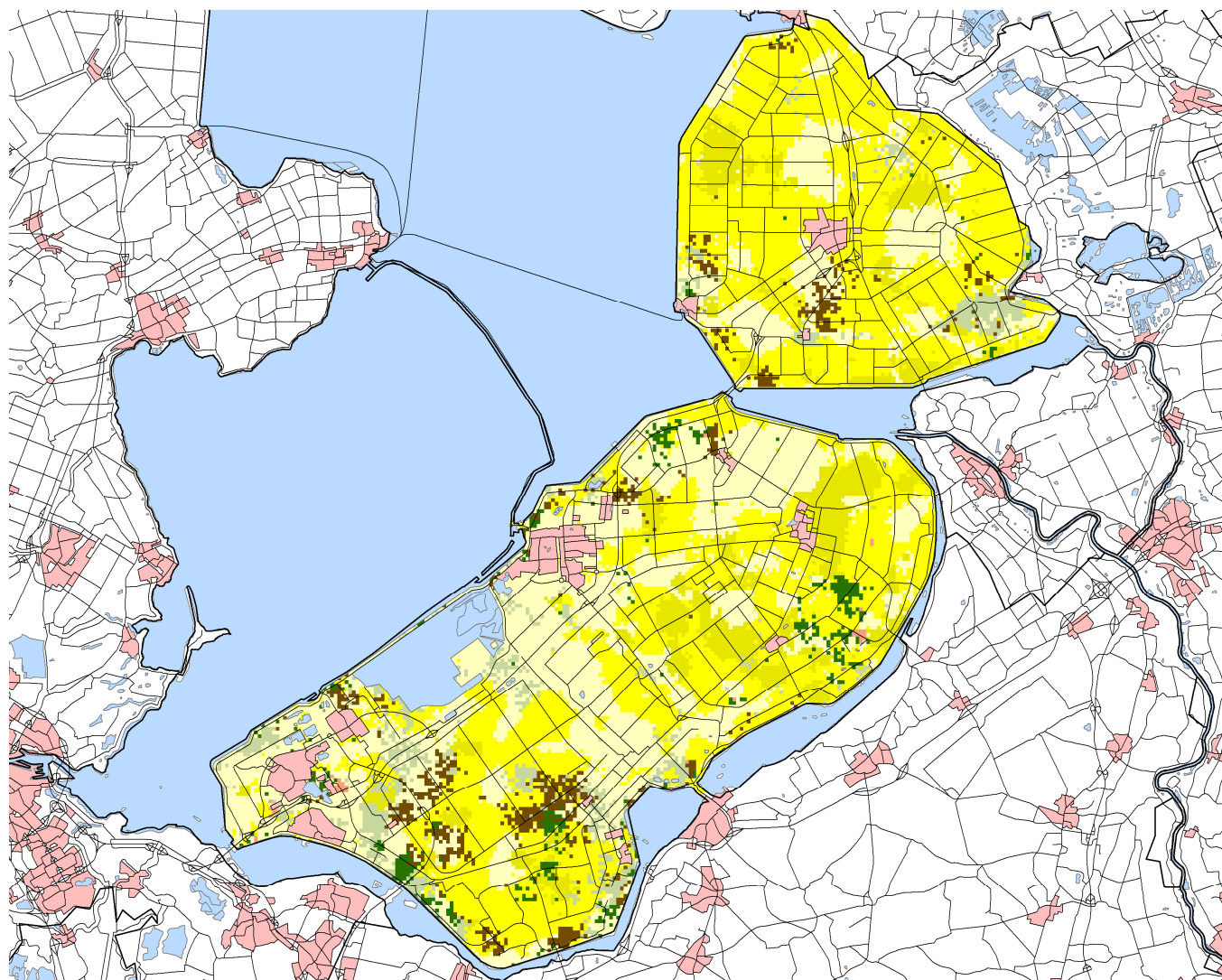
Grondsoorten op 2,0 m beneden maaiveld

- Veen
- Klei
- Zandige klei
- Fijn zand
- Matig grof zand



Grondsoorten op 5 m beneden maaiveld

- Veen
- Klei
- Zandige klei
- Fijn zand
- Matig grof zand



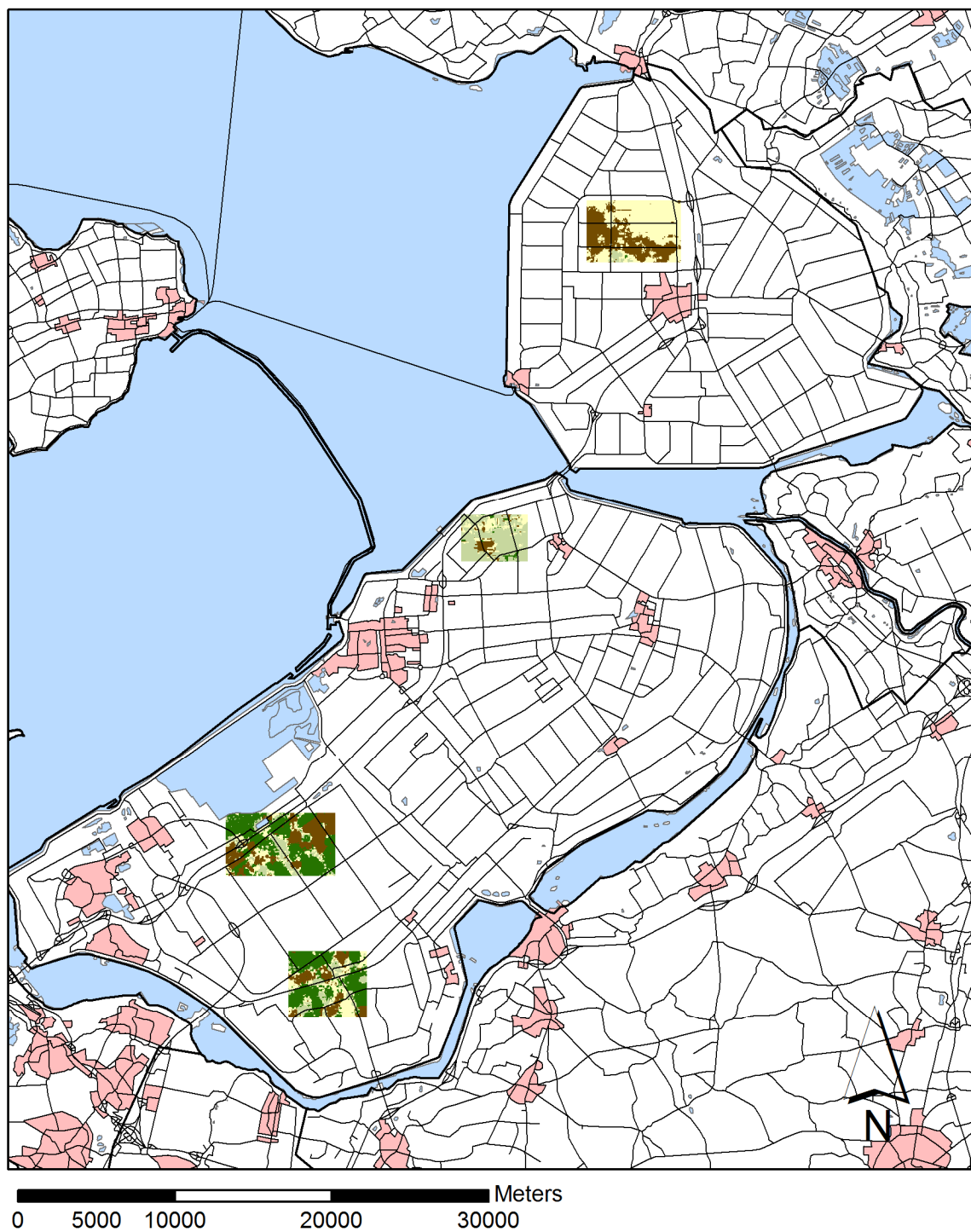
- Veen
- Klei
- Zandige klei
- Fijn zand
- Matig grof zand

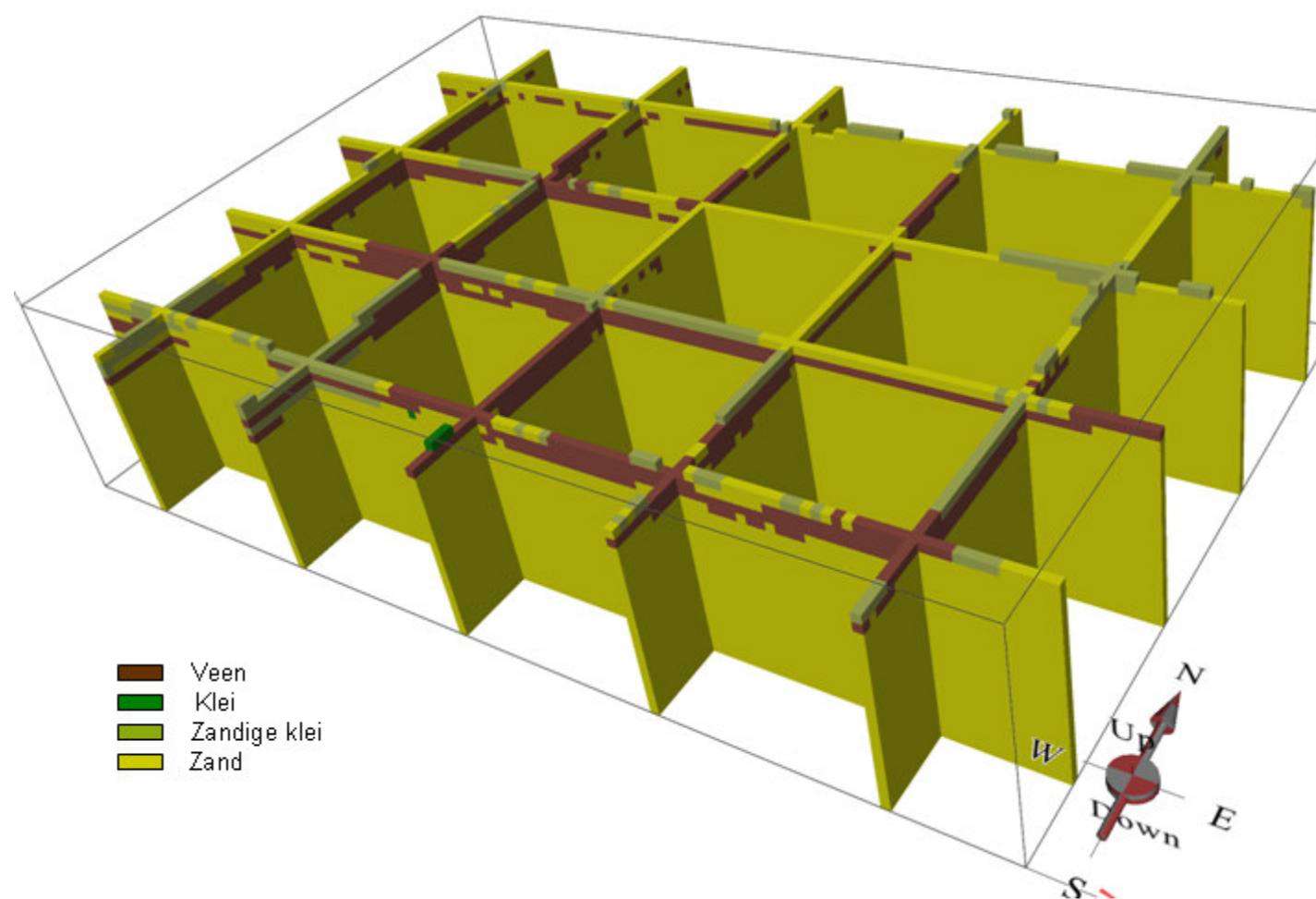
Grondsoorten op 10 m beneden maaiveld

Bijlage 9

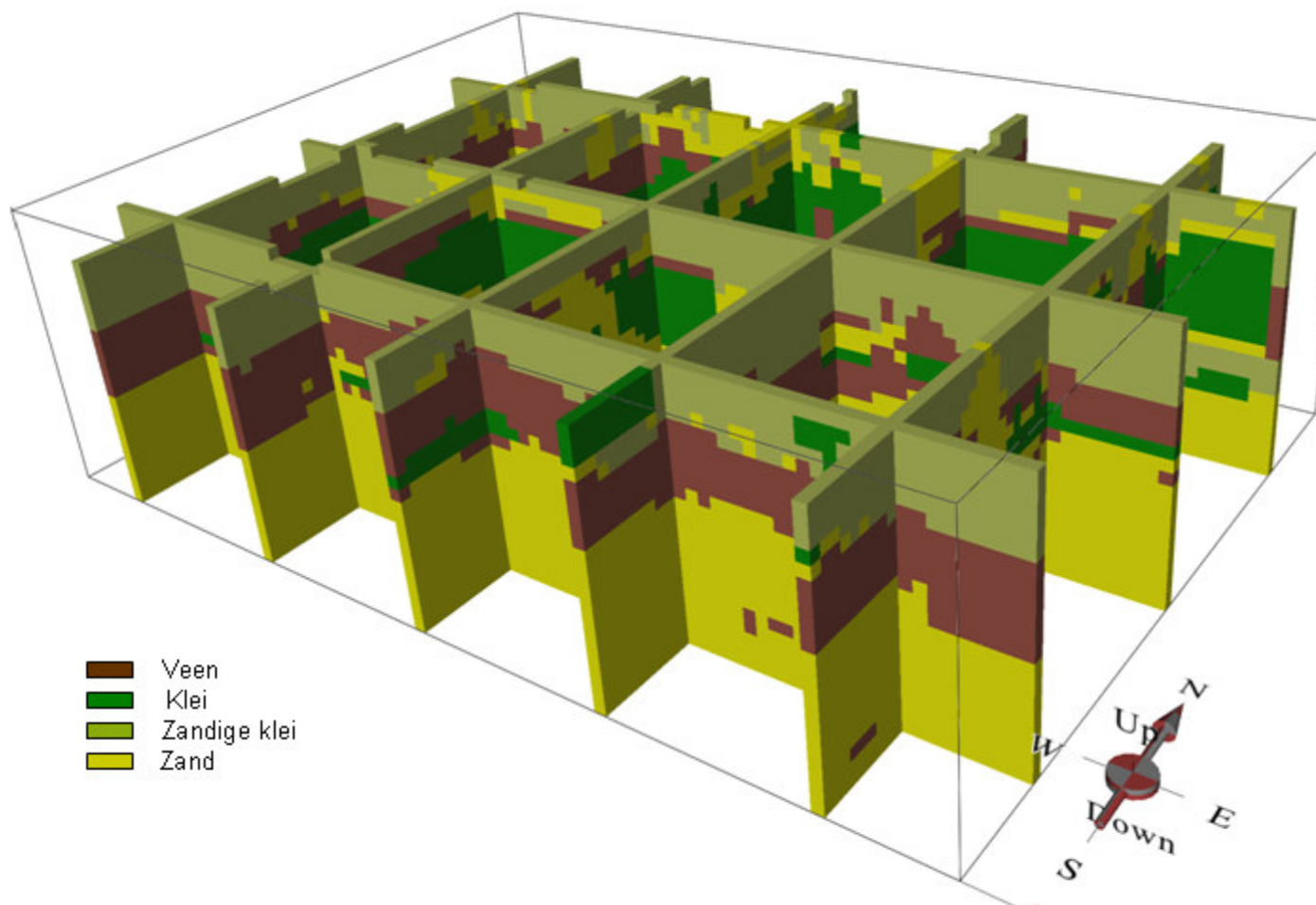
Bodemschematisatie Deelgebieden

Ligging deelgebieden

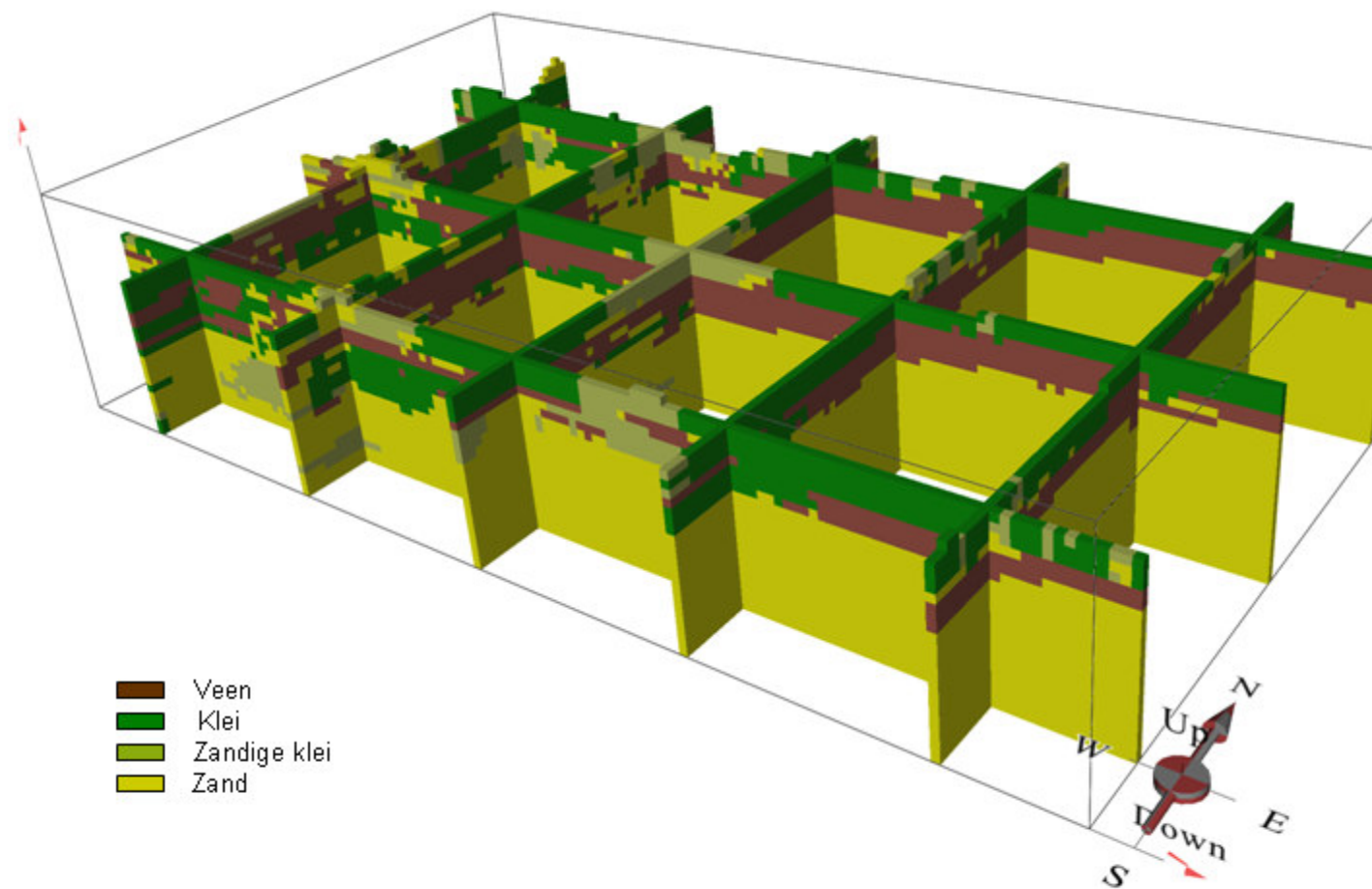




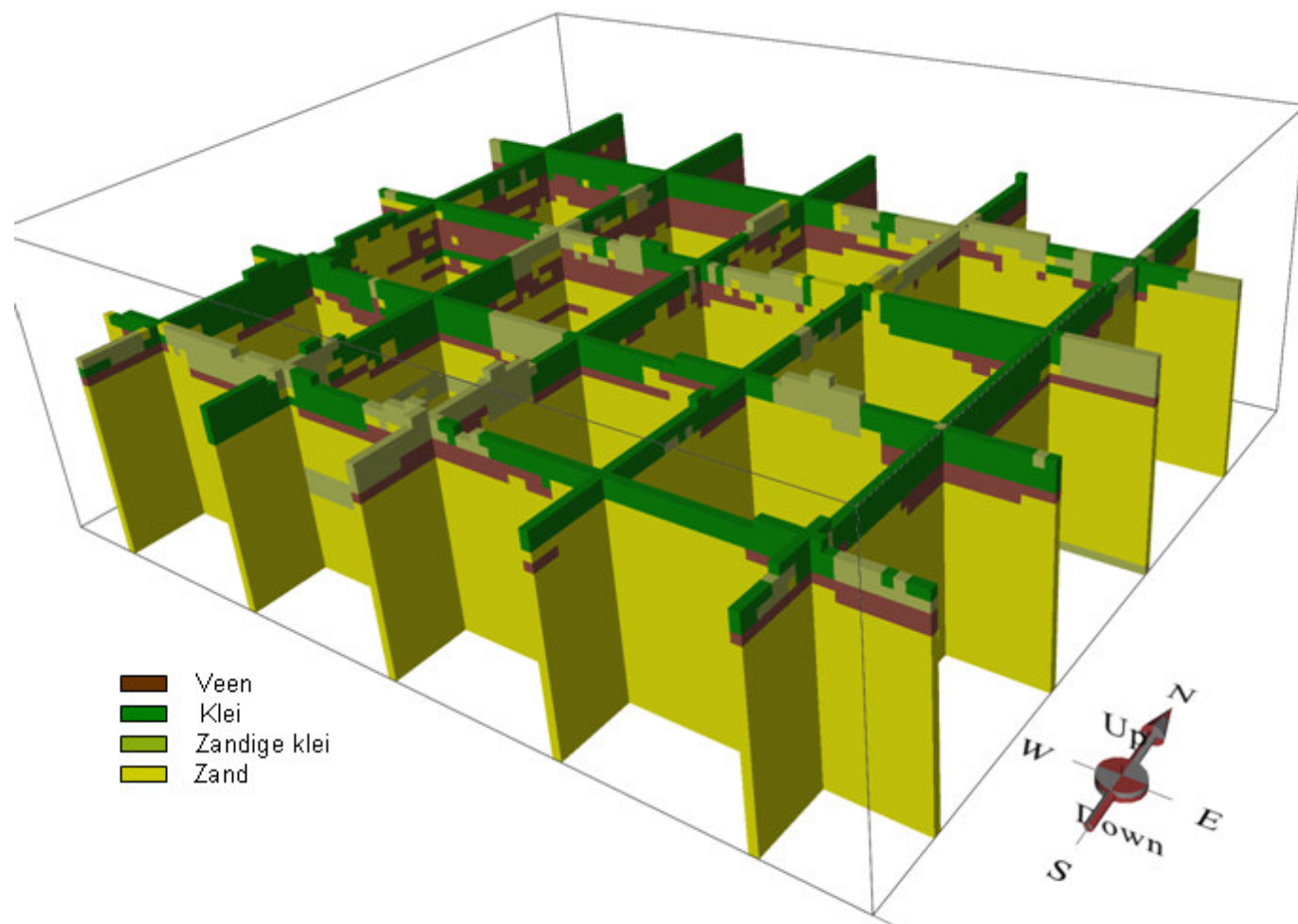
Profielopbouw deelgebied NOP 1



Profielopbouw deelgebied OF 1



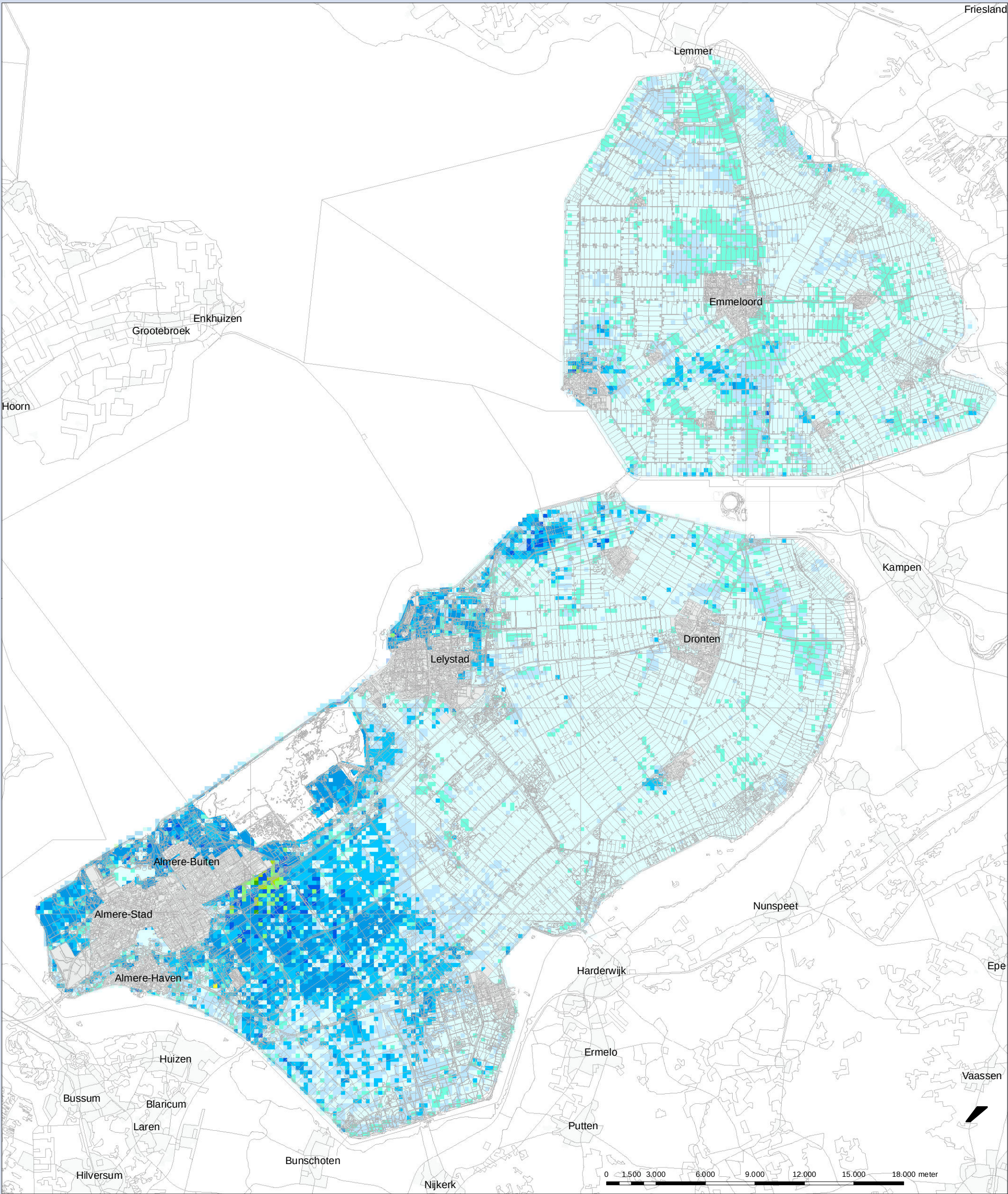
Profielopbouw deelgebied ZF 1



Profielopbouw deelgebied ZF2

Bijlage 10

Bodemdalingskaarten Flevoland 2011 - 2100



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Maaiveldhoogte (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	

Bodemdaling 1993 - 2011
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgever: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



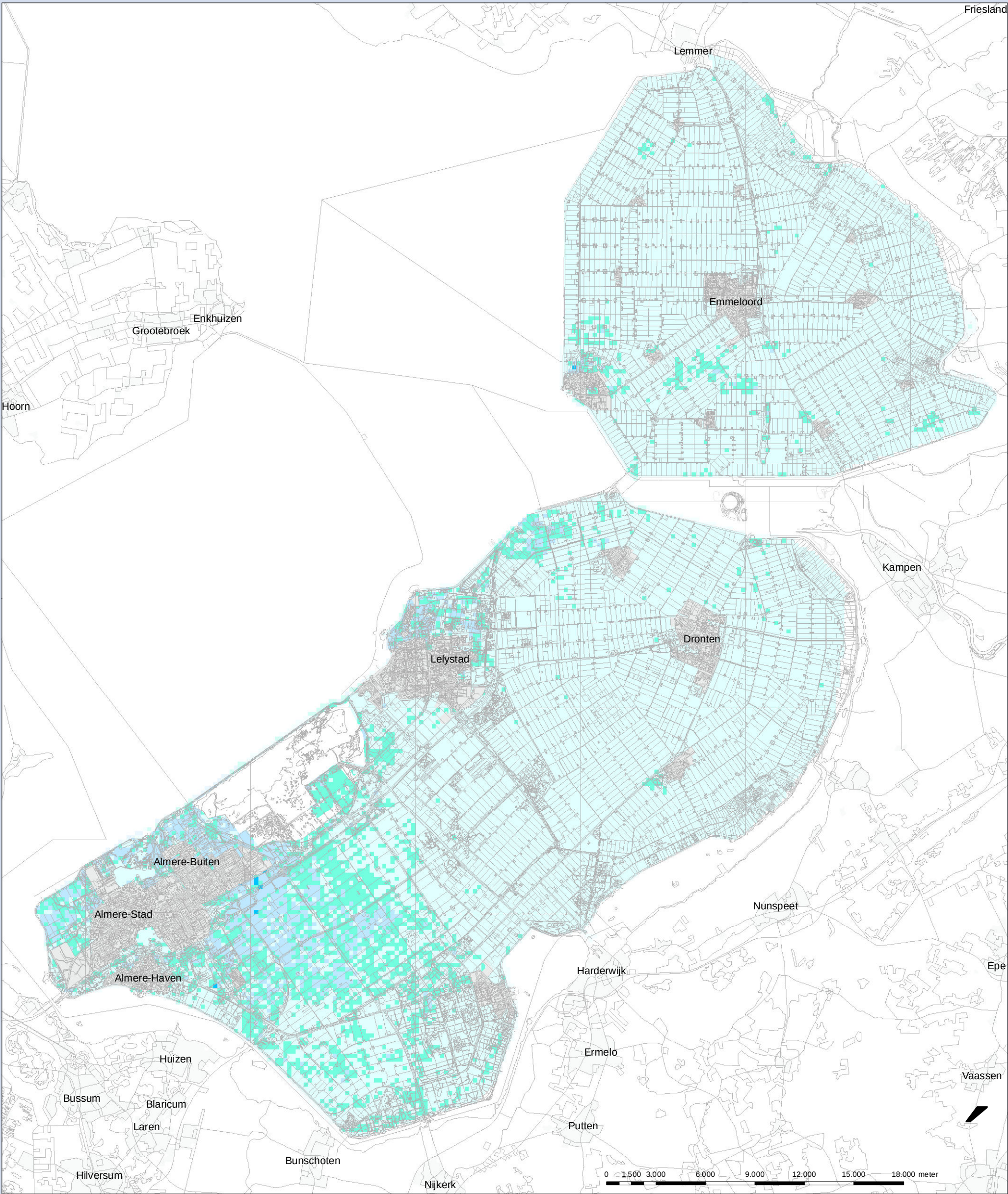
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	

Bodemdaling 2011 - 2018
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



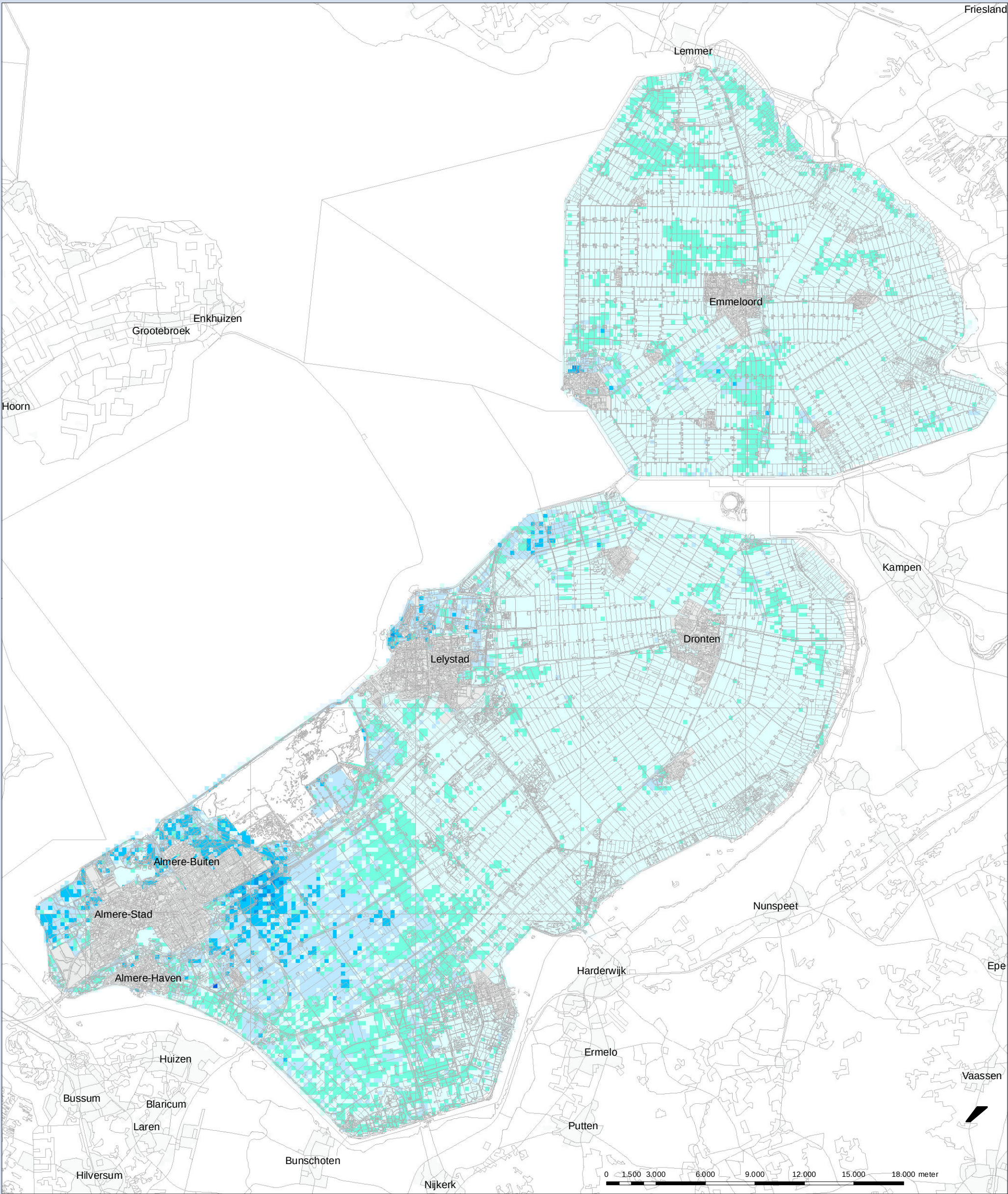
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	

Bodemdaling 2011 - 2024
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



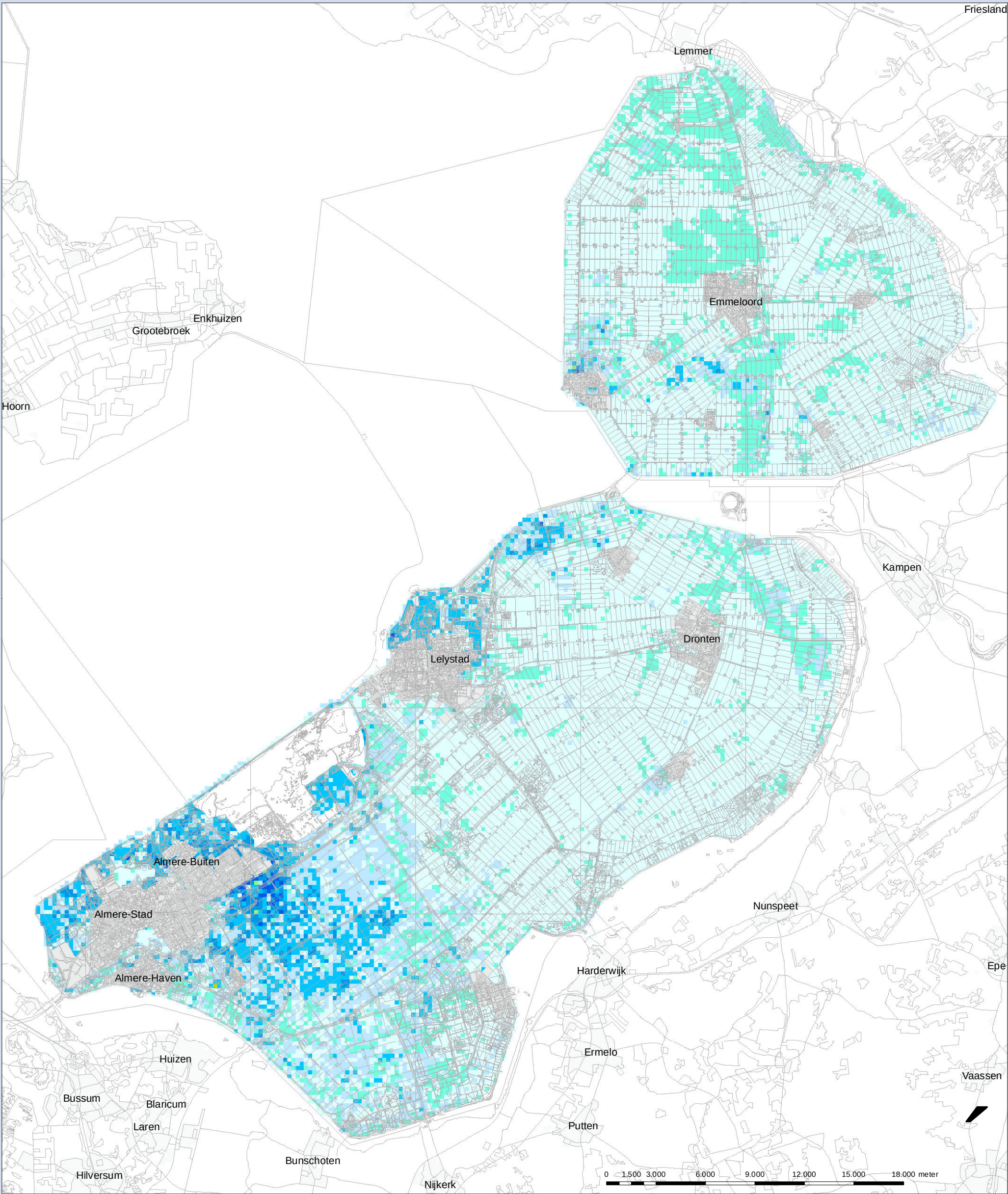
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	

Bodemdaling 2011 - 2030
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



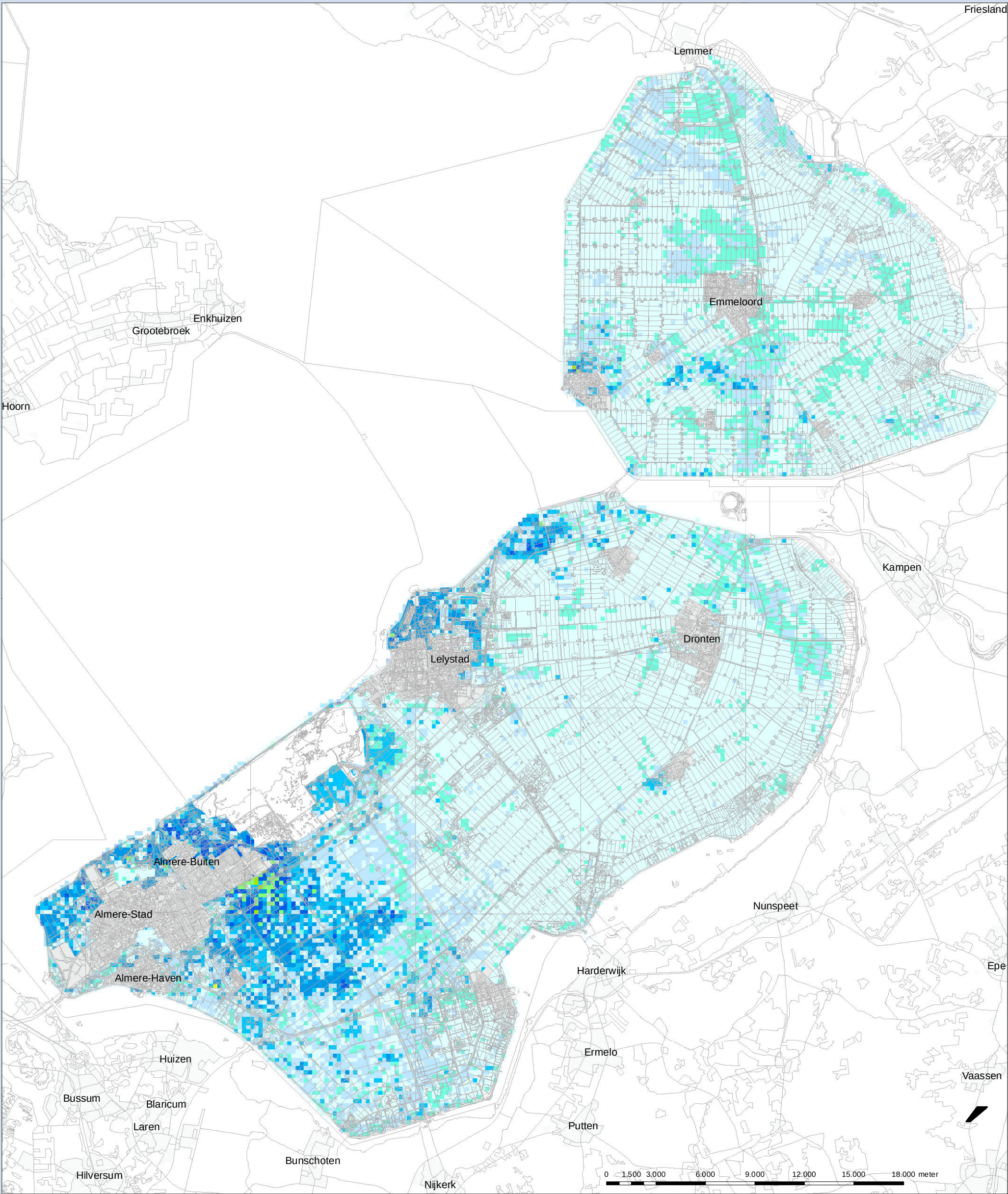
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	

Bodemdaling 2011 - 2036
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



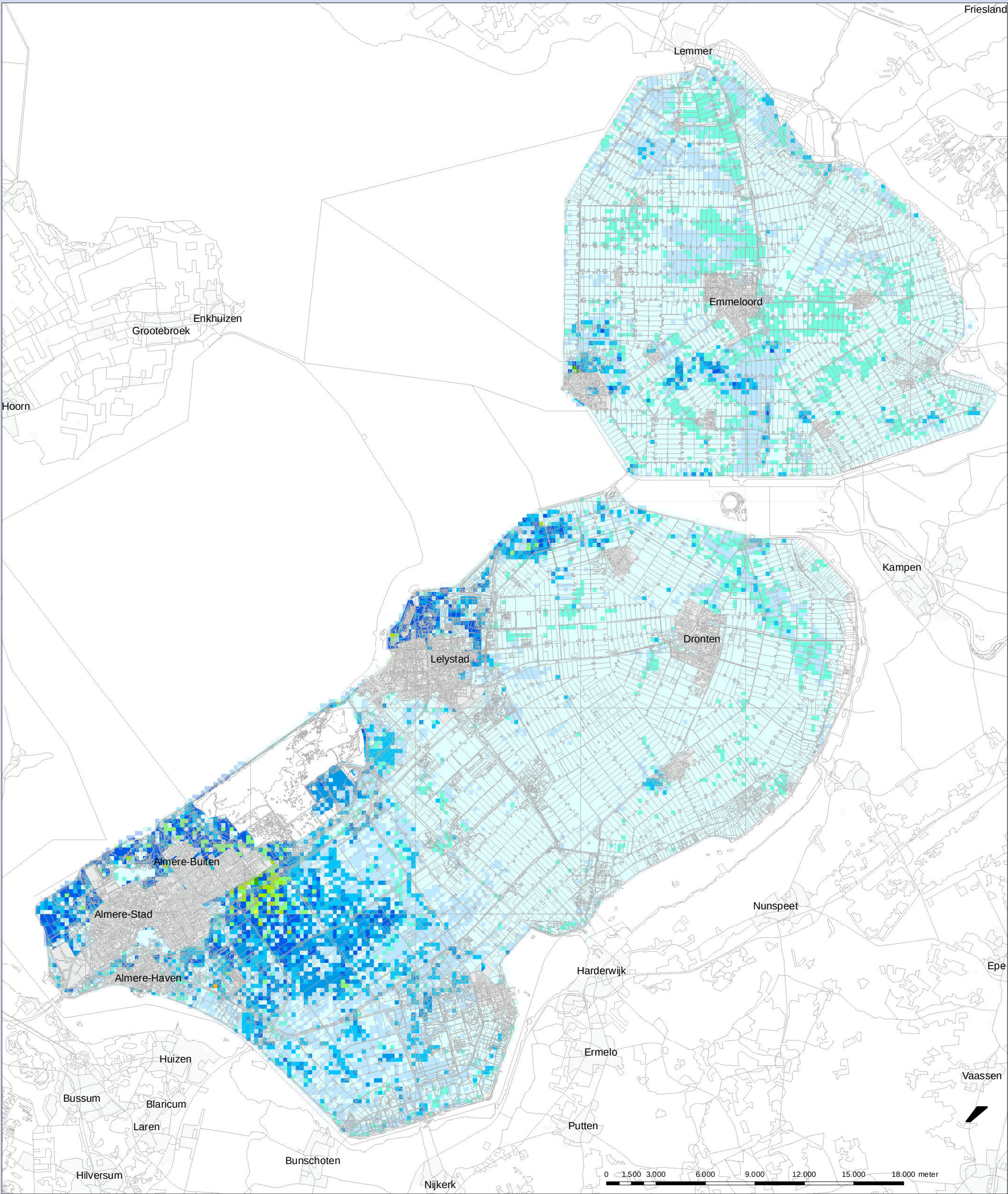
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	

Bodemdaling 2011 - 2042
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



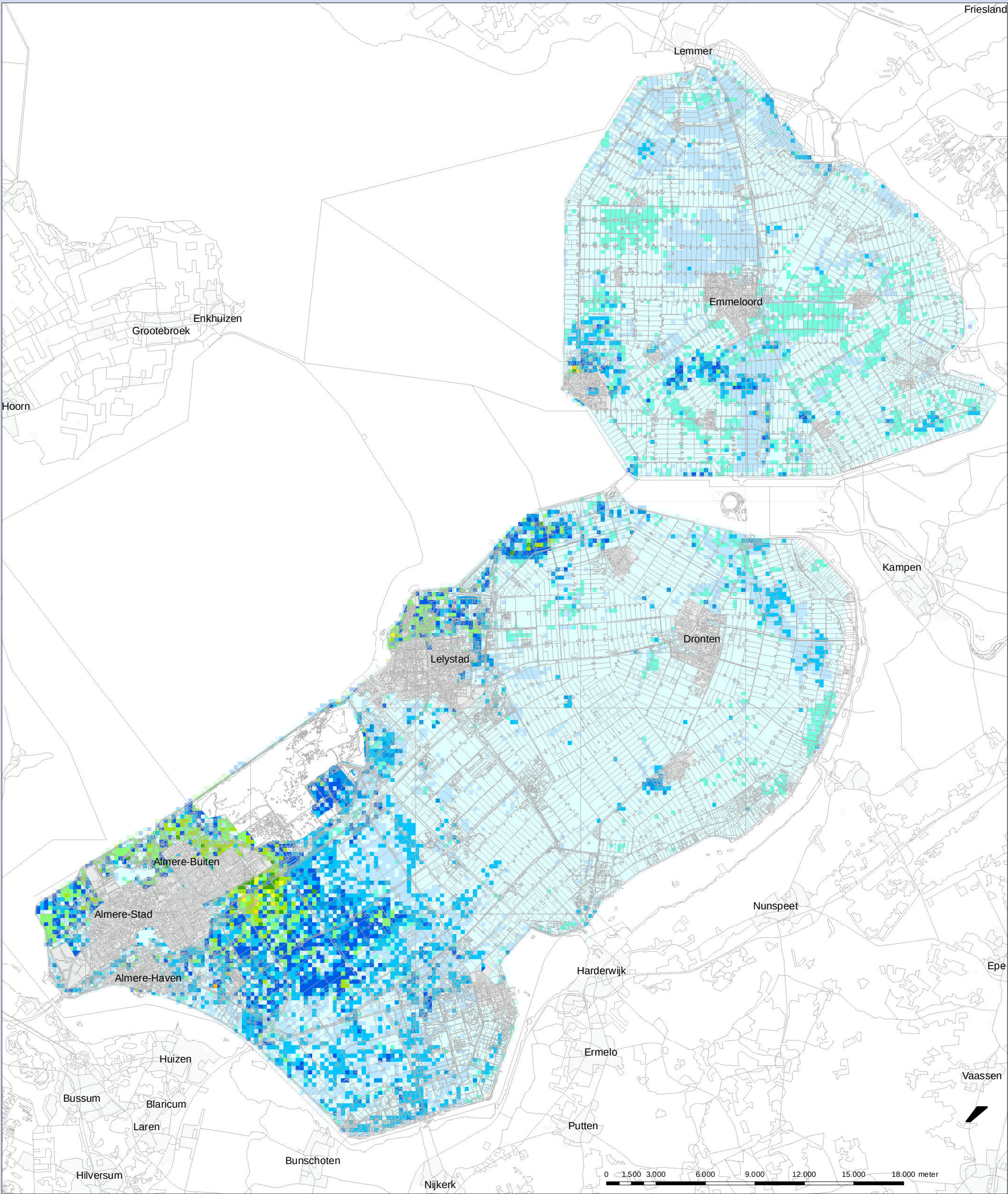
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	

Bodemdaling 2011 - 2050
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



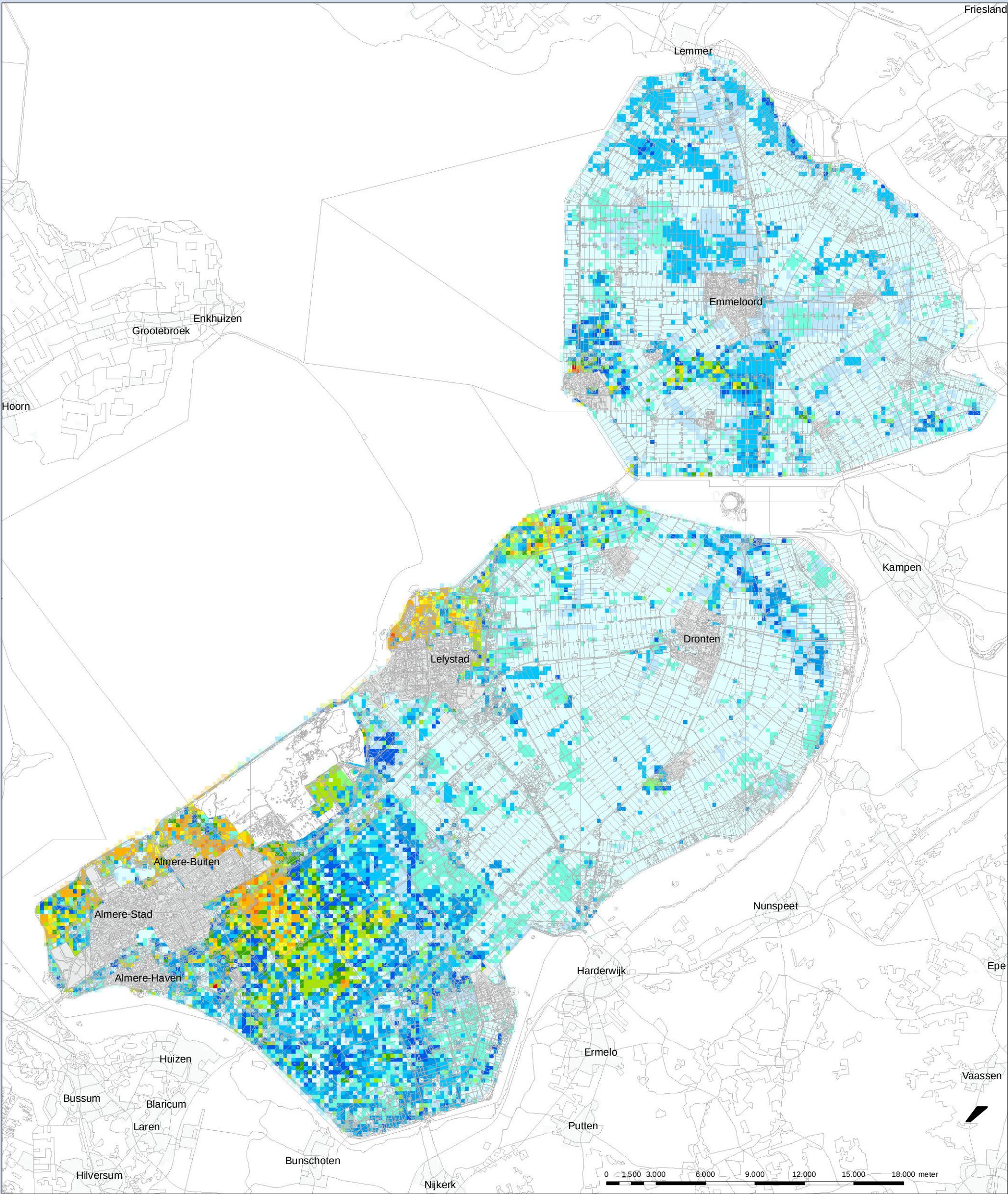
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	

Bodemdaling 2011 - 2100
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



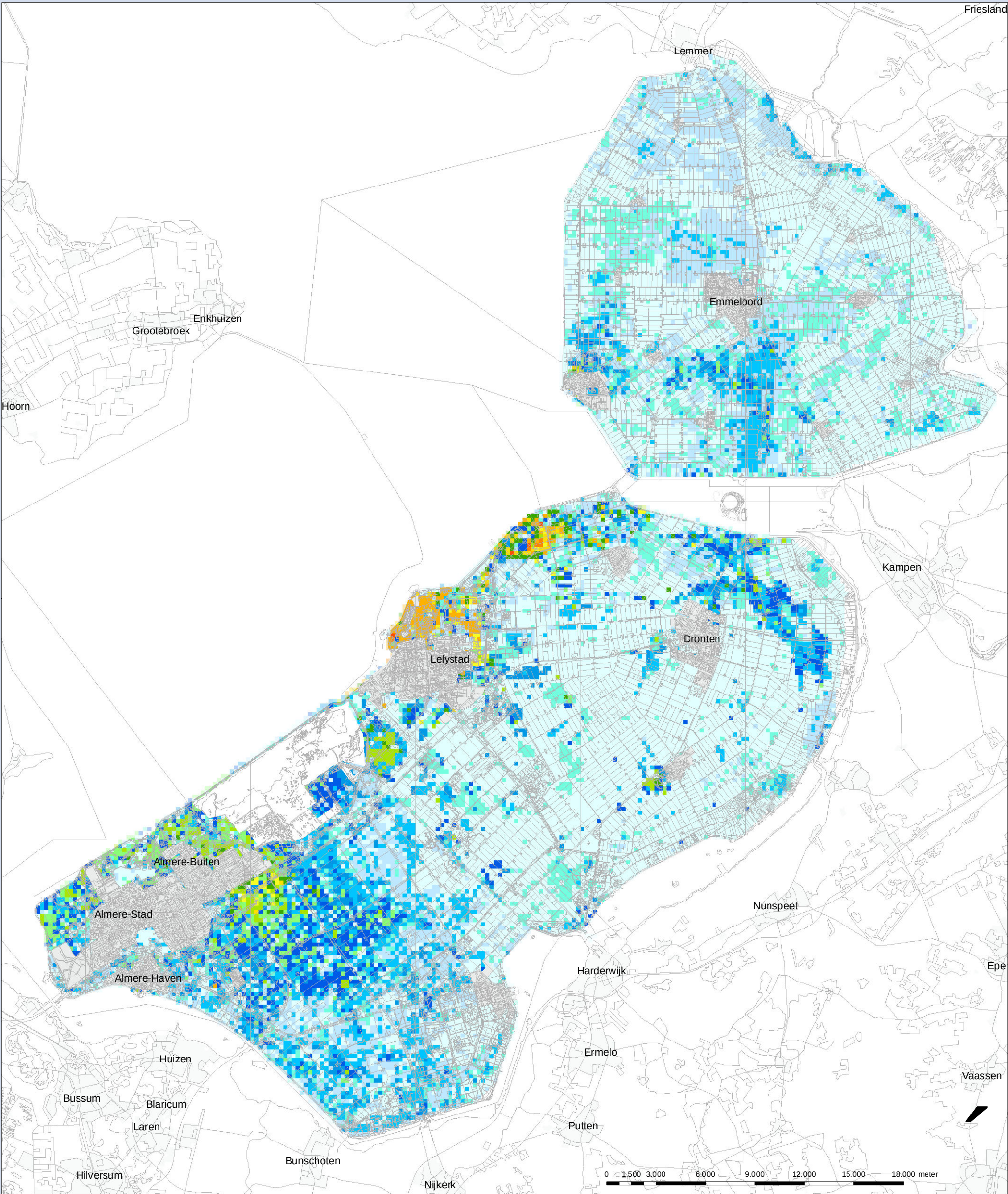
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	

Bodemdaling 2011 - 2050 W+
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



Projectnummer: 304424



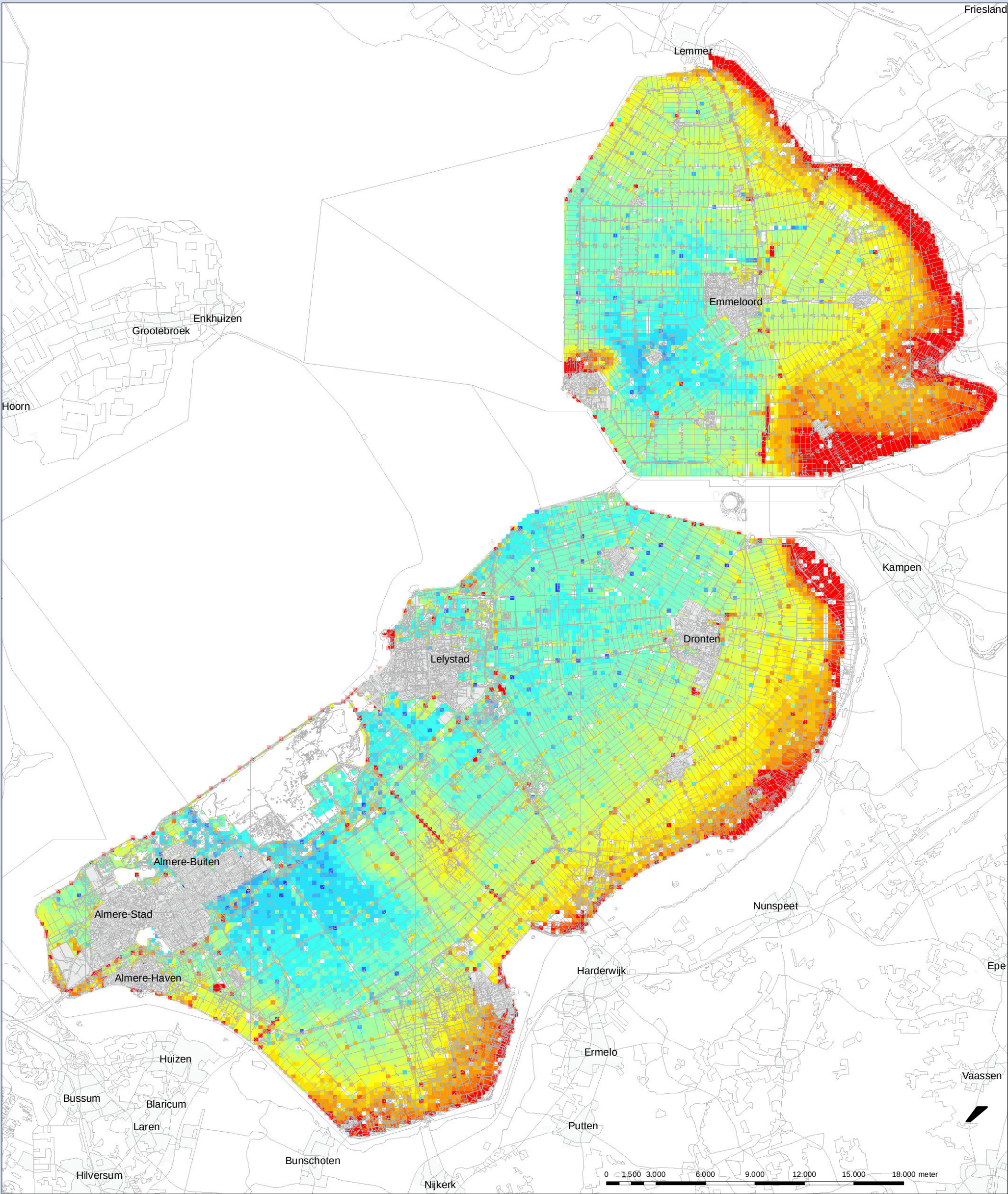
Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden

Bijlage 11

Maaiveldhoogtekaarten 2011 - 2100



Legenda

■ Kernen	■ -5,00 - -4,75	■ -3,25 - -3
Maaiveldhoogte (meter +NAP)	■ -4,74 - -4,5	■ -3,00 - -2,75
■ > -6	■ -4,50 - -4,25	■ -2,75 - -2,5
■ -6,00 - -5,75	■ -4,25 - -4	■ -2,50 - -2,25
■ -5,75 - -5,5	■ -4,00 - -3,75	■ -2,25 - -2
■ -5,50 - -5,25	■ -3,74 - -3,5	■ -2,00 - 14
■ -5,25 - -5	■ -3,50 - -3,25	

Maaiveldhoogte 2018
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



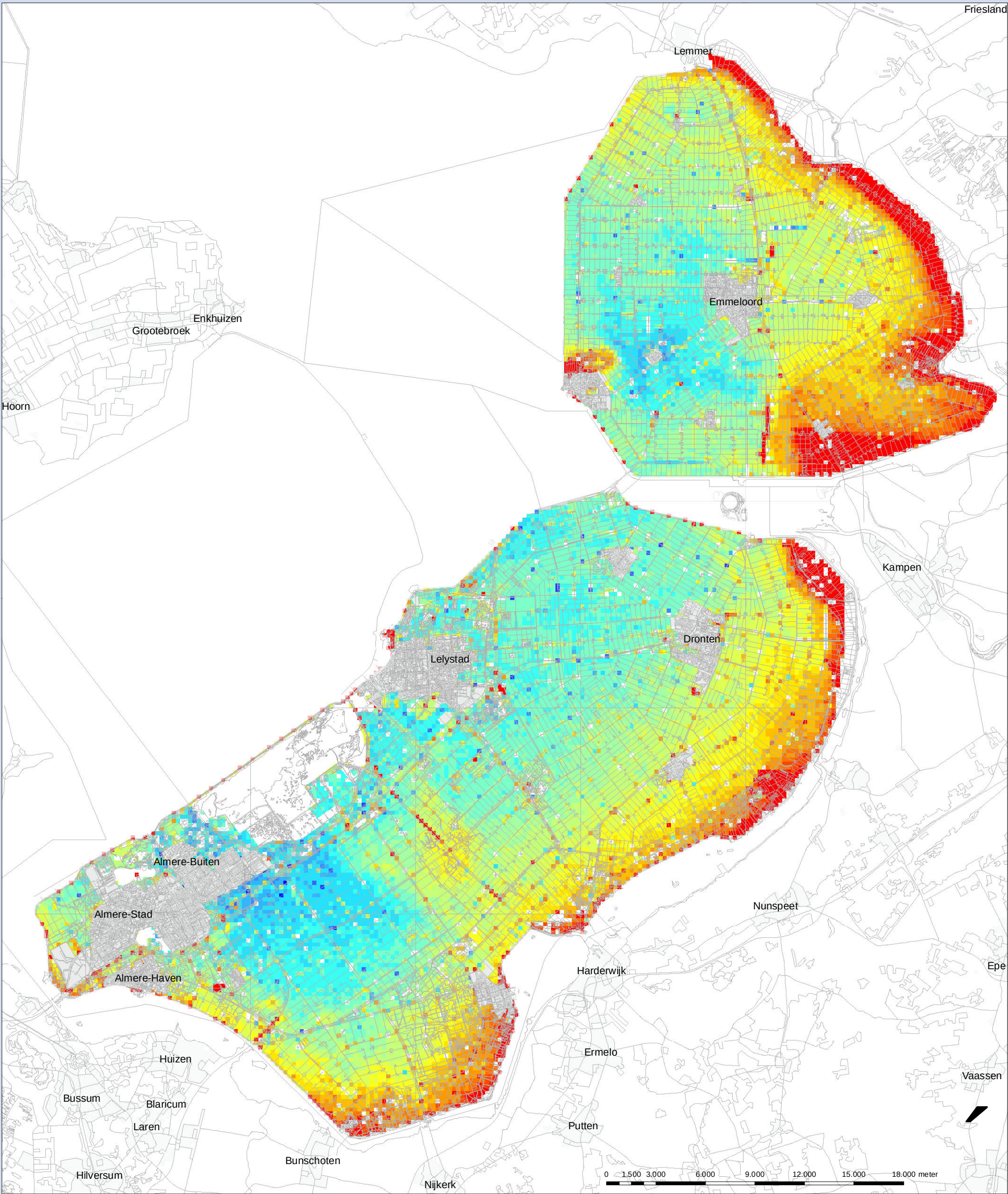
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-5,00 - -4,75	-3,25 - -3
Maaiveldhoogte (meter +NAP)	-4,74 - -4,5	-3,00 - -2,75
> -6	-4,50 - -4,25	-2,75 - -2,5
-6,00 - -5,75	-4,25 - -4	-2,50 - -2,25
-5,75 - -5,5	-4,00 - -3,75	-2,25 - -2
-5,50 - -5,25	-3,74 - -3,5	-2,00 - -1,4
-5,25 - -5	-3,50 - -3,25	

Maaiveldhoogte 2024
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en Waterschap Zuiderzeeland



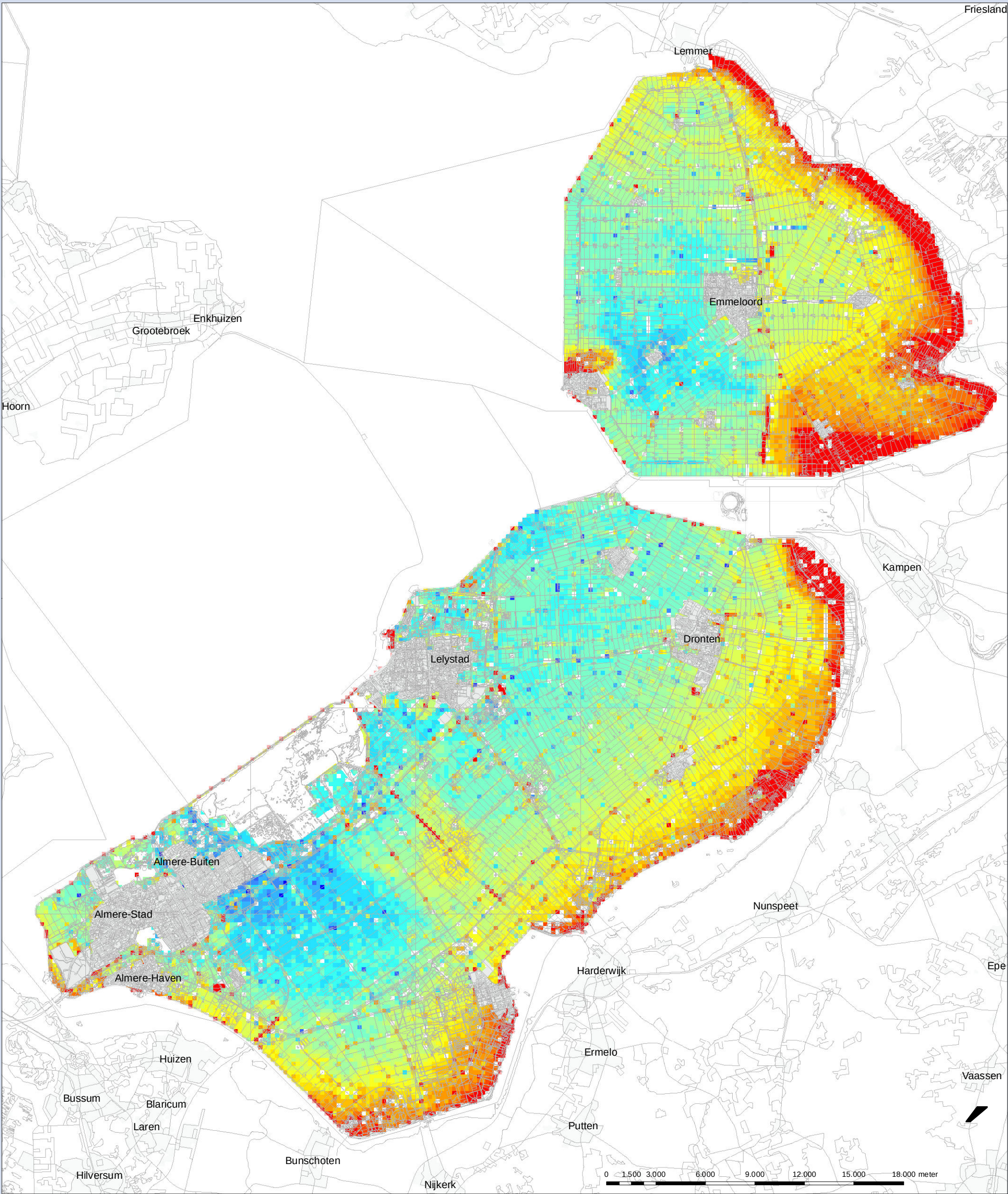
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-5,00 - -4,75	-3,25 - -3
Maaiveldhoogte (meter +NAP)	-4,74 - -4,5	-3,00 - -2,75
> -6	-4,50 - -4,25	-2,75 - -2,5
-6,00 - -5,75	-4,25 - -4	-2,50 - -2,25
-5,75 - -5,5	-4,00 - -3,75	-2,25 - -2
-5,50 - -5,25	-3,74 - -3,5	-2,00 - -1,4
-5,25 - -5	-3,50 - -3,25	

Maaiveldhoogte 2030
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



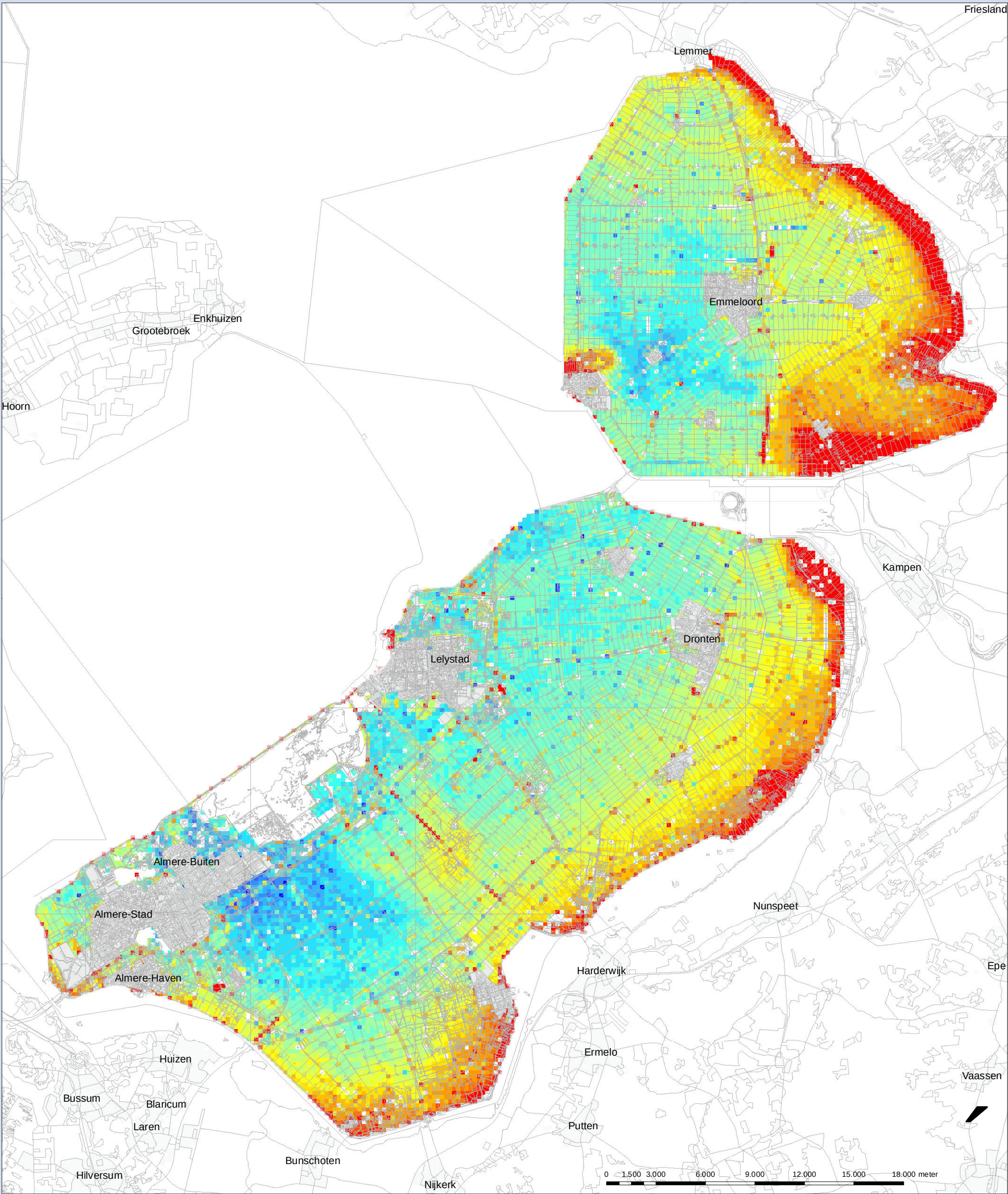
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-5,00 - -4,75	-3,25 - -3
Maaiveldhoogte (meter +NAP)	-4,74 - -4,5	-3,00 - -2,75
> -6	-4,50 - -4,25	-2,75 - -2,5
-6,00 - -5,75	-4,25 - -4	-2,50 - -2,25
-5,75 - -5,5	-4,00 - -3,75	-2,25 - -2
-5,50 - -5,25	-3,74 - -3,5	-2,00 - 14
-5,25 - -5	-3,50 - -3,25	

Maaiveldhoogte 2036
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



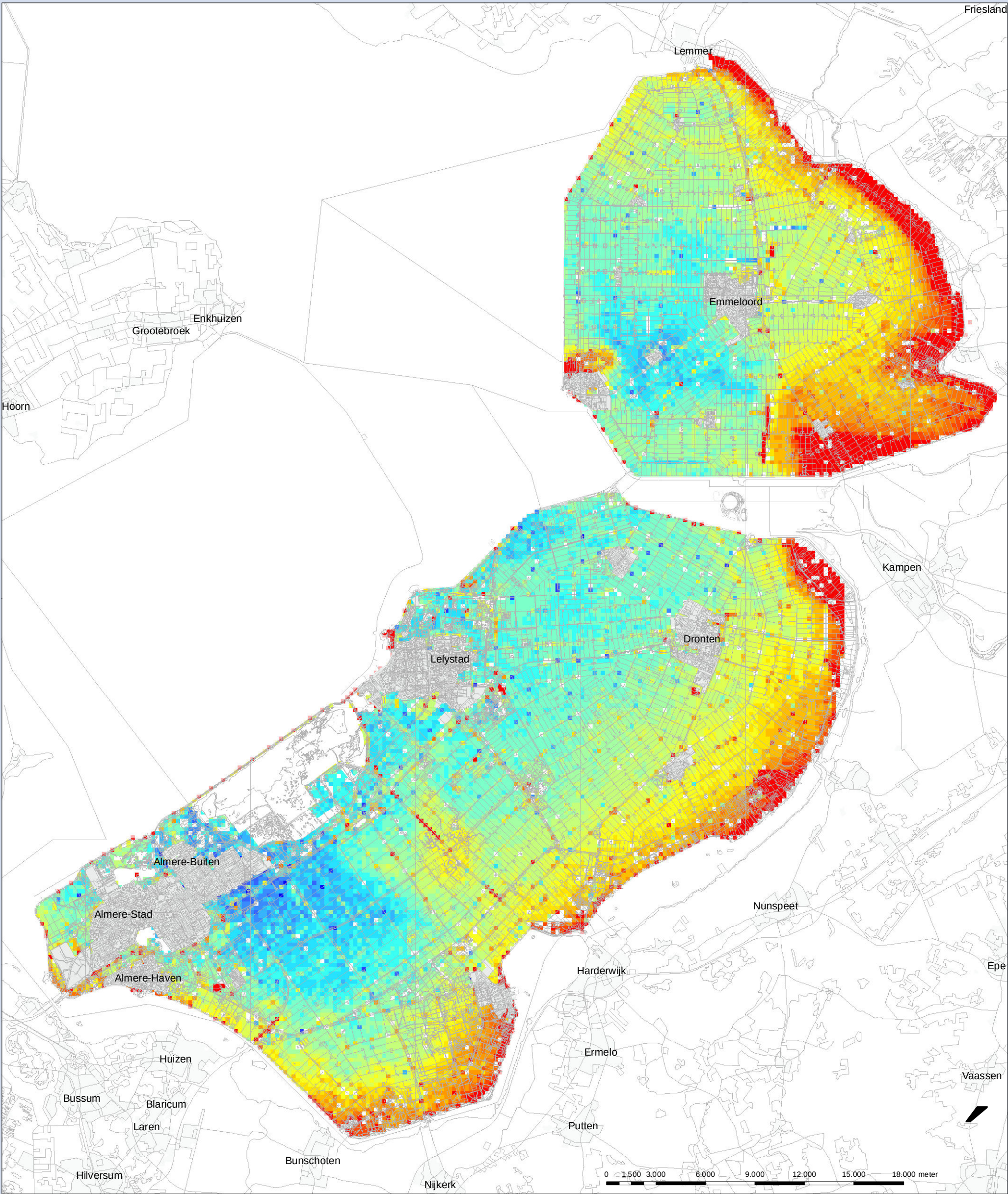
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-5,00 - -4,75	-3,25 - -3
Maaiveldhoogte (meter +NAP)	-4,74 - -4,5	-3,00 - -2,75
> -6	-4,50 - -4,25	-2,75 - -2,5
-6,00 - -5,75	-4,25 - -4	-2,50 - -2,25
-5,75 - -5,5	-4,00 - -3,75	-2,25 - -2
-5,50 - -5,25	-3,74 - -3,5	-2,00 - -1,4
-5,25 - -5	-3,50 - -3,25	

Maaiveldhoogte 2042
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



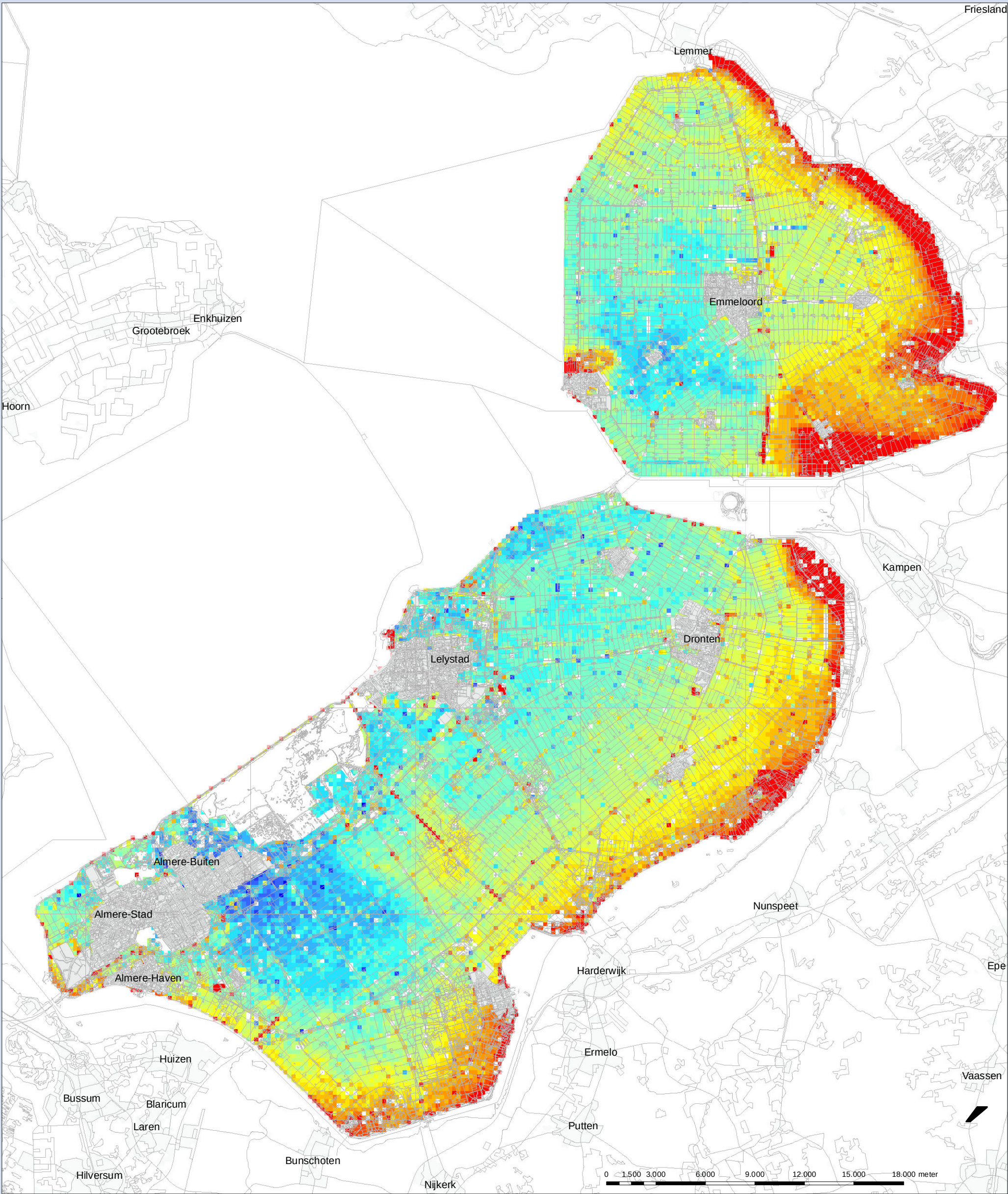
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-5,00 - -4,75	-3,25 - -3
Maaiveldhoogte (meter +NAP)	-4,74 - -4,5	-3,00 - -2,75
> -6	-4,50 - -4,25	-2,75 - -2,5
-6,00 - -5,75	-4,25 - -4	-2,50 - -2,25
-5,75 - -5,5	-4,00 - -3,75	-2,25 - -2
-5,50 - -5,25	-3,74 - -3,5	-2,00 - -1,4
-5,25 - -5	-3,50 - -3,25	

Maaiveldhoogte 2050
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



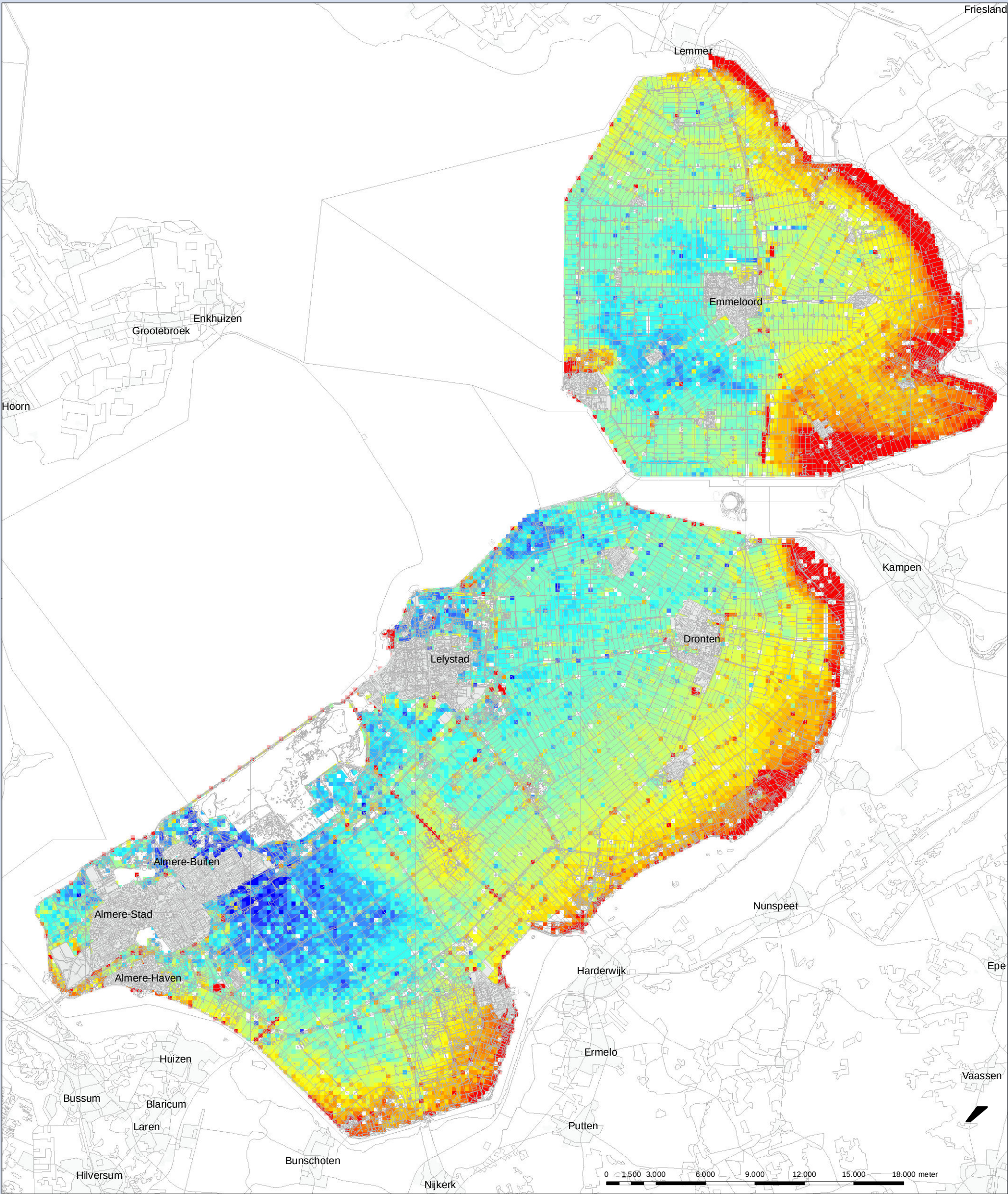
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-5,00 - -4,75	-3,25 - -3
Maaiveldhoogte (meter +NAP)	-4,74 - -4,5	-3,00 - -2,75
> -6	-4,50 - -4,25	-2,75 - -2,5
-6,00 - -5,75	-4,25 - -4	-2,50 - -2,25
-5,75 - -5,5	-4,00 - -3,75	-2,25 - -2
-5,50 - -5,25	-3,74 - -3,5	-2,00 - 14
-5,25 - -5	-3,50 - -3,25	

Maaiveldhoogte 2100
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



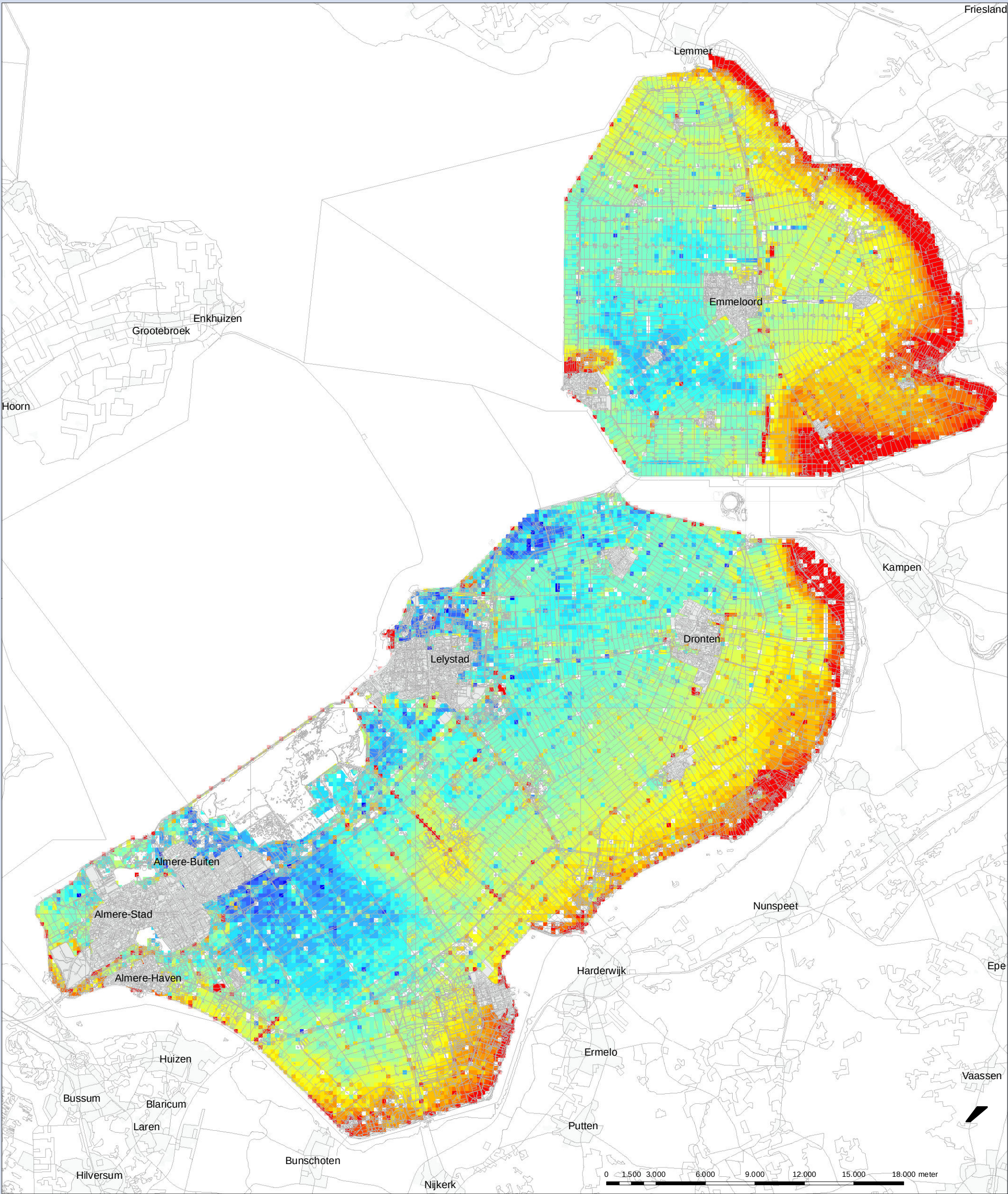
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

■ Kernen	■ -5,00 - -4,75	■ -3,25 - -3
Maaiveldhoogte (meter +NAP)	■ -4,74 - -4,5	■ -3,00 - -2,75
■ > -6	■ -4,50 - -4,25	■ -2,75 - -2,5
■ -6,00 - -5,75	■ -4,25 - -4	■ -2,50 - -2,25
■ -5,75 - -5,5	■ -4,00 - -3,75	■ -2,25 - -2
■ -5,50 - -5,25	■ -3,74 - -3,5	■ -2,00 - 14
■ -5,25 - -5	■ -3,50 - -3,25	

Maaiveldhoogte 2050 W+
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



Projectnummer: 304424



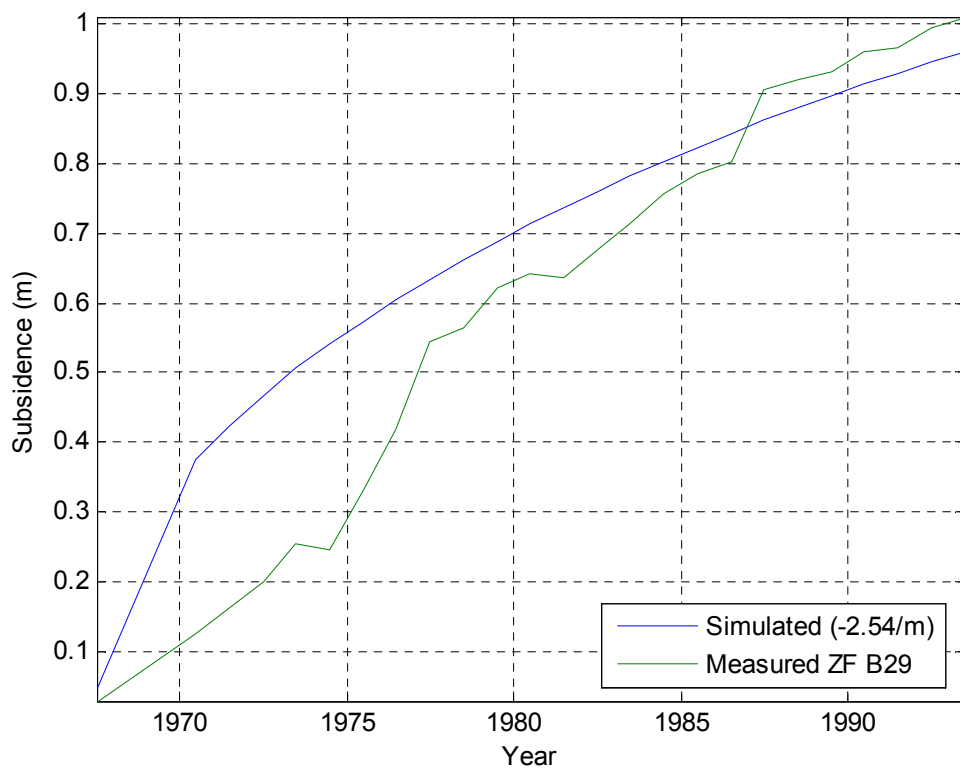
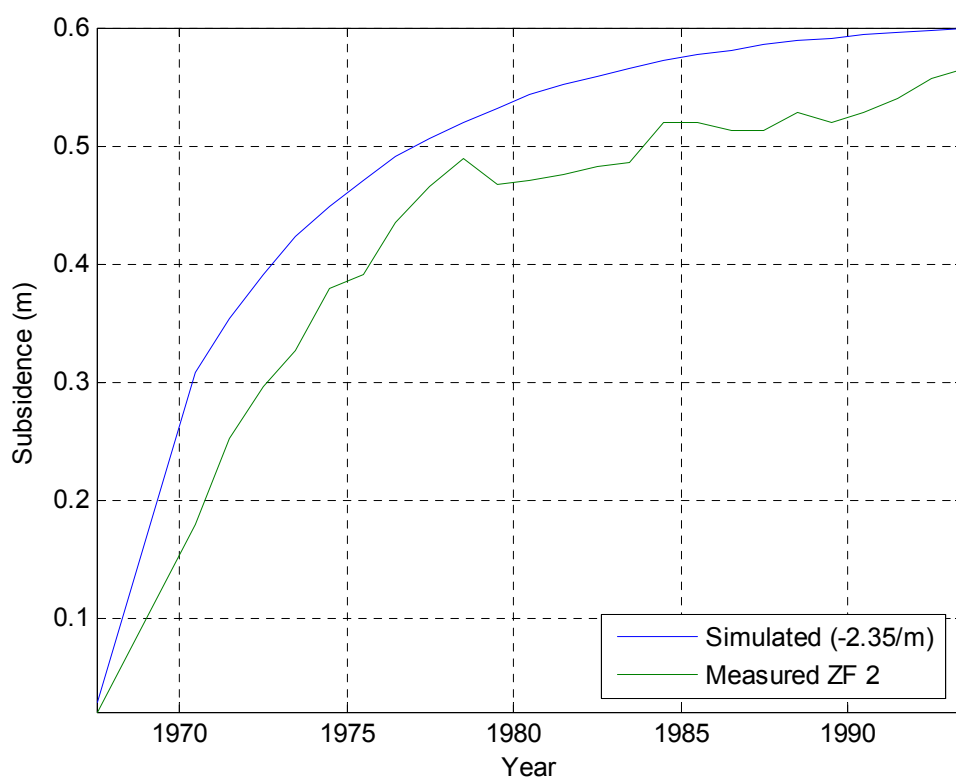
Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:225.000
Formaat: A3

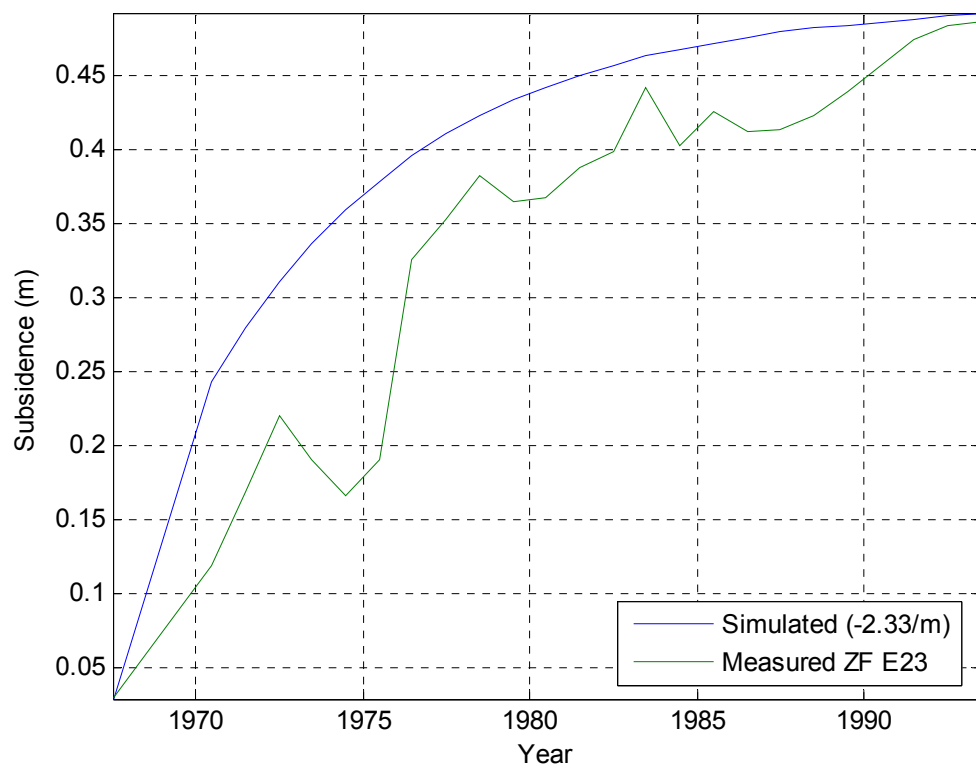
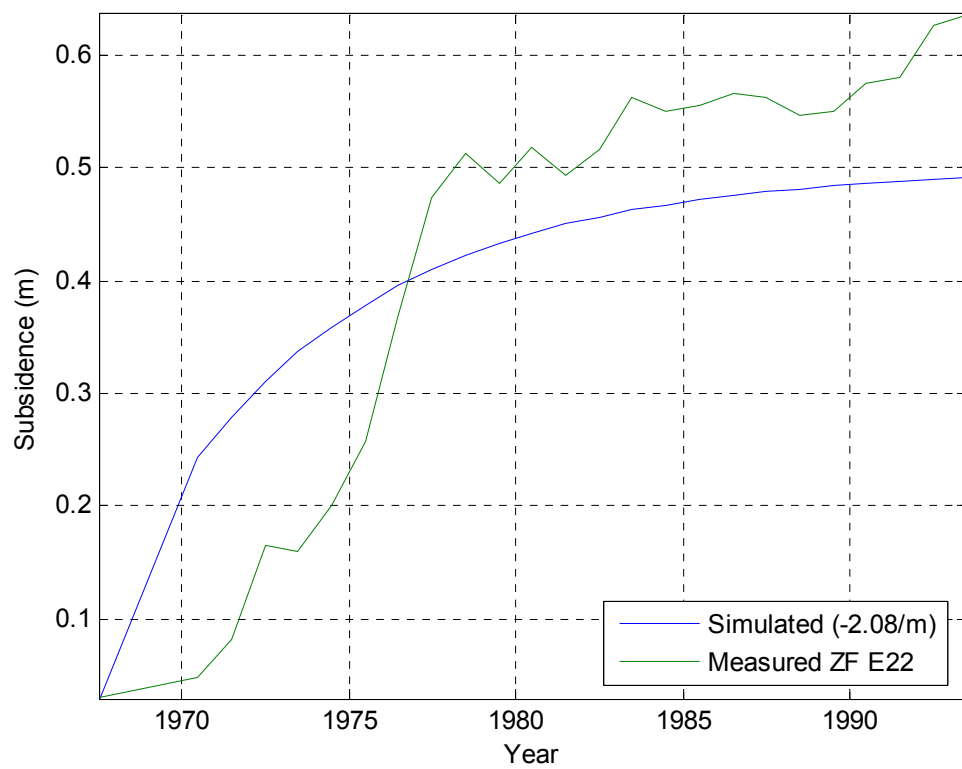


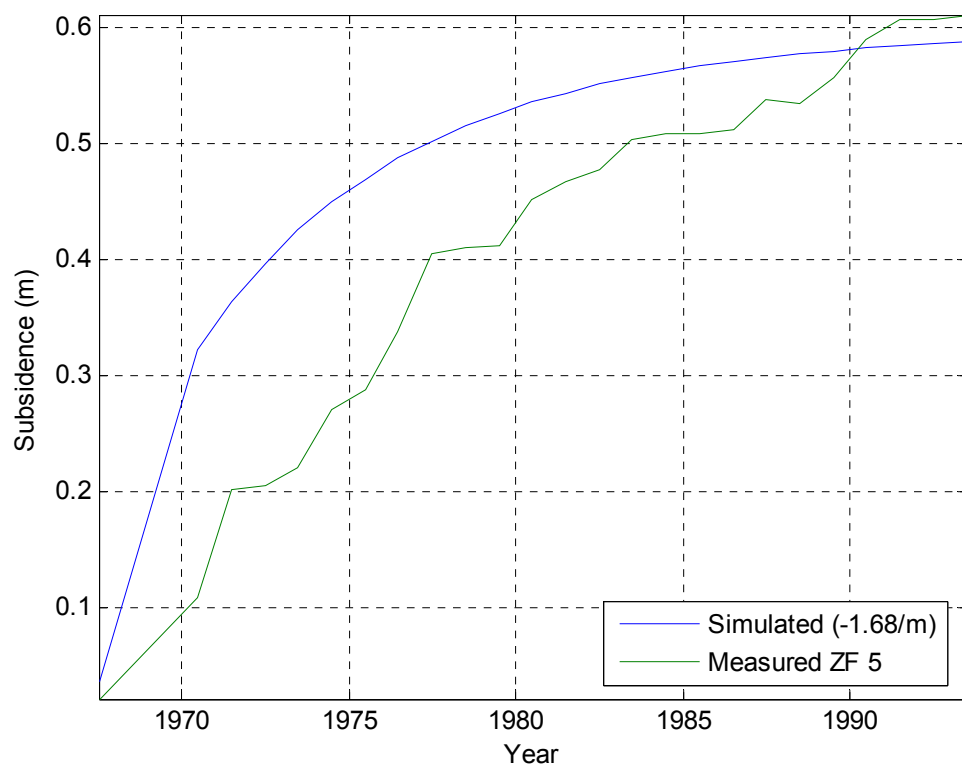
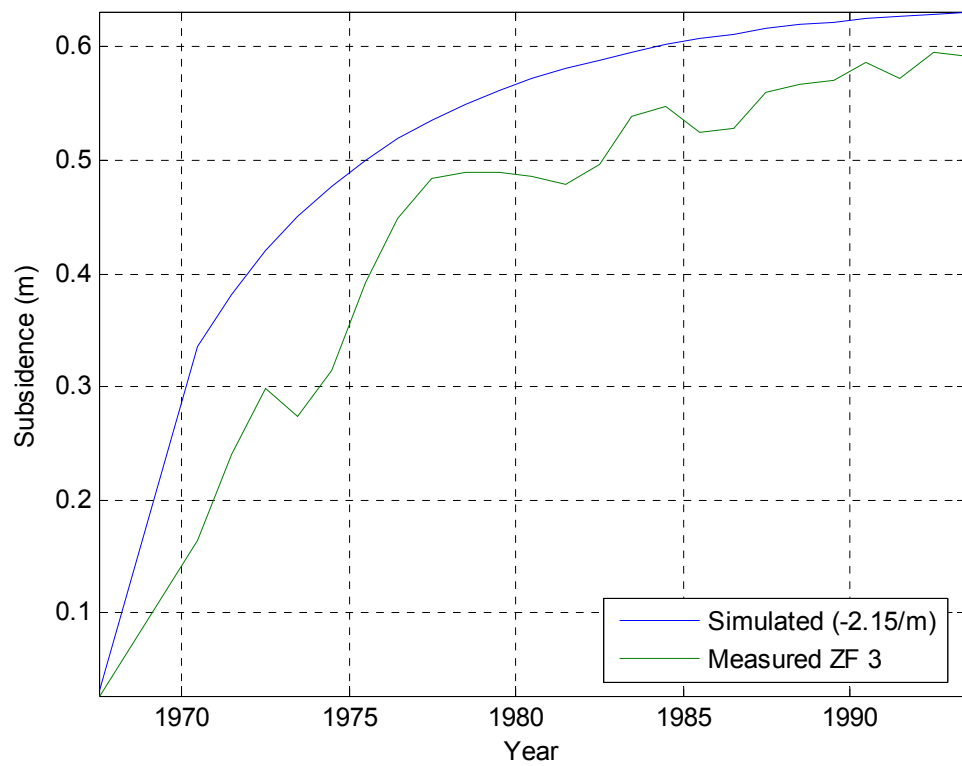
Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden

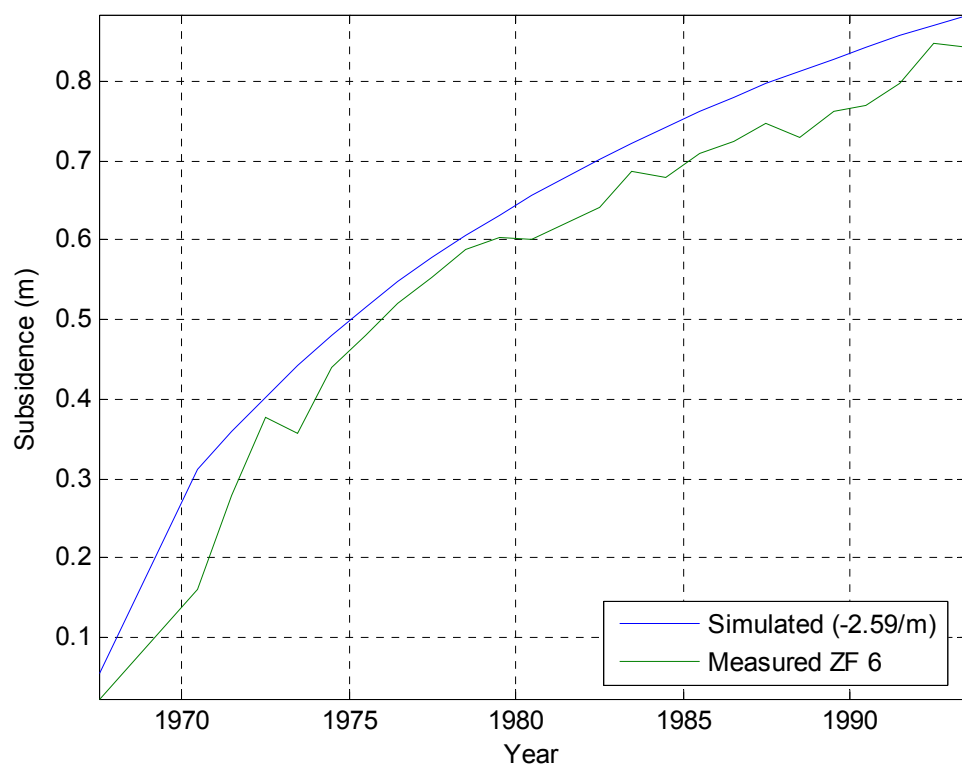
Bijlage 12

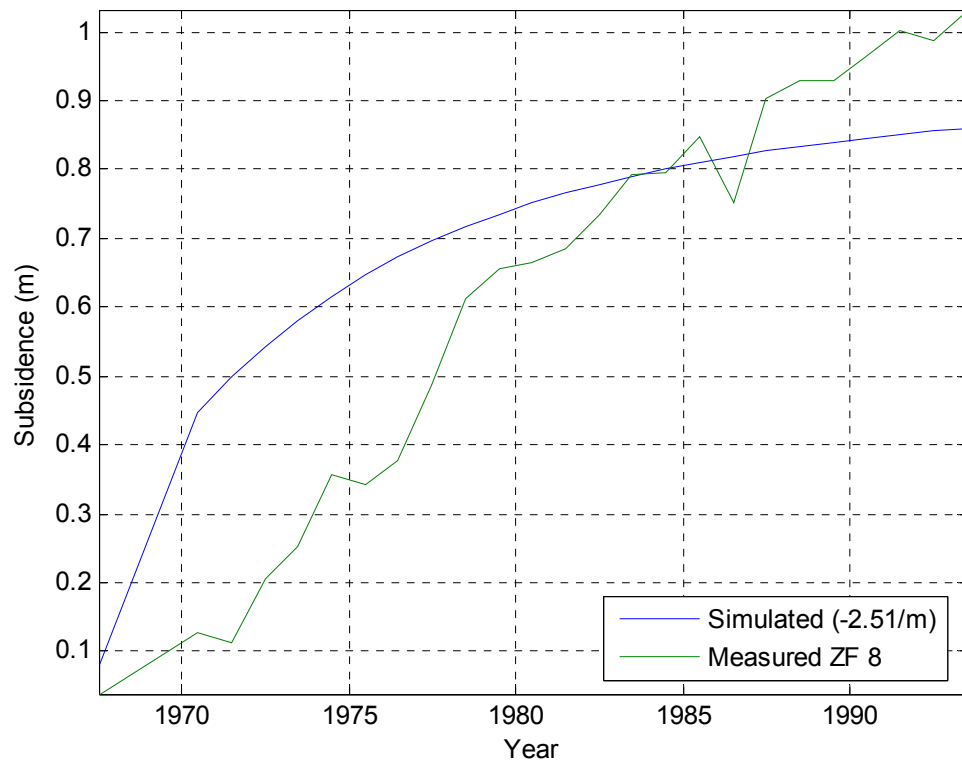
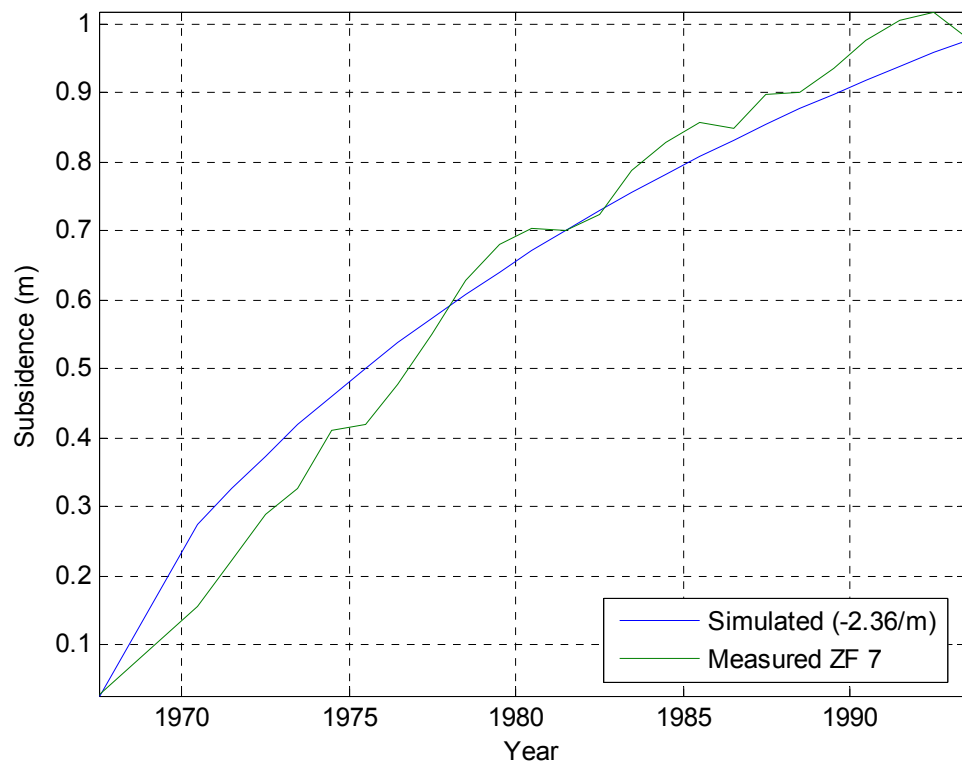
Berekende versus gemeten daling rijpingsterreinen

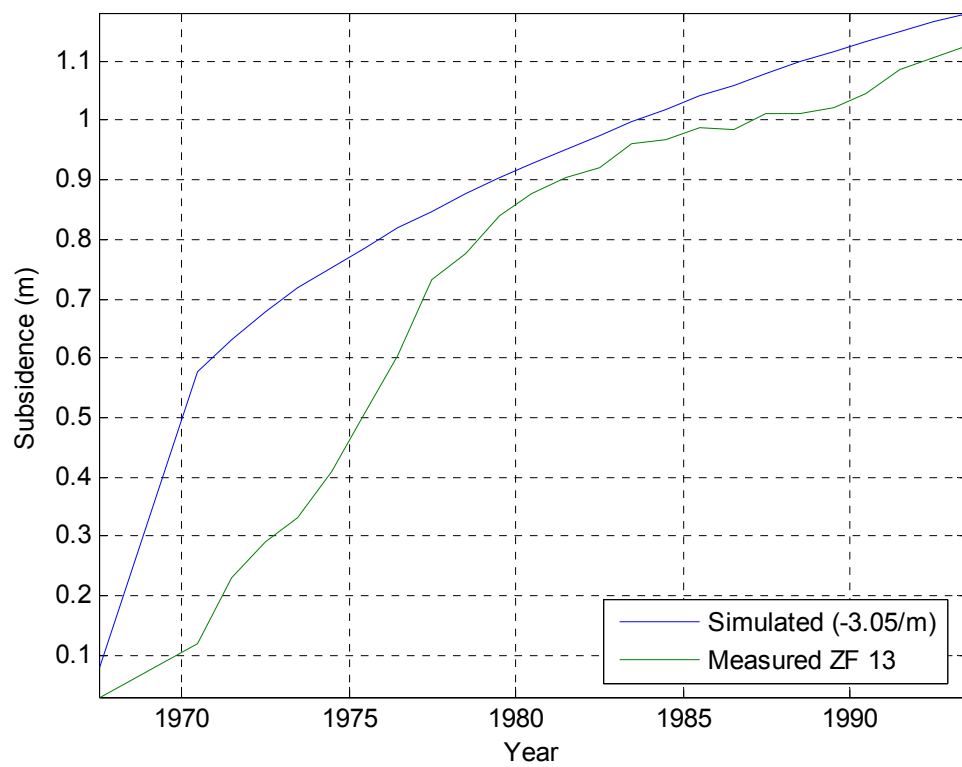
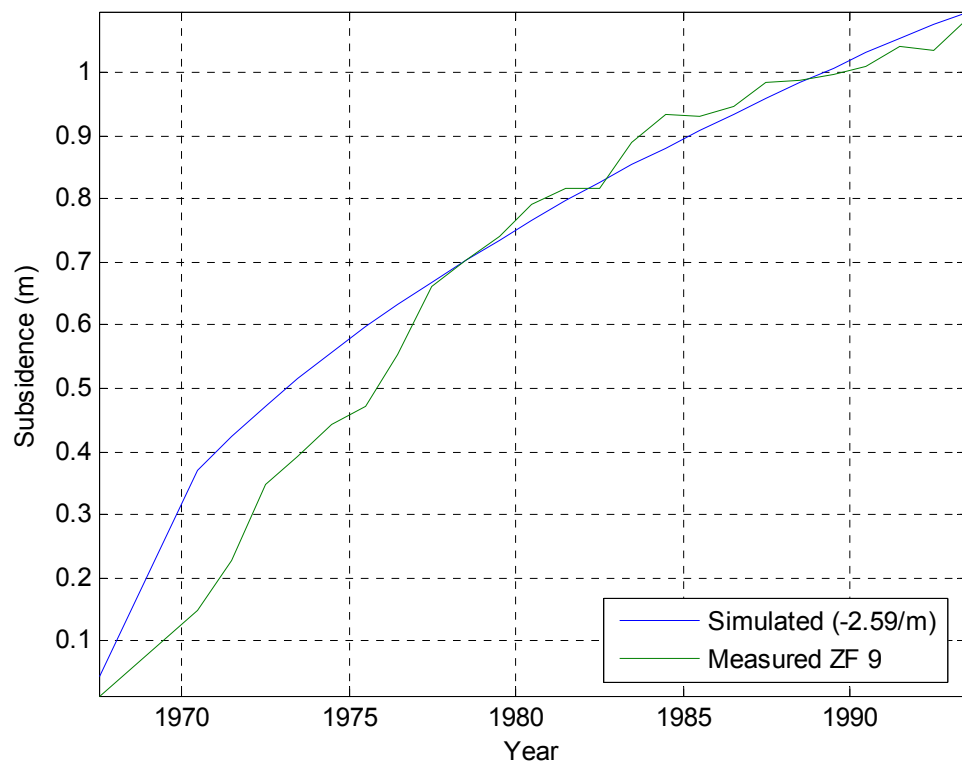


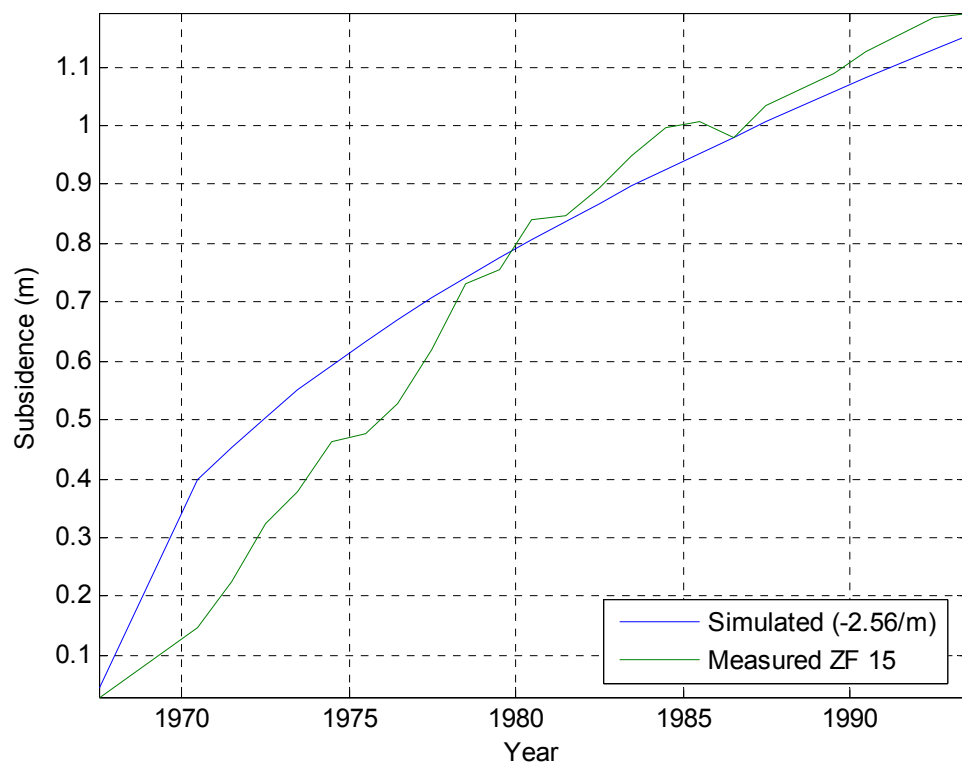
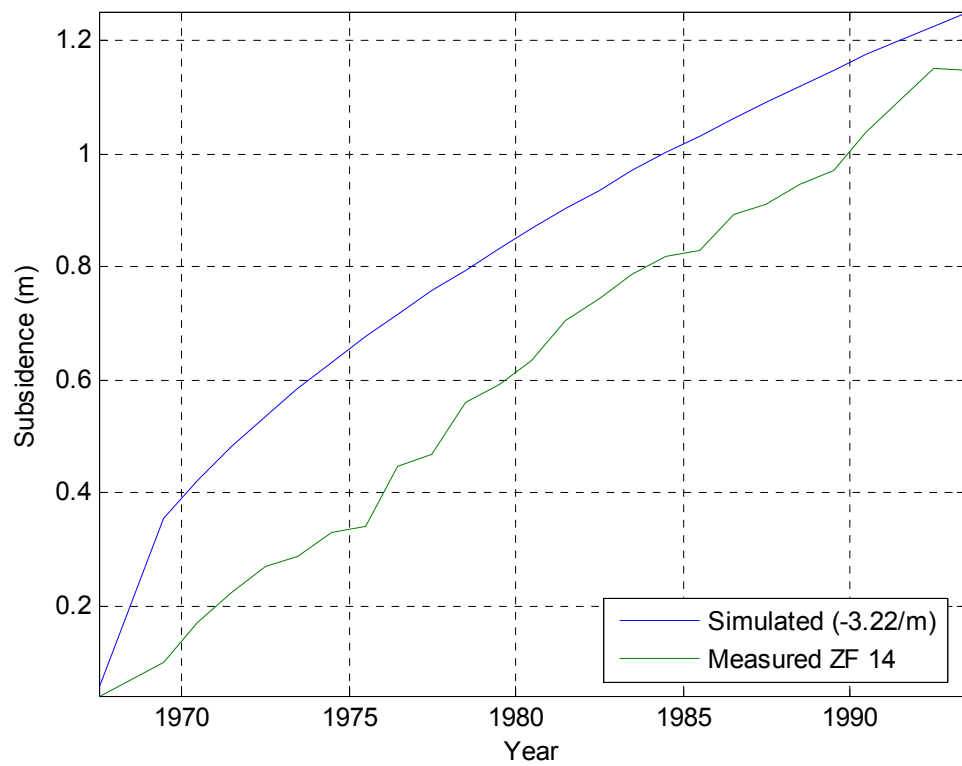


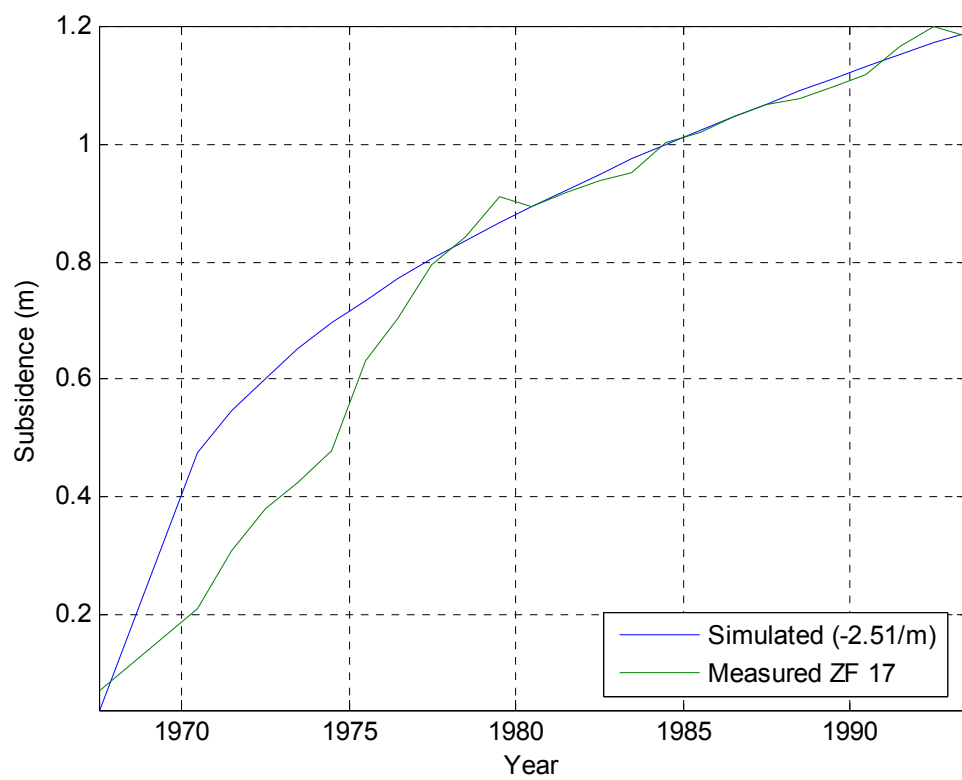
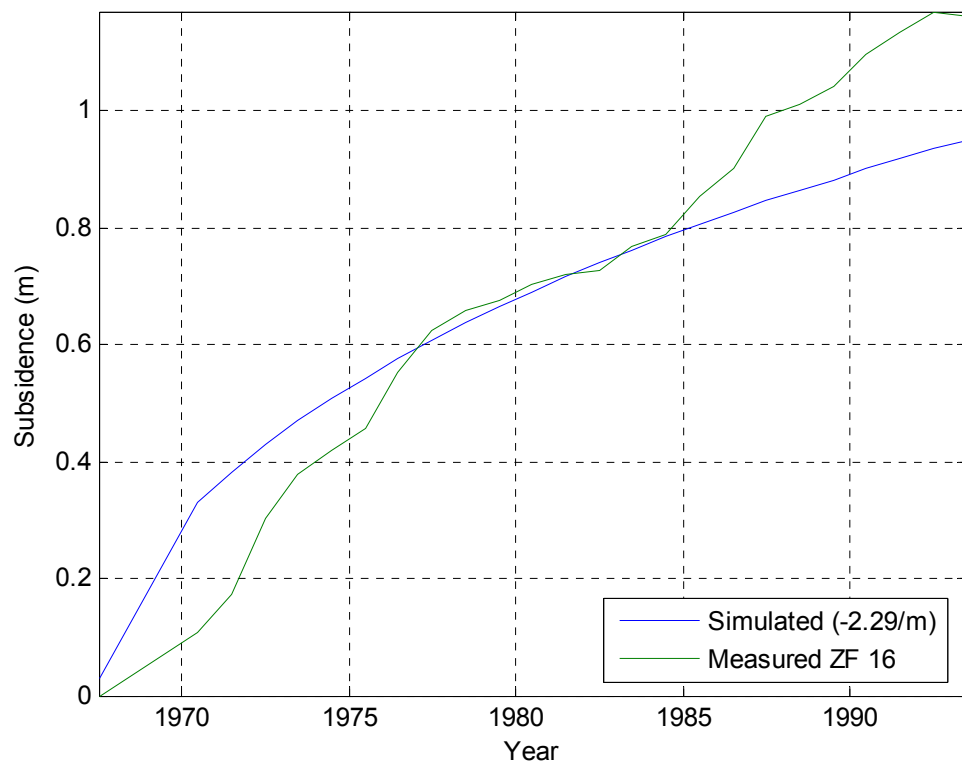


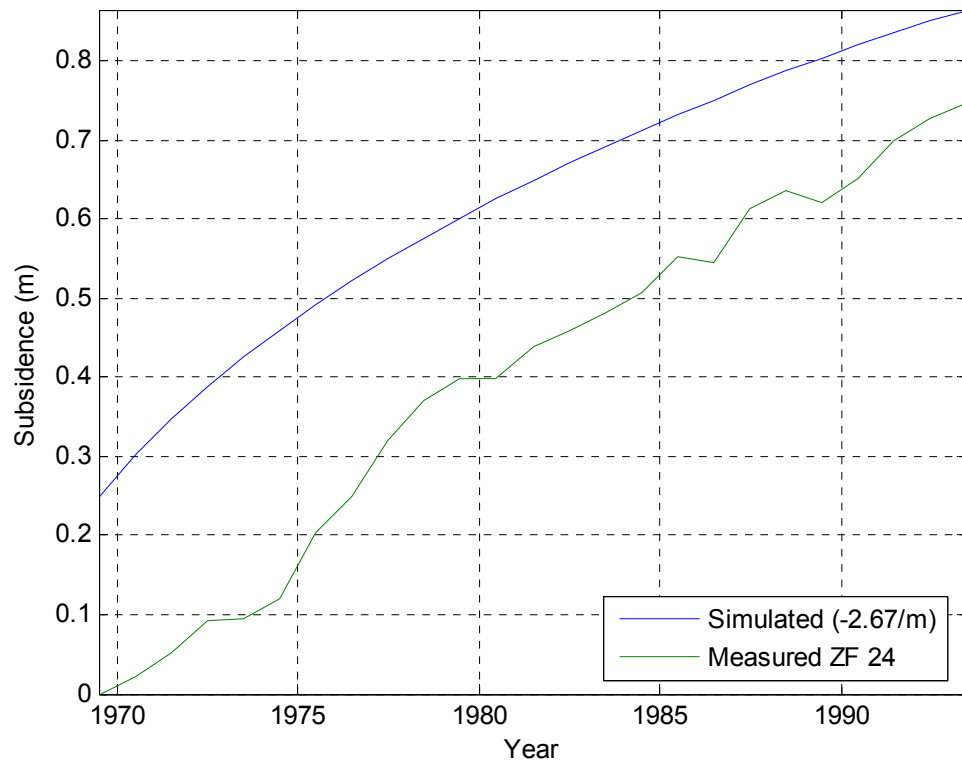
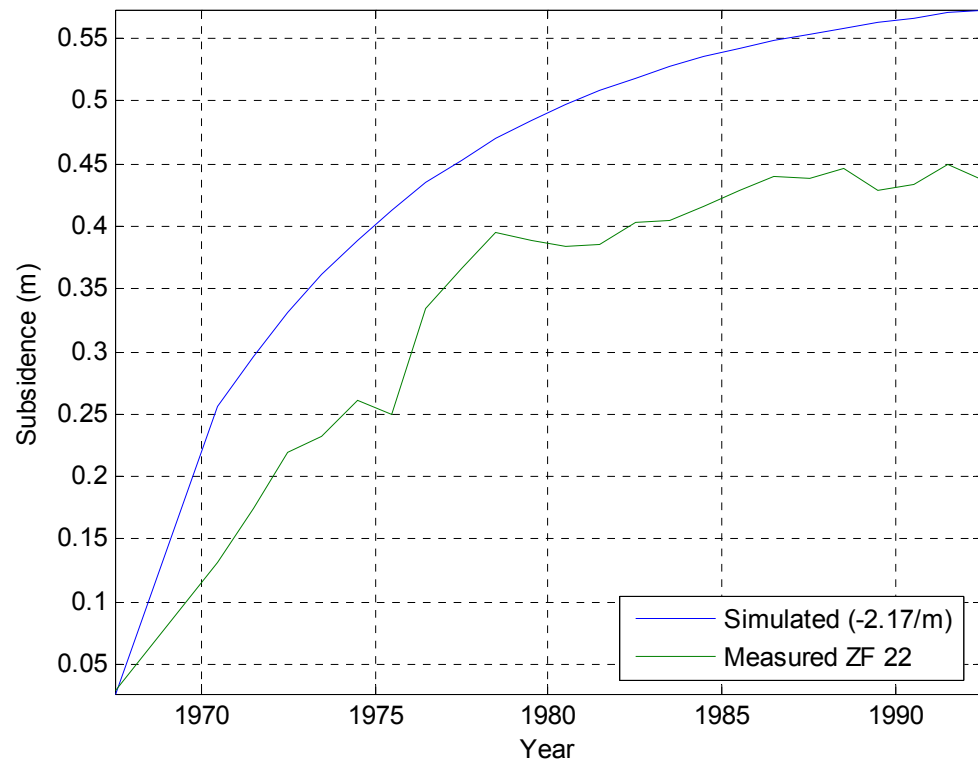


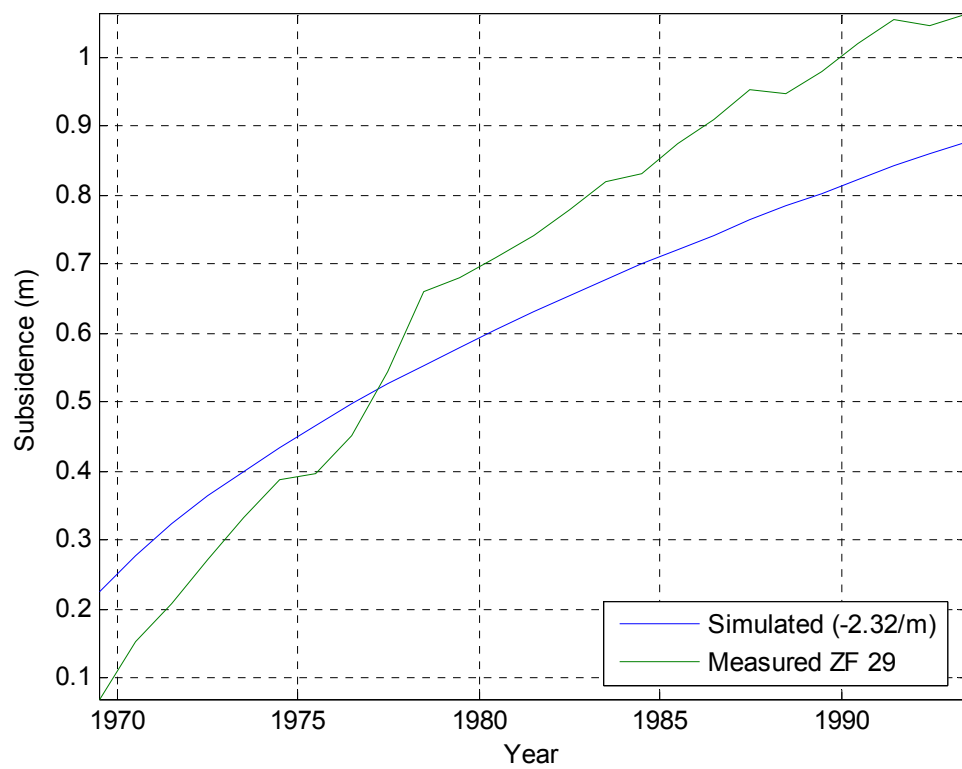
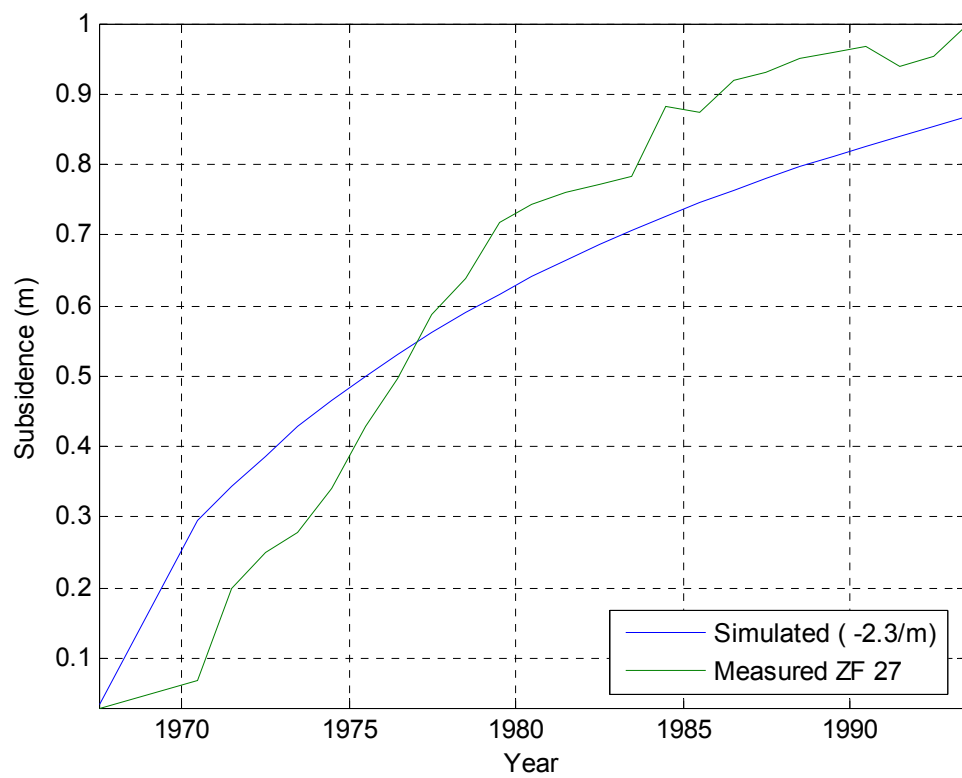


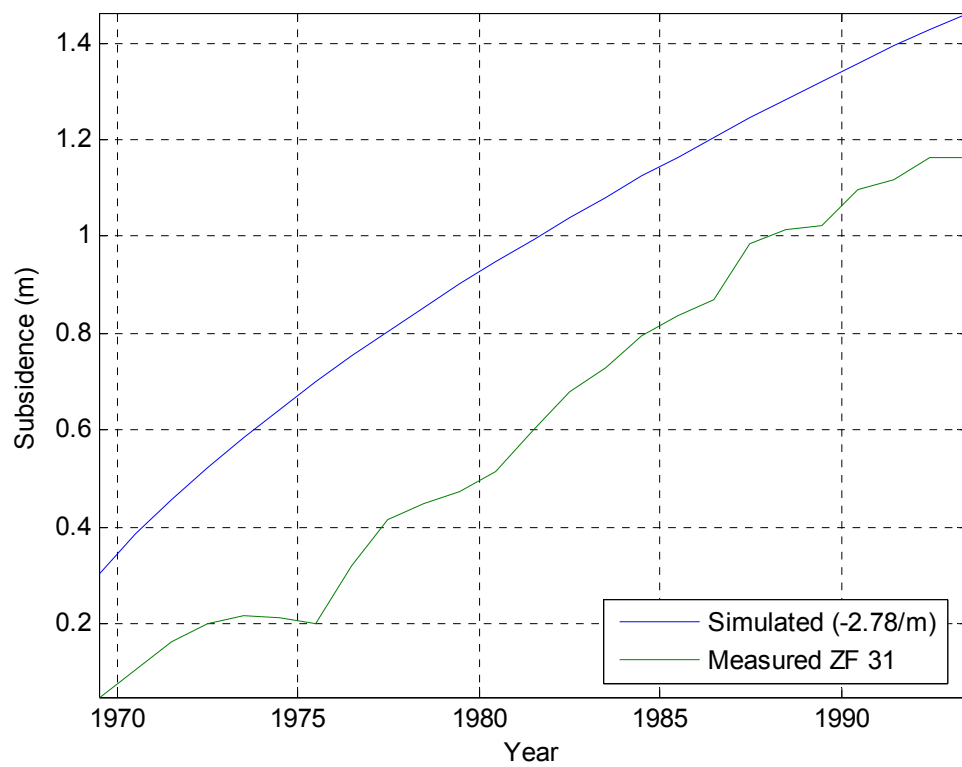
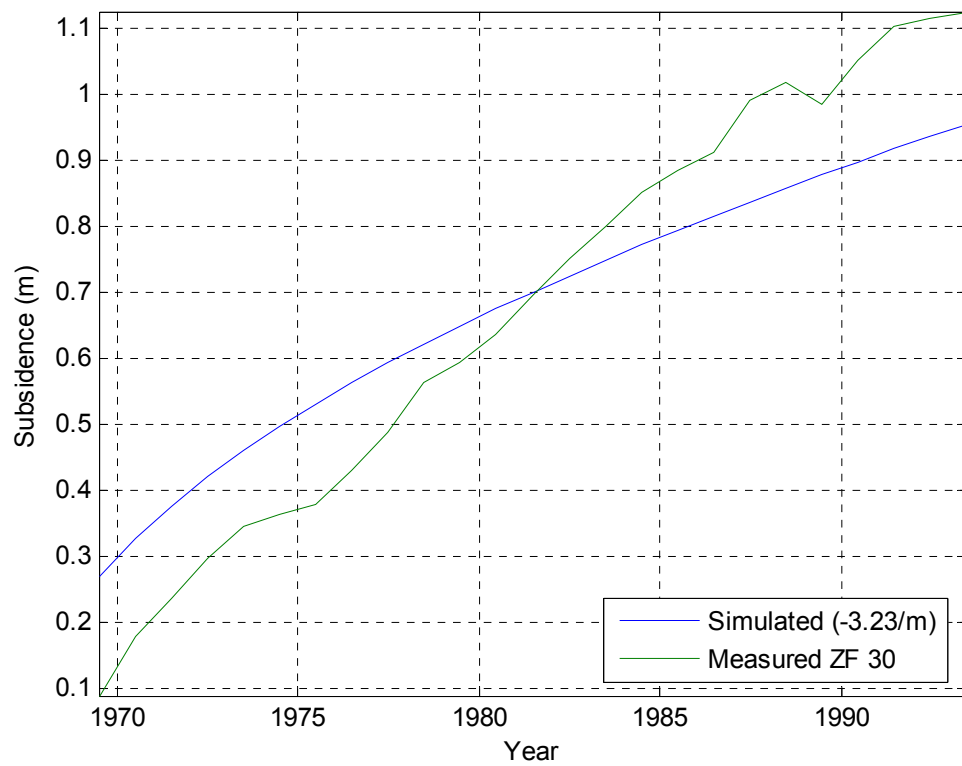


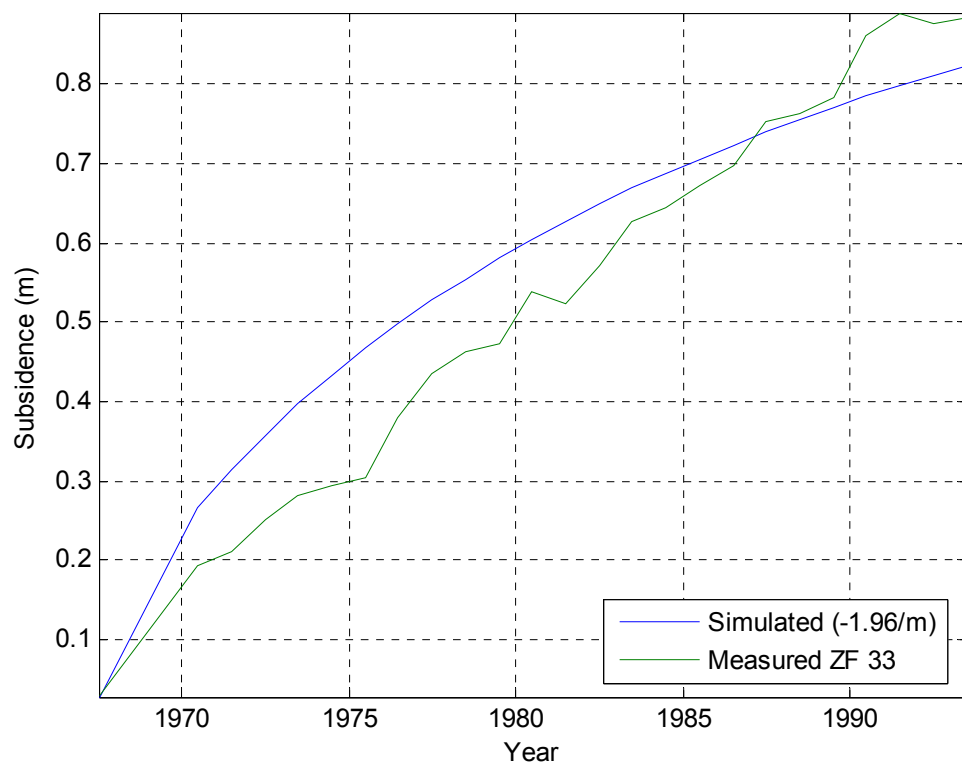
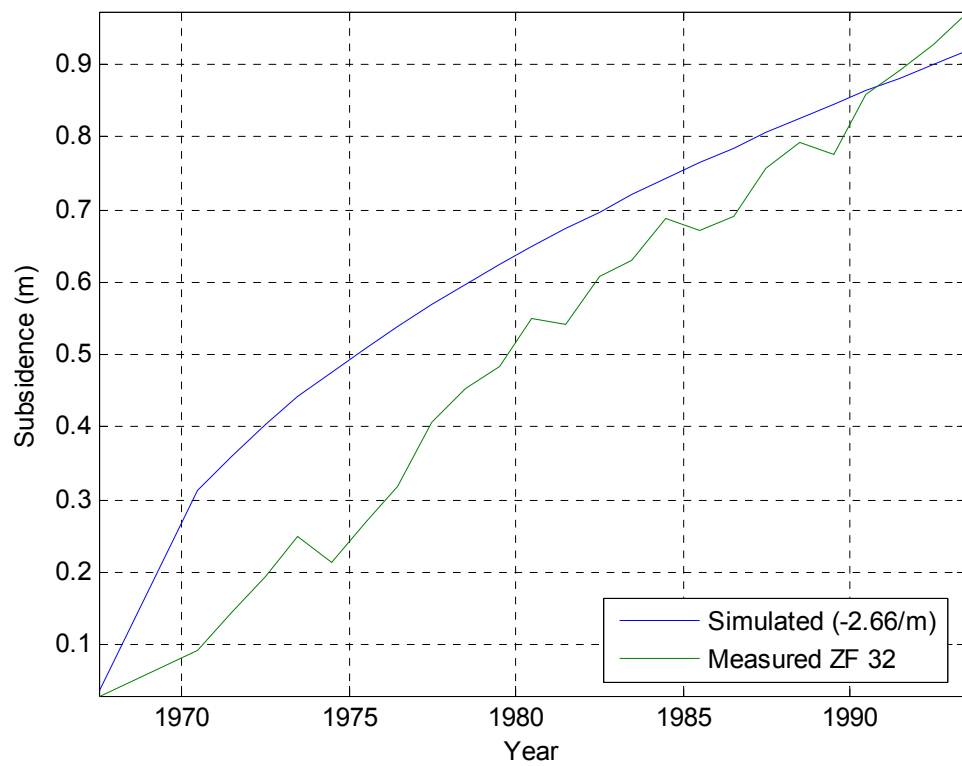


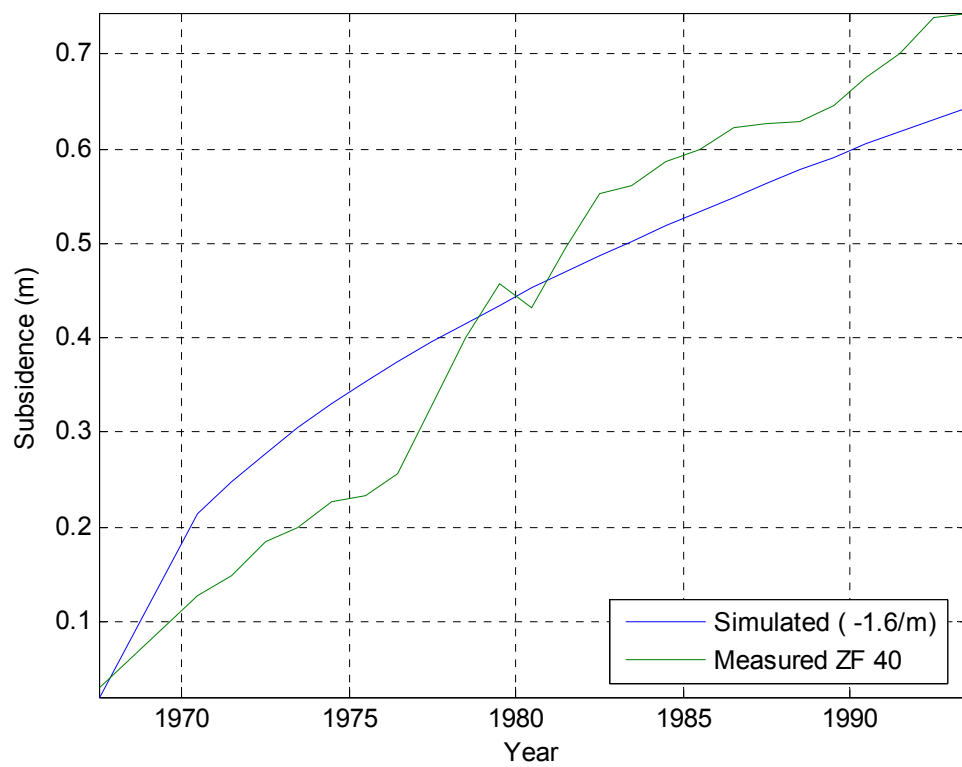
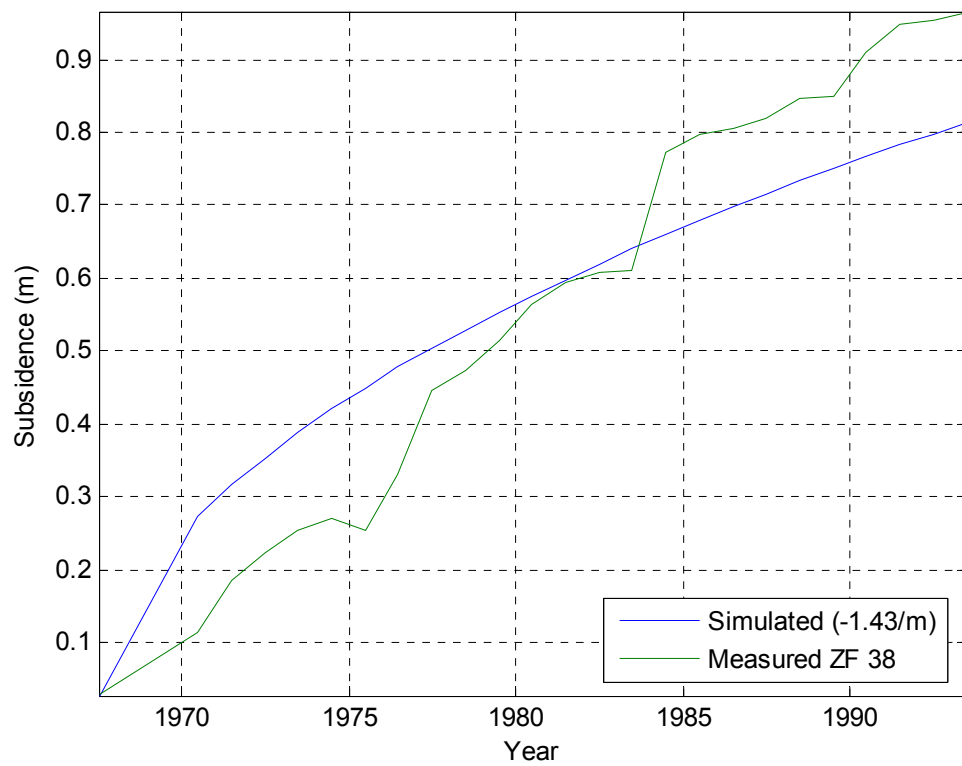


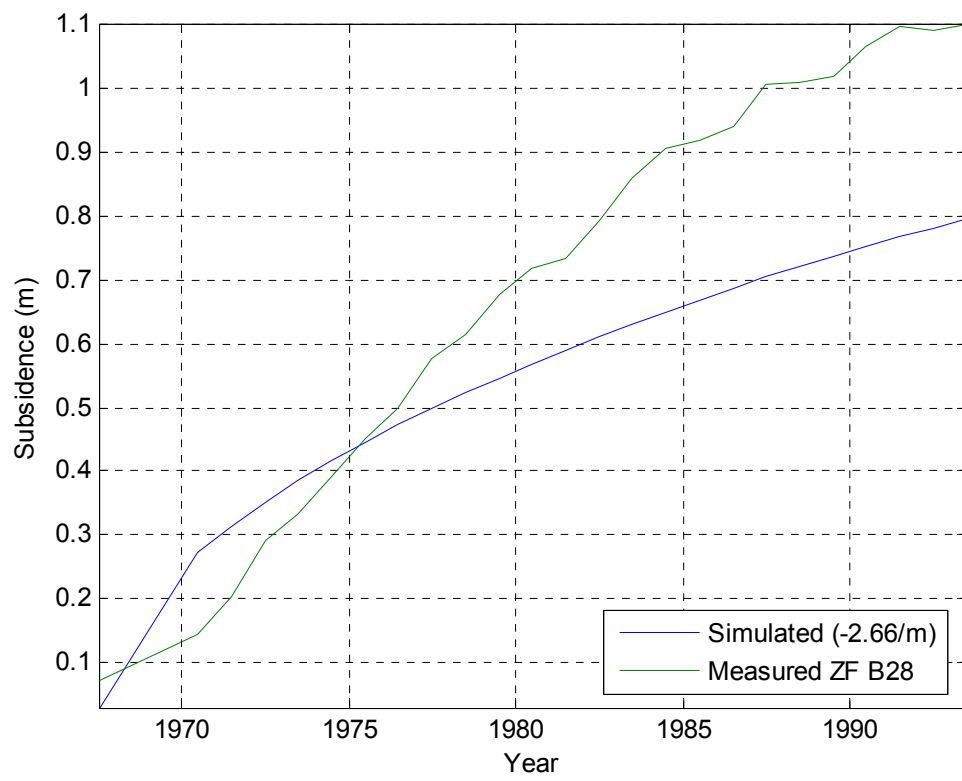








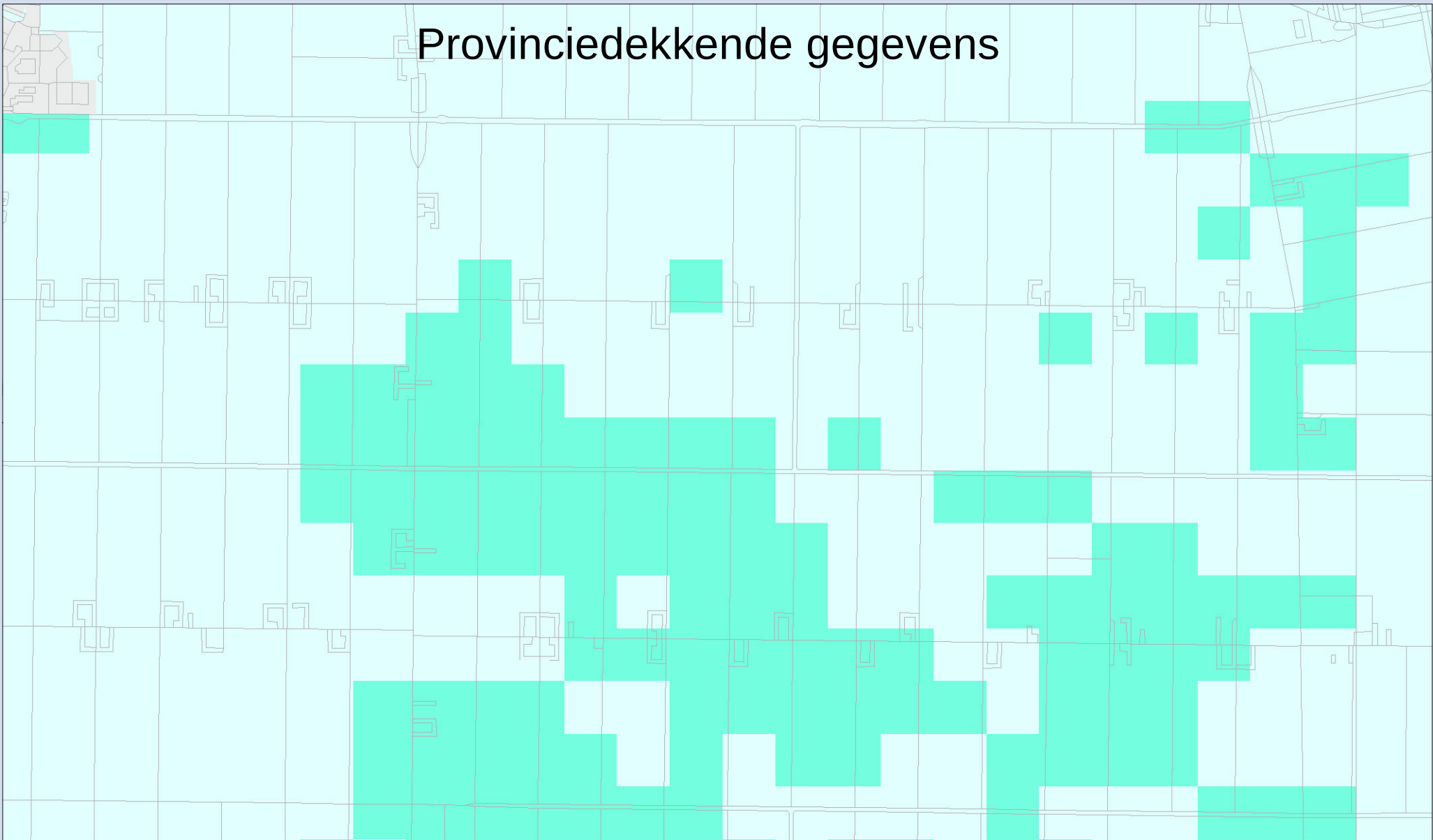




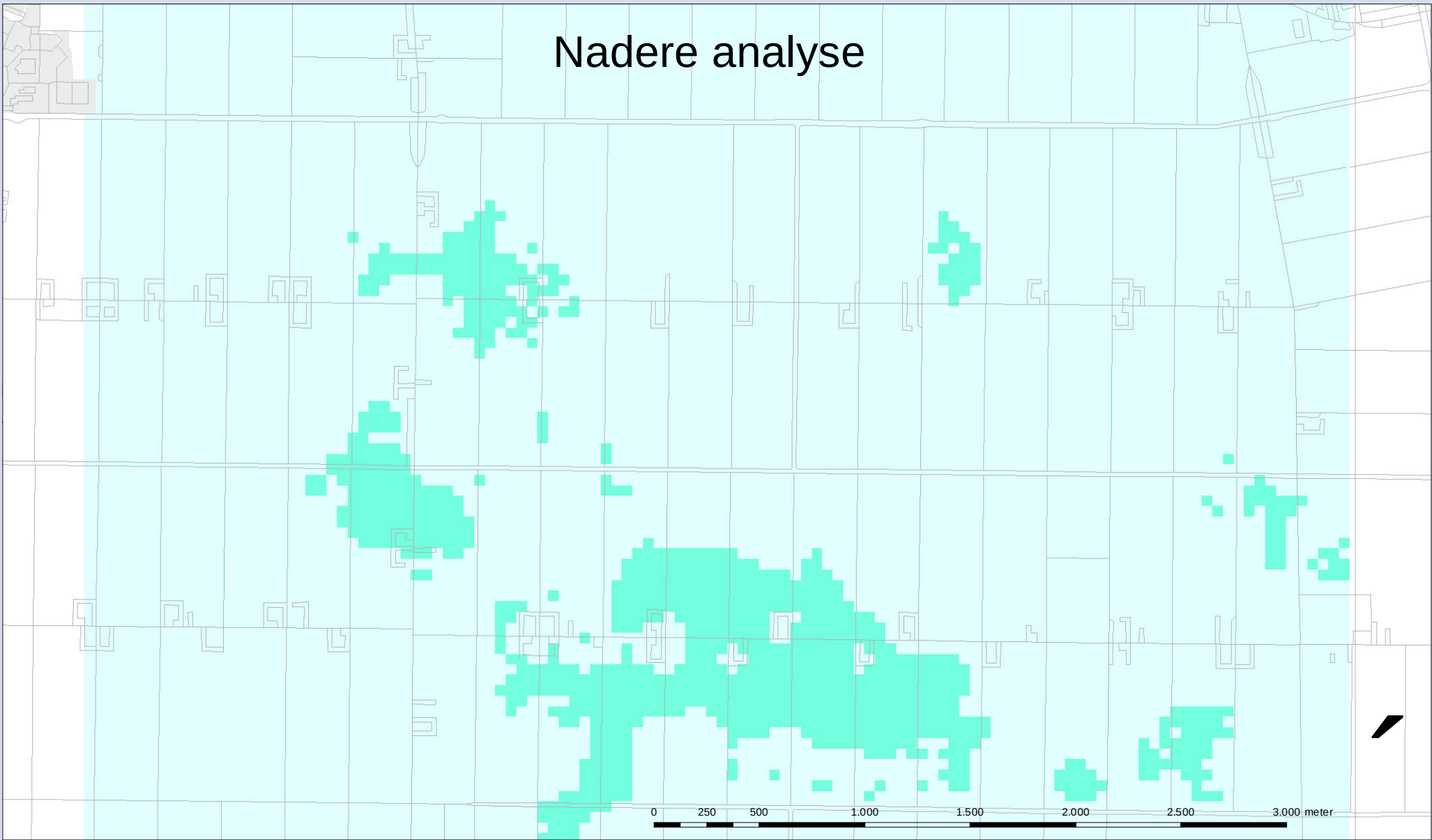
Bijlage 13

Bodemdaling detailgebieden

Provinciedekkende gegevens

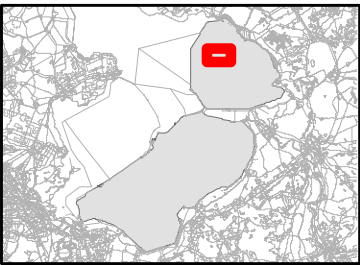


Nadere analyse



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	



Bodemdaling 2011 - 2024; Deelgebied NOP Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



Projectnummer: 304424

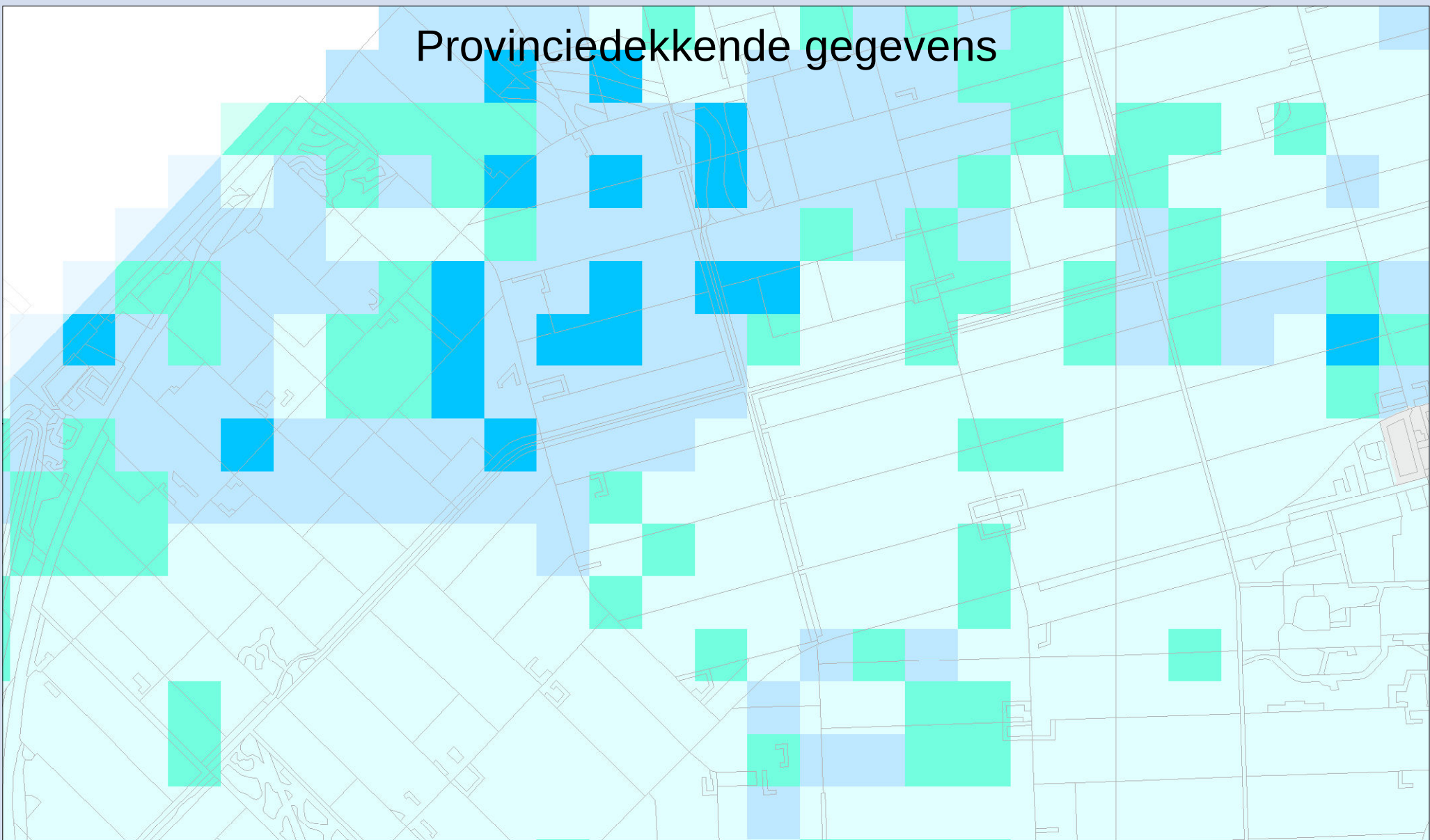


Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:25.000
Formaat: A3

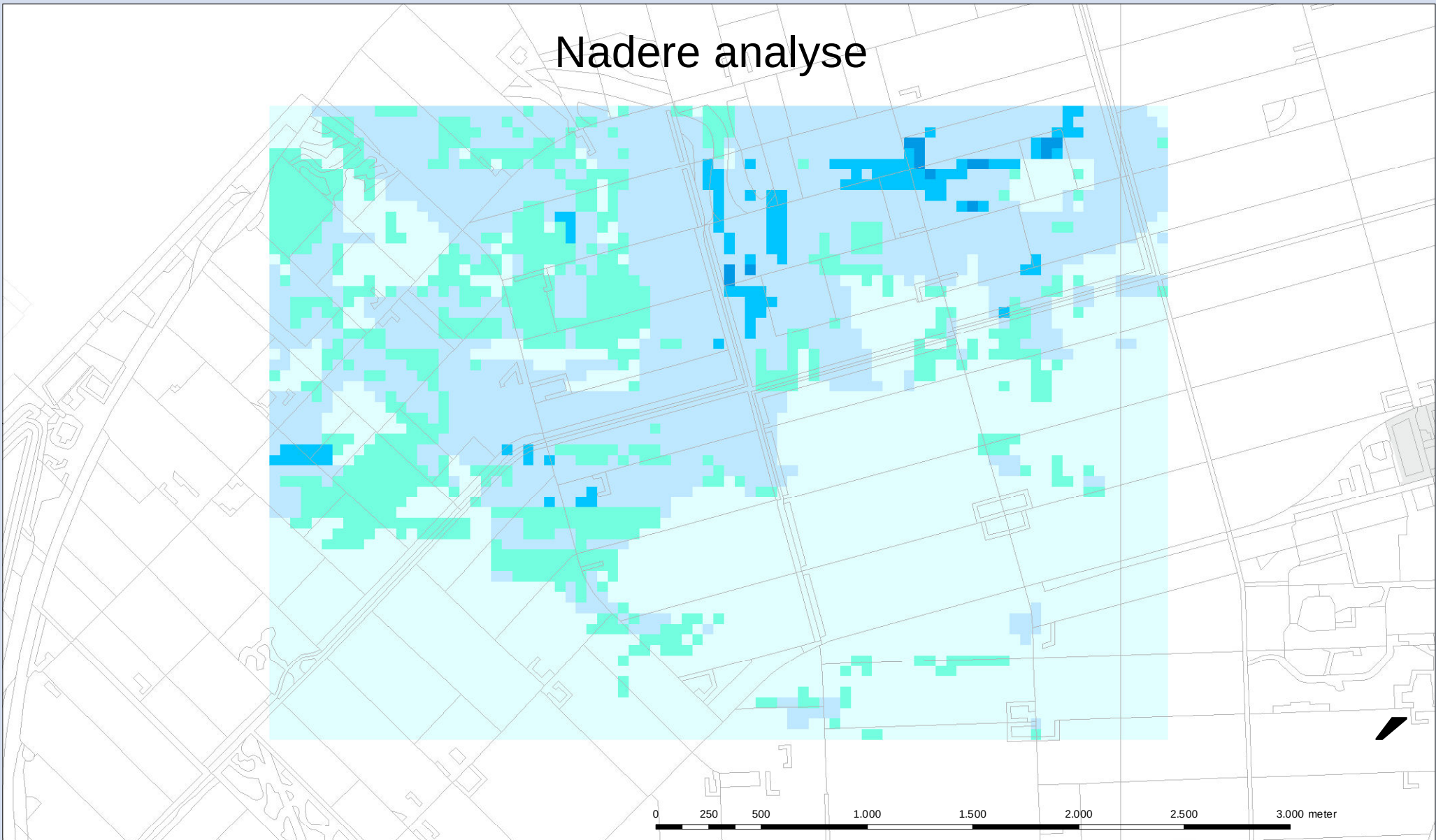


Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden

Provinciedekkende gegevens

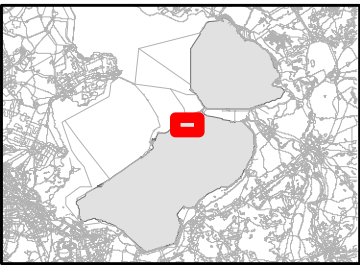


Nadere analyse



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	



Bodemdaling 2011 - 2024; Deelgebied OFL Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



Projectnummer: 304424

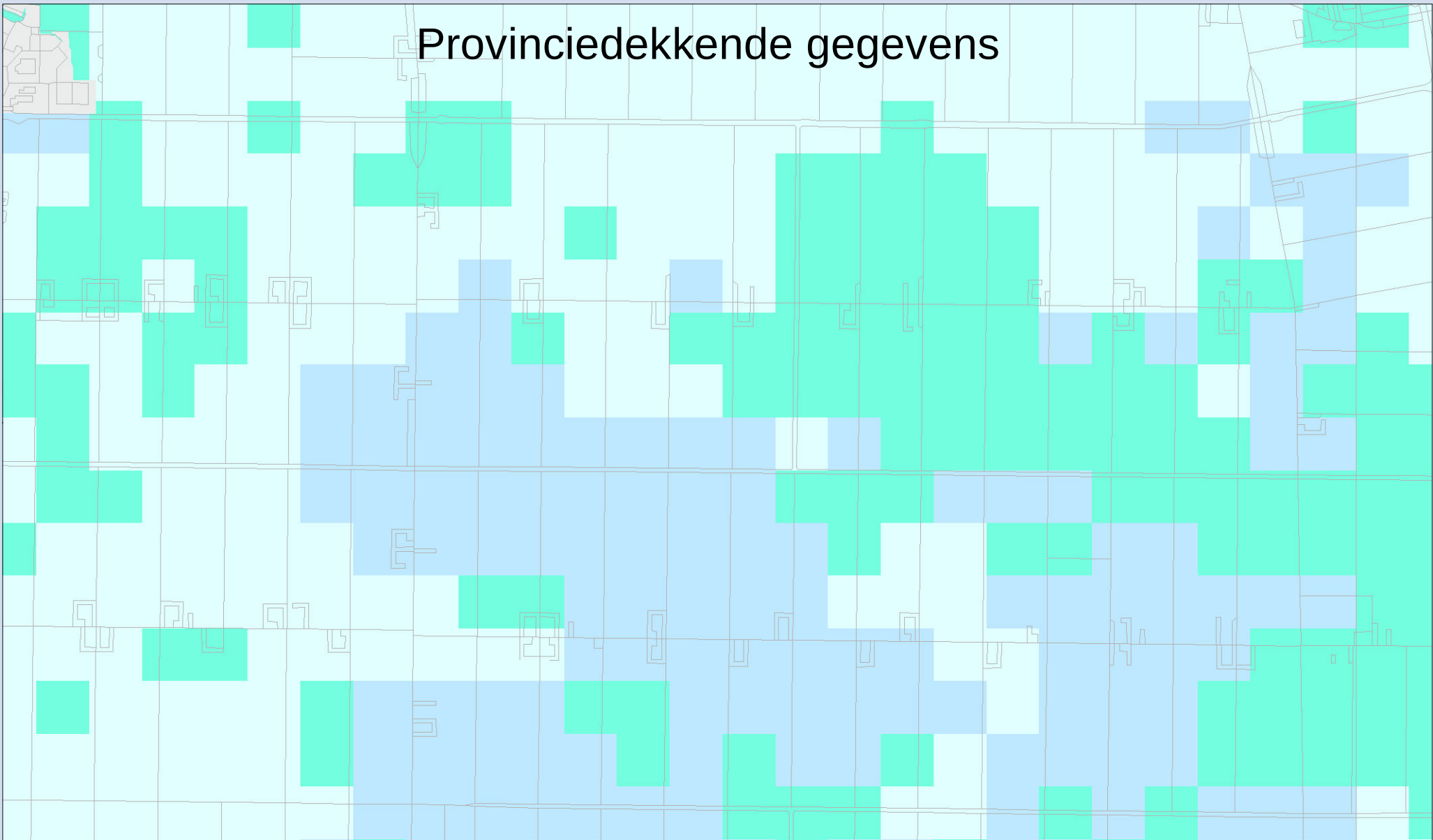


Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:25.000
Formaat: A3

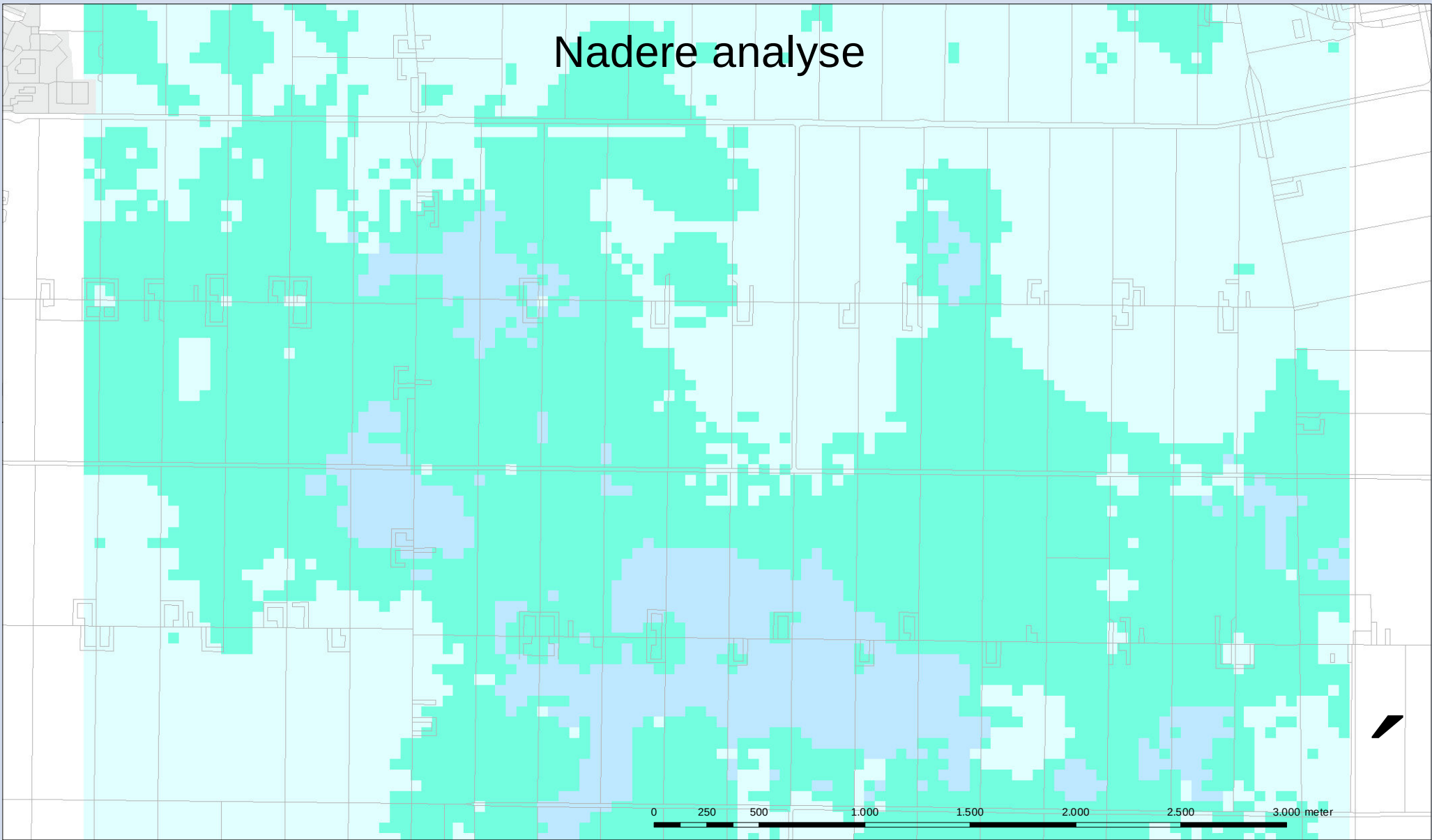


Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden

Provinciedekkende gegevens

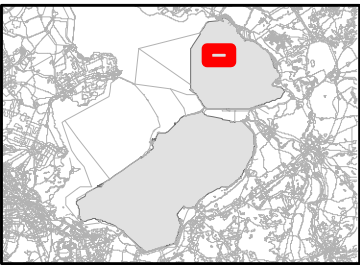


Nadere analyse



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	



Bodemdaling 2011 - 2042; Deelgebied NOP Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



Projectnummer: 304424

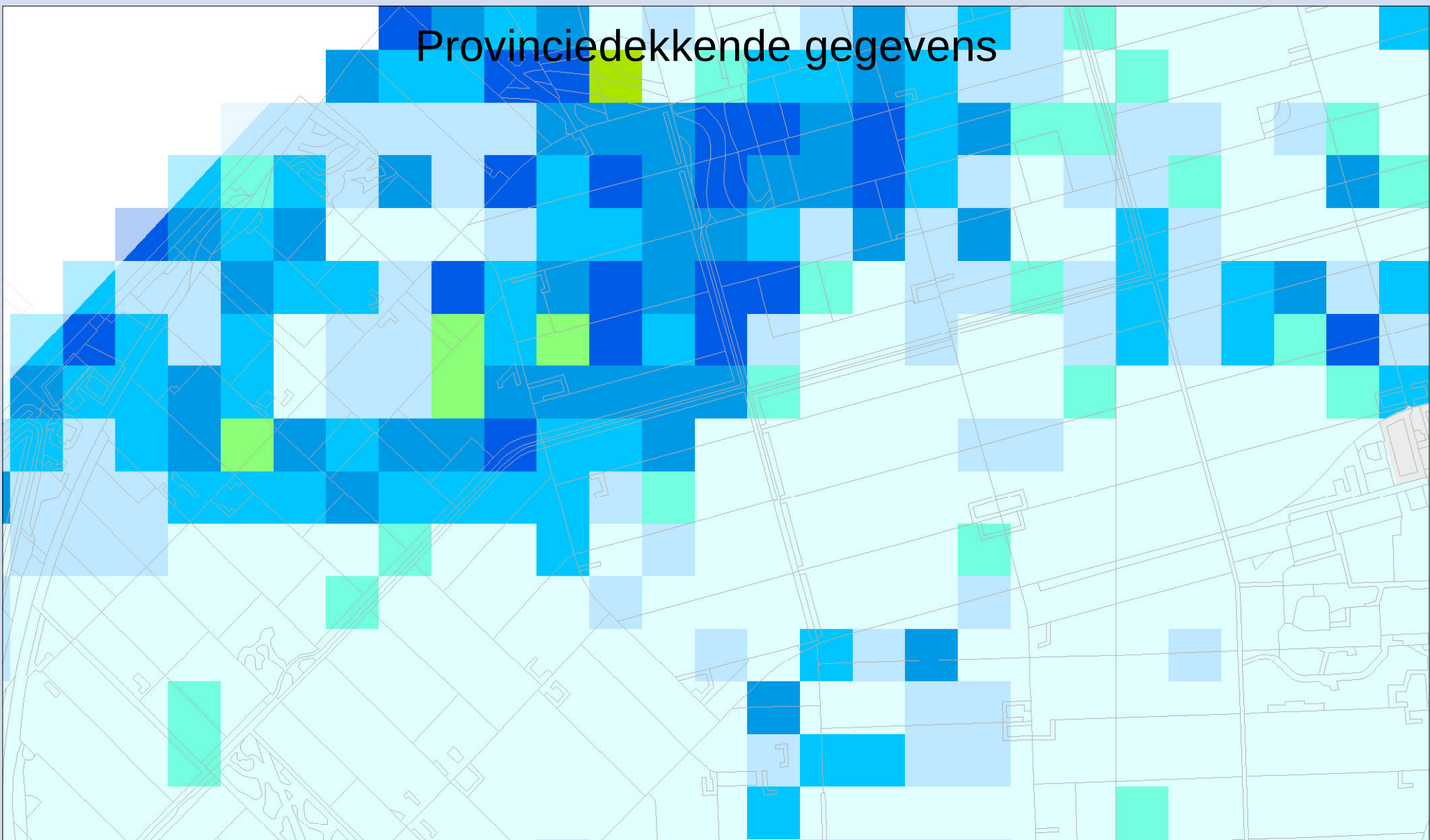


Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:25.000
Formaat: A3

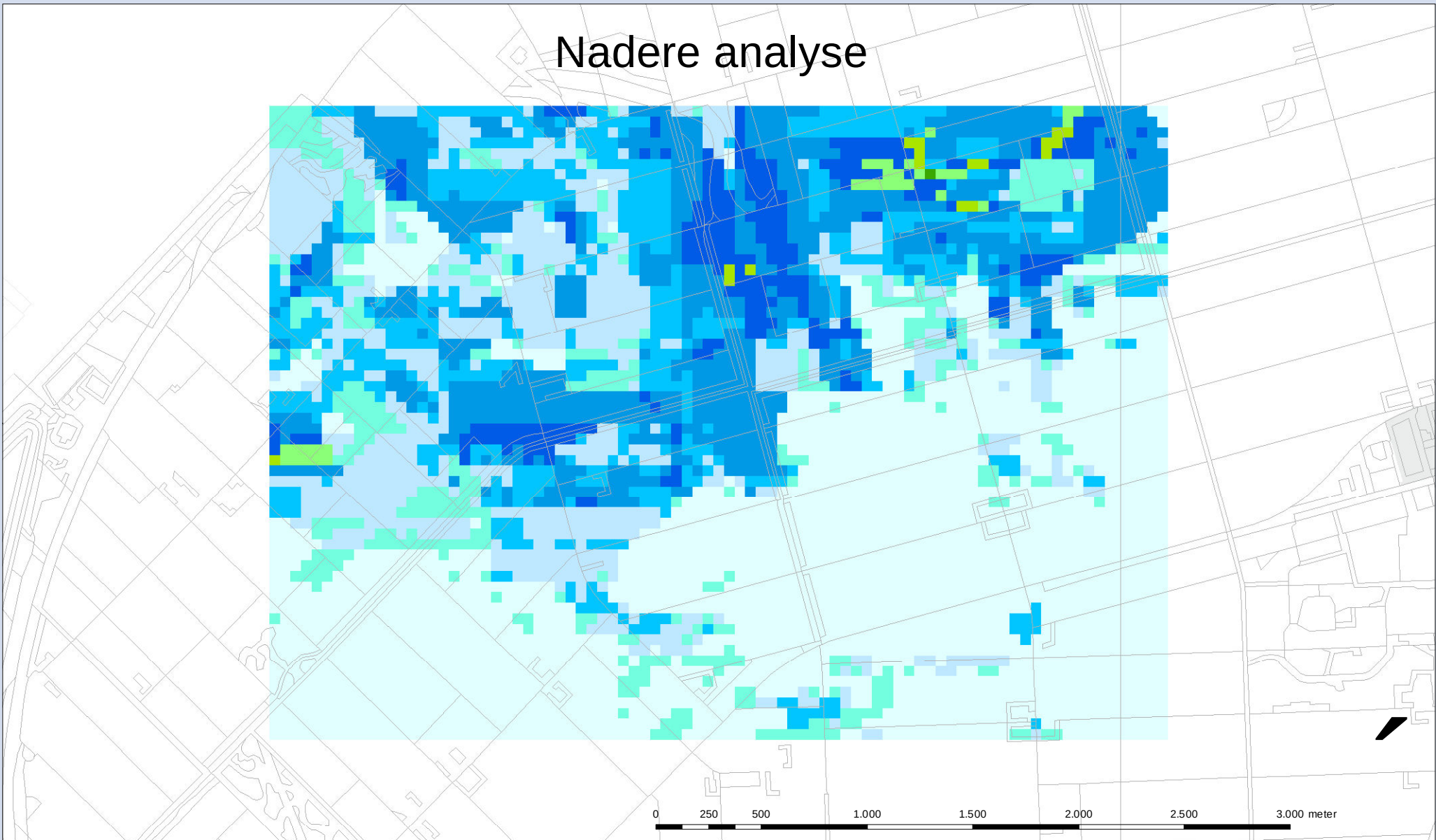


Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden

Provinciedekkende gegevens

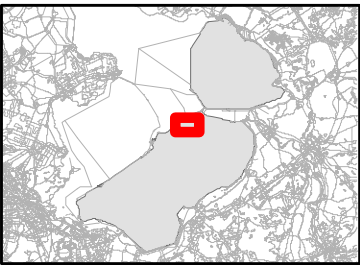


Nadere analyse



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	



Bodemdaling 2011 - 2042; Deelgebied OFL Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



Projectnummer: 304424

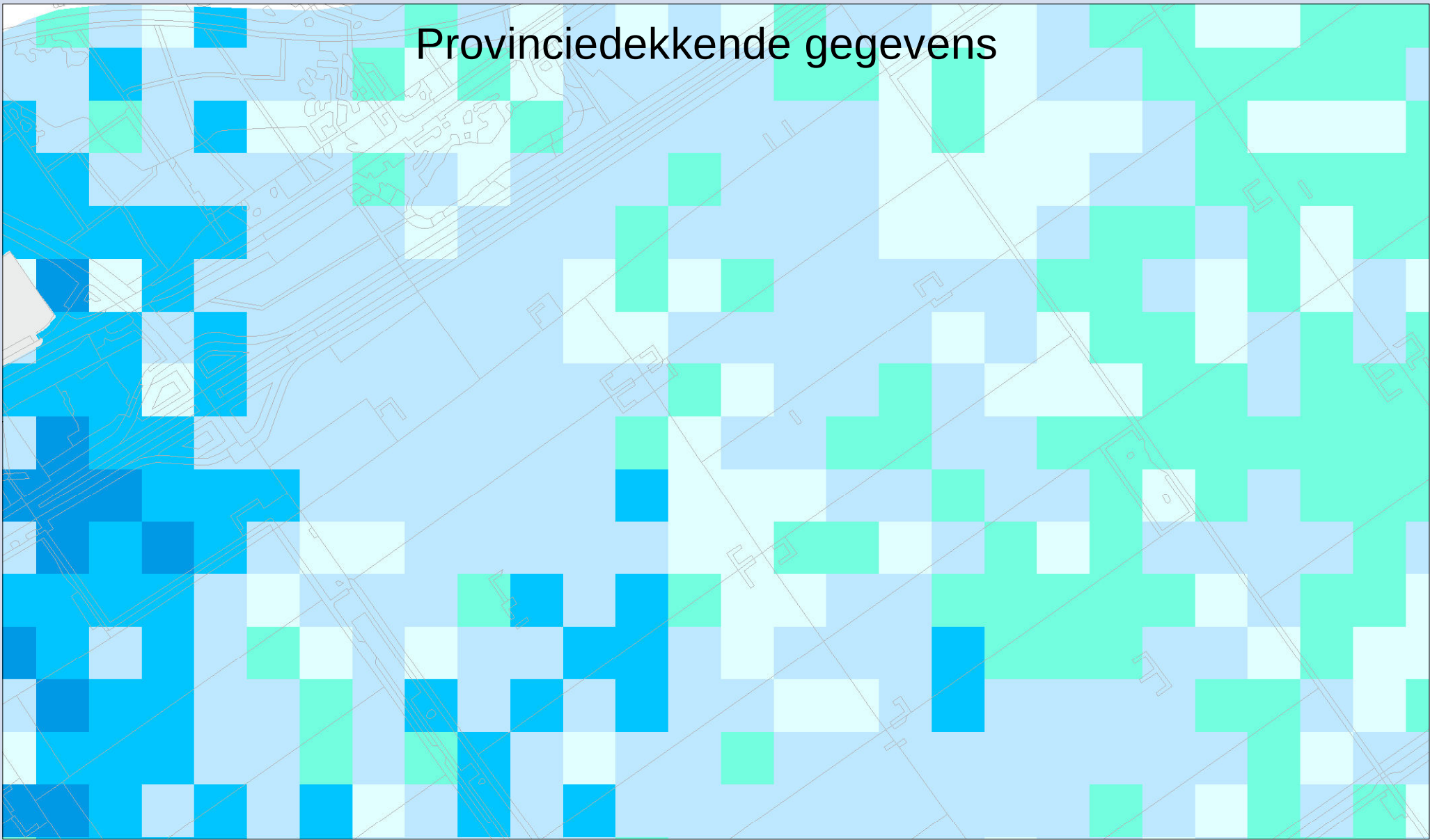


Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:25.000
Formaat: A3

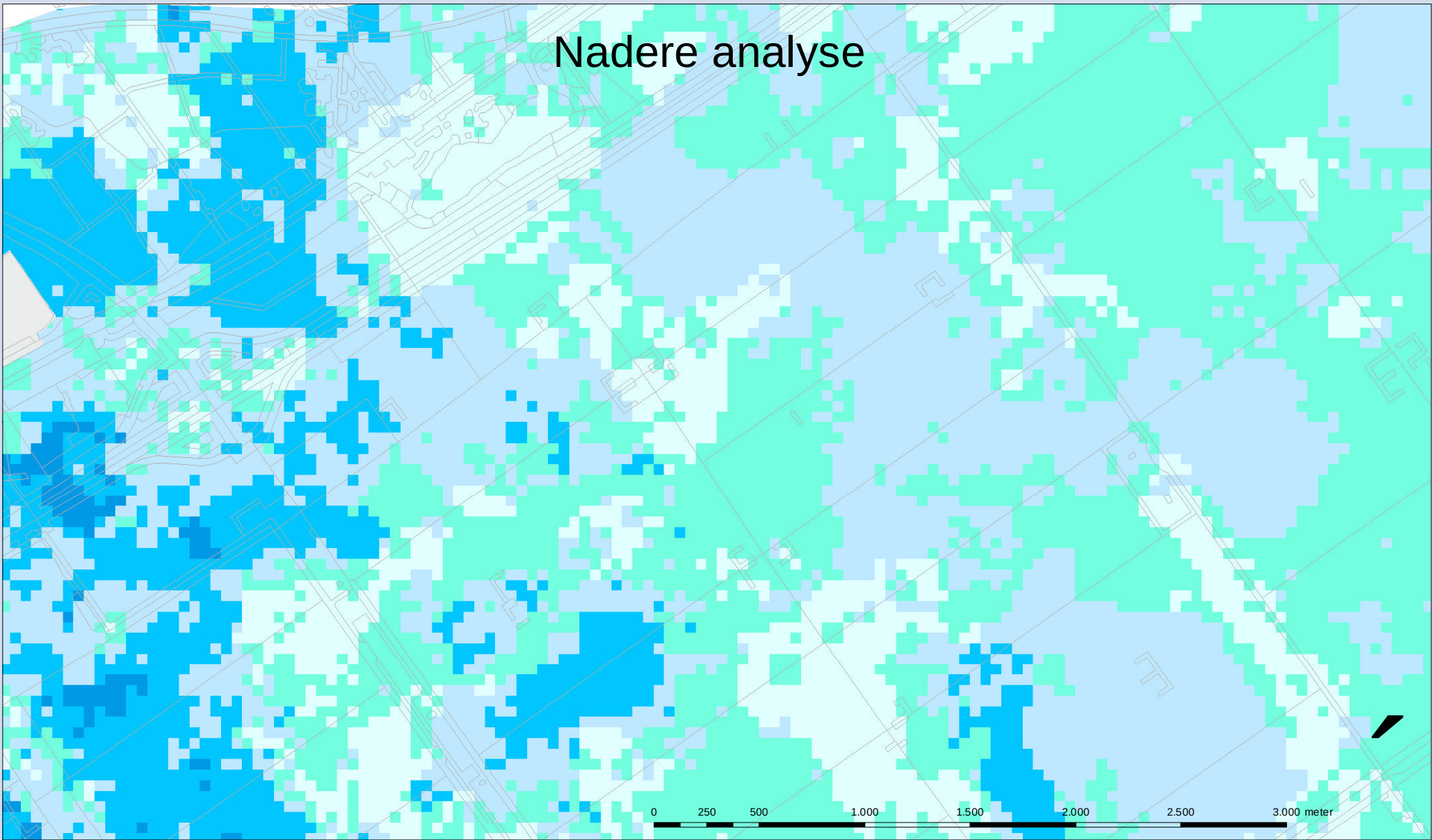


Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden

Provinciedekkende gegevens

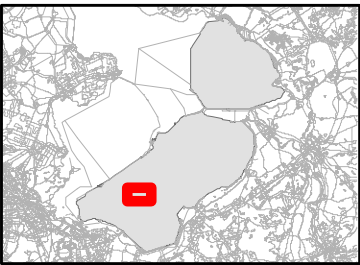


Nadere analyse



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	



Bodemdaling 2011 - 2024; Deelgebied ZFL1 Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:25.000
Formaat: A3

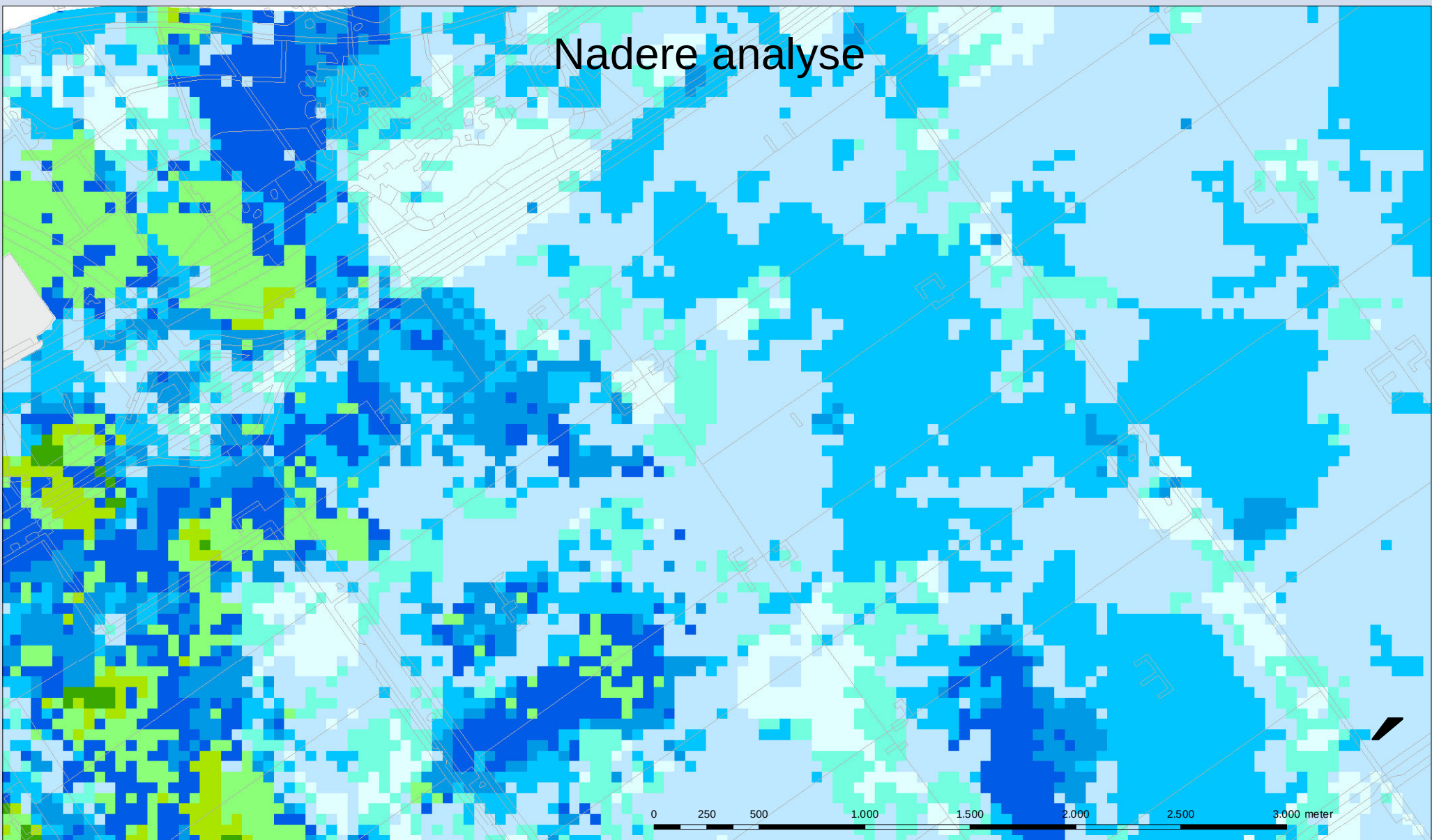


Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden

Provinciedekkende gegevens

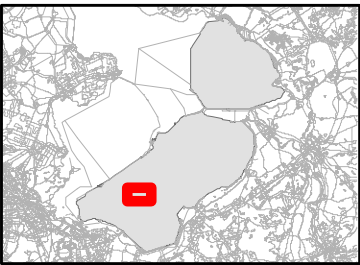


Nadere analyse



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	



Bodemdaling 2011 - 2042; Deelgebied ZFL1 Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



Projectnummer: 304424

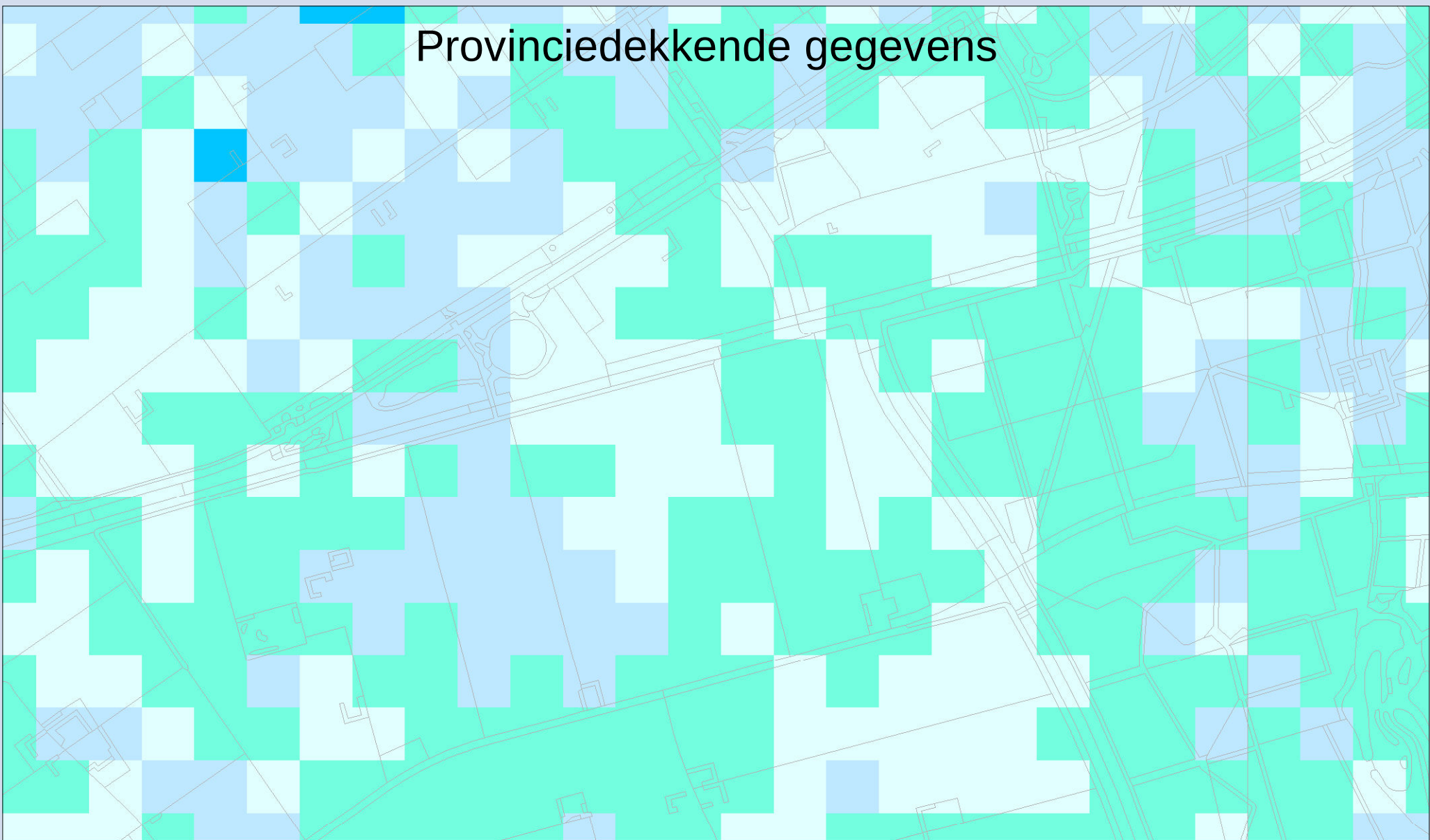


Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:25.000
Formaat: A3

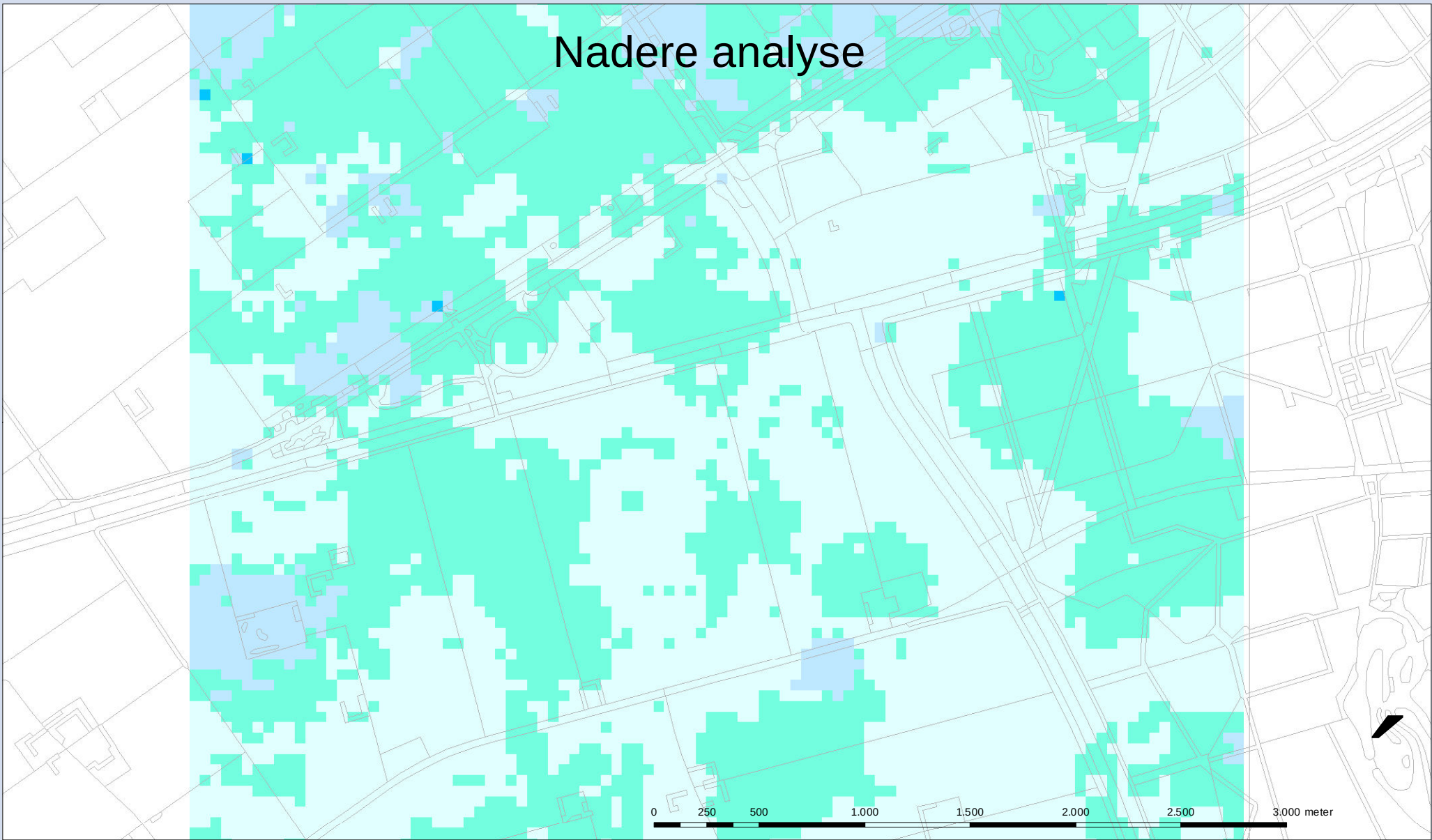


Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden

Provinciedekkende gegevens

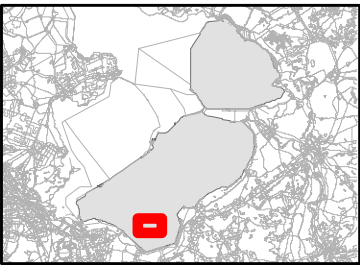


Nadere analyse



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	



Bodemdaling 2011 - 2024; Deelgebied ZFL2 Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland



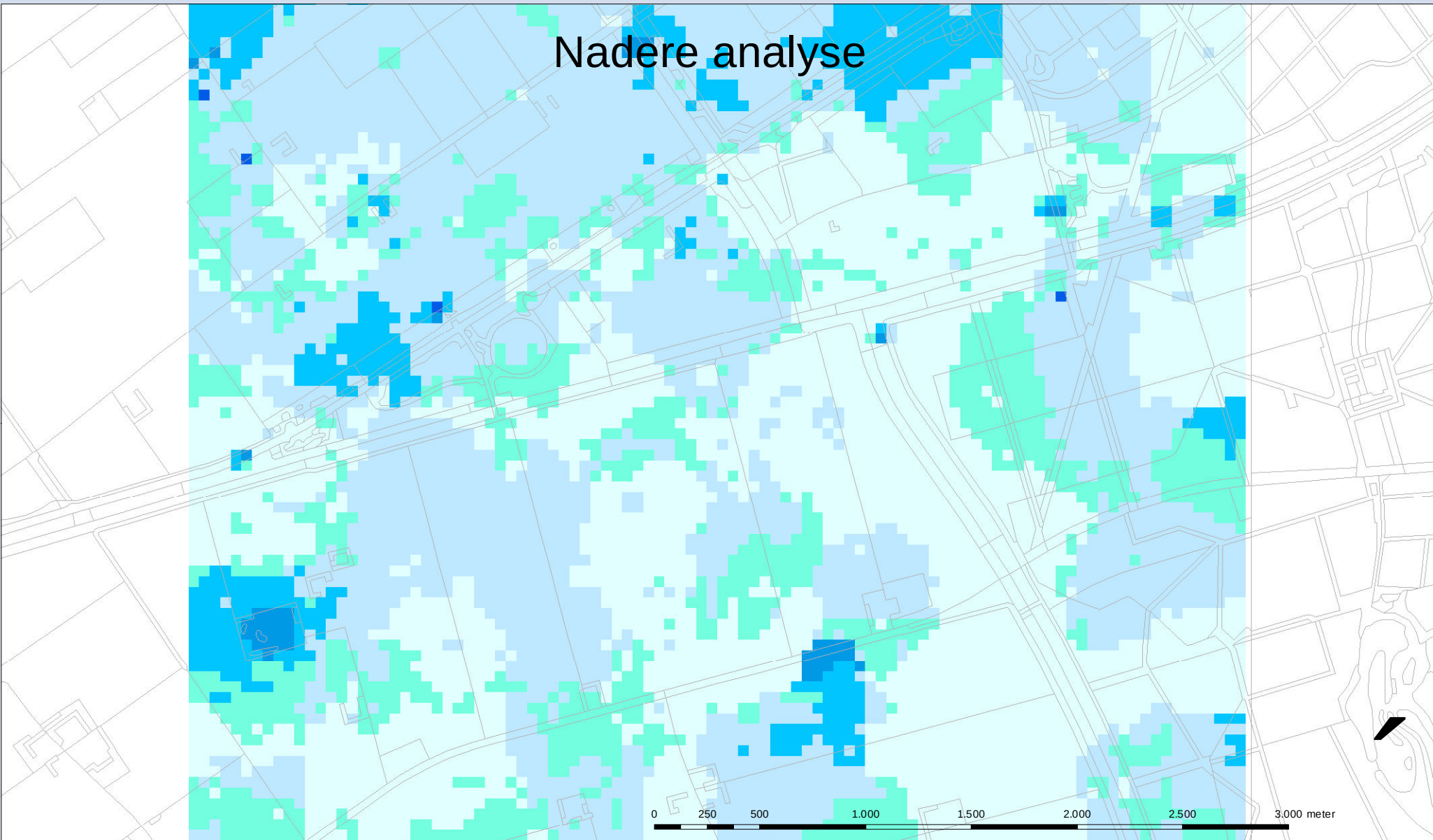
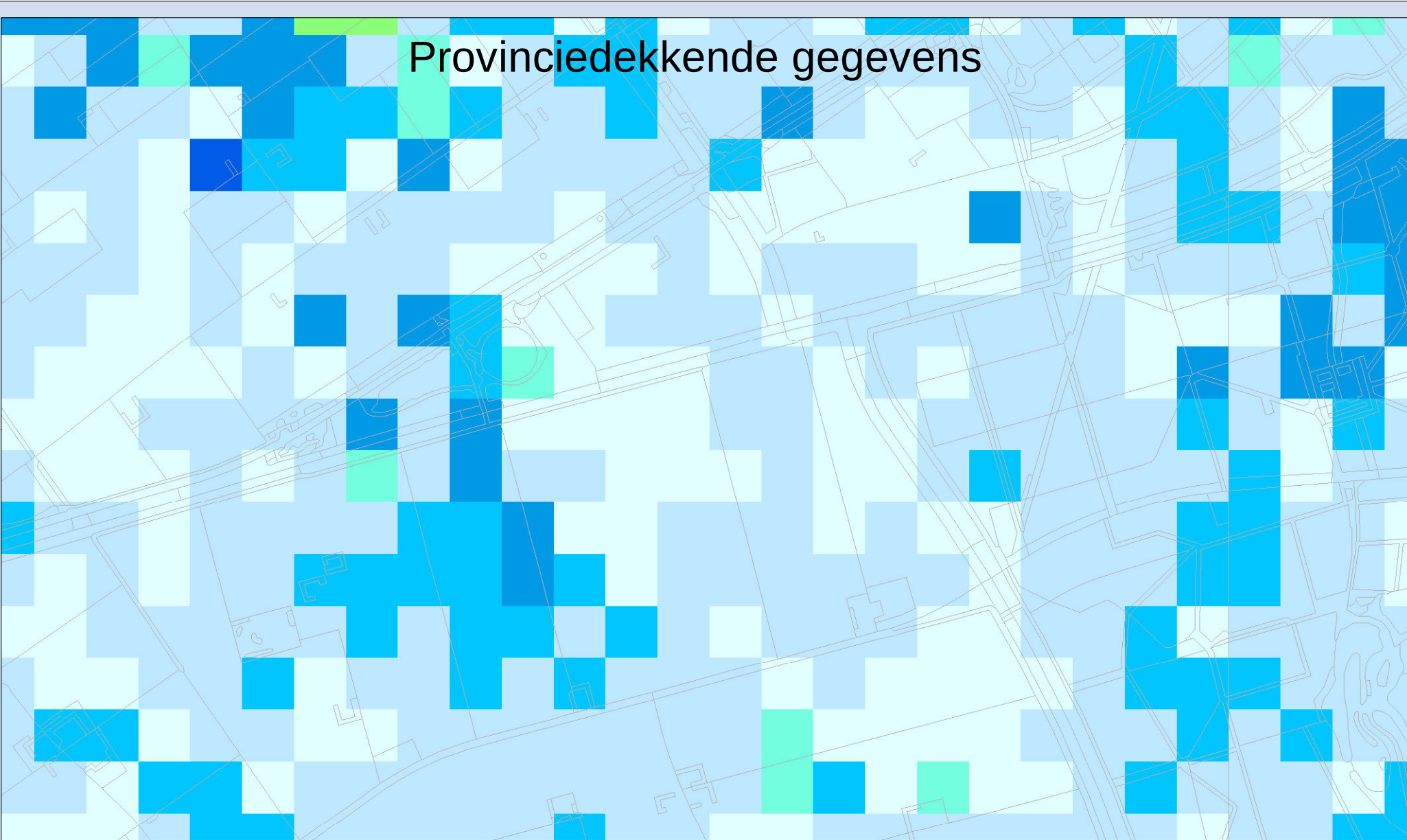
Projectnummer: 304424



Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:25.000
Formaat: A3



Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden



Legenda

Kernen	-1,00 - -0,90	-0,40 - -0,30
Bodemdaling (meter)	-0,90 - -0,80	-0,30 - -0,20
> -1,75	-0,80 - -0,70	-0,20 - -0,10
-1,75 - -1,50	-0,70 - -0,60	-0,10 - -0,05
-1,50 - -1,25	-0,60 - -0,50	-0,05 - 0
-1,25 - -1,00	-0,50 - -0,40	

Bodemdaling 2011 - 2042; Deelgebied ZFL2

Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en Waterschap Zuiderzeeland

Projectnummer: 304424

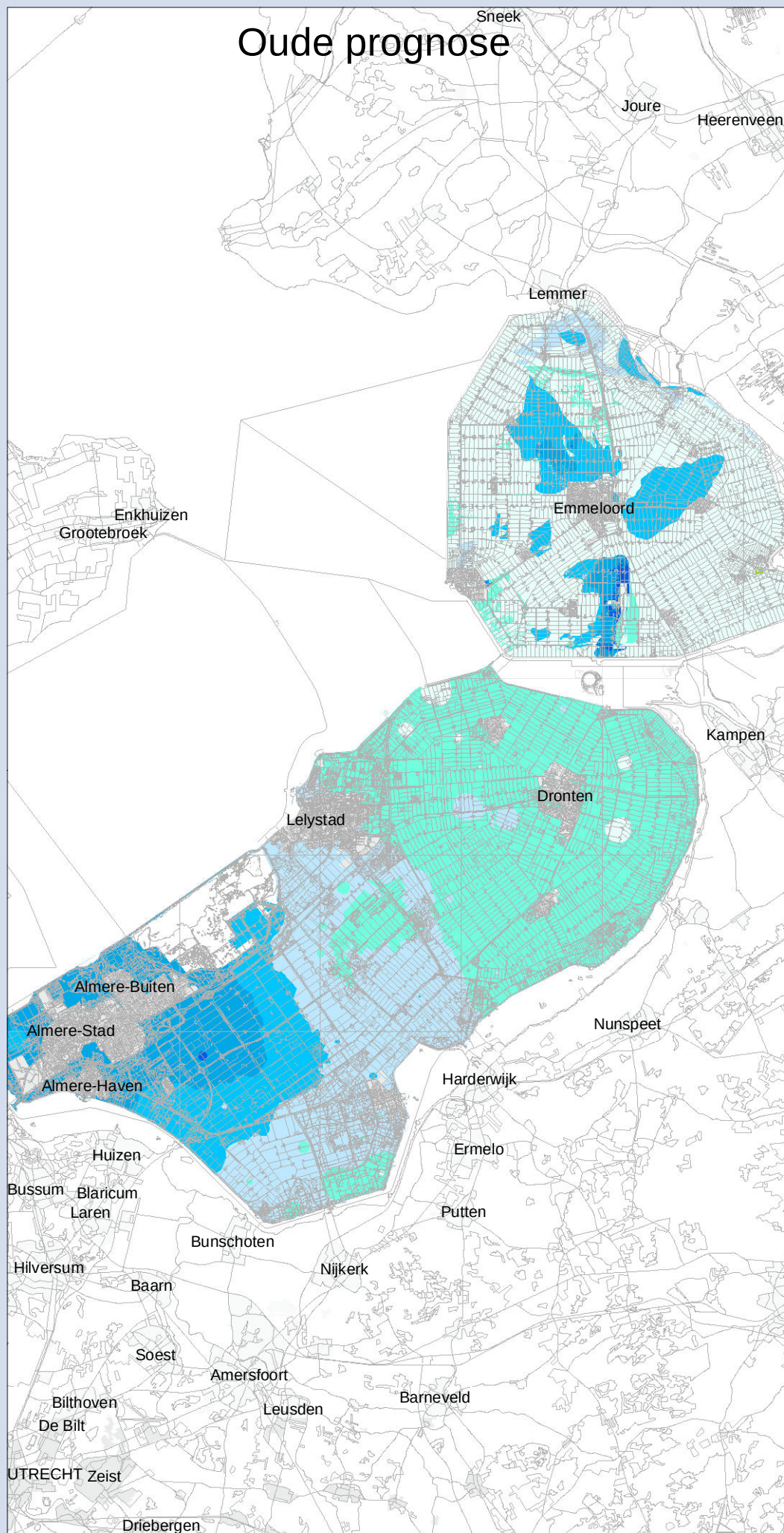
Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:25.000
Formaat: A3

Topografische ondergrond: Kadaster 2011
© Grontmij Nederland BV Alle rechten voorbehouden

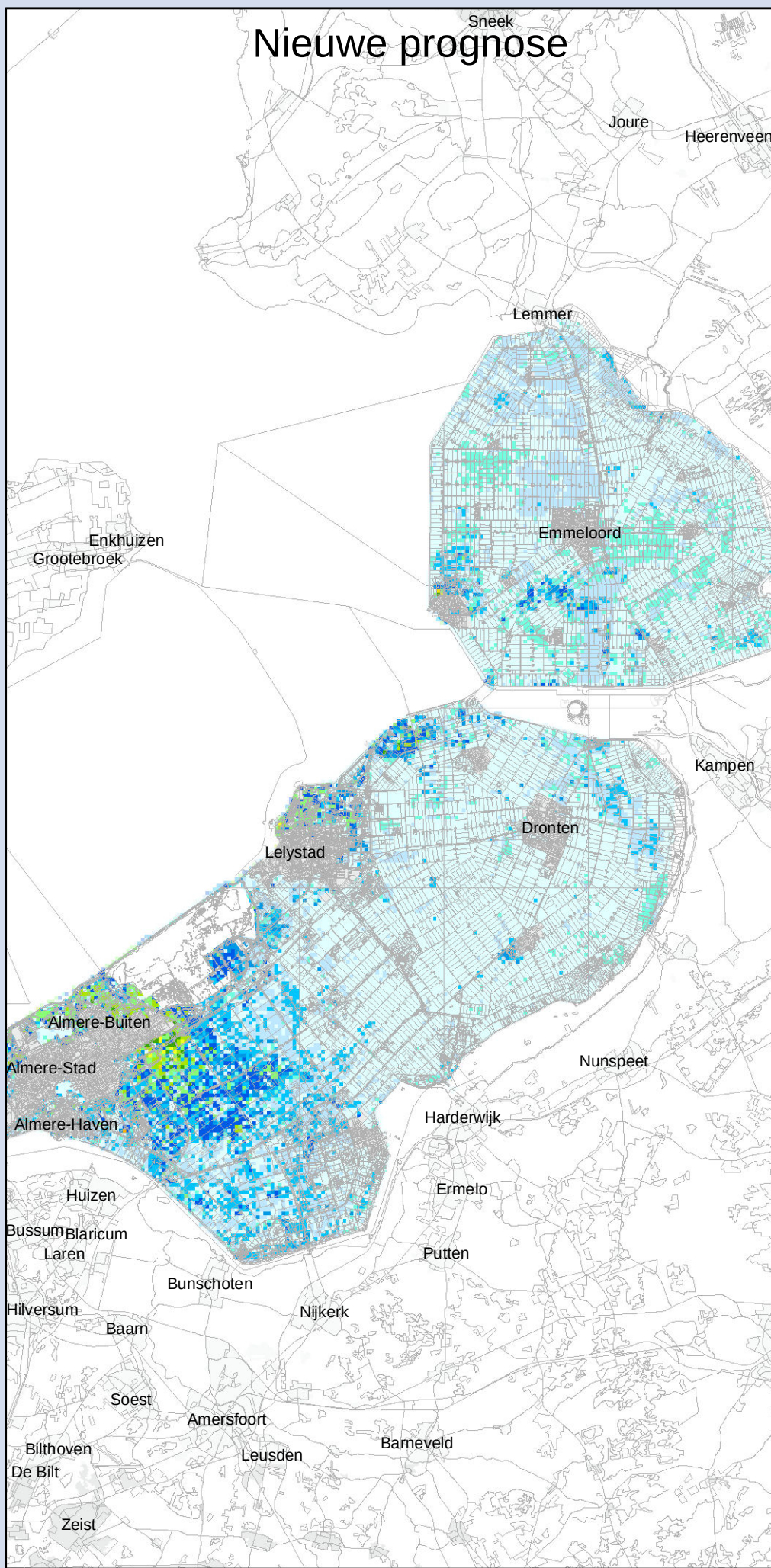
Bijlage 14

Vergelijking oude en nieuwe prognose

Oude prognose



Nieuwe prognose



Legenda

Bodemdaling (meter)

- > -1,75
- 1,75 - -1,50
- 1,50 - -1,25
- 1,25 - -1,00
- 1,00 - -0,90
- 0,90 - -0,80
- 0,80 - -0,70
- 0,70 - -0,60
- 0,60 - -0,50
- 0,50 - -0,40
- 0,40 - -0,30
- 0,30 - -0,20
- 0,20 - -0,10
- 0,10 - -0,05
- 0,05 - 0

0 2.500 5.000 10.000 15.000 20.000 25.000 30.000 meter

Bodemdaling 2050: oude/nieuwe prognose
Bodemdalingskaart Flevoland

Opdrachtgevers: Provincie Flevoland en
Waterschap Zuiderzeeland

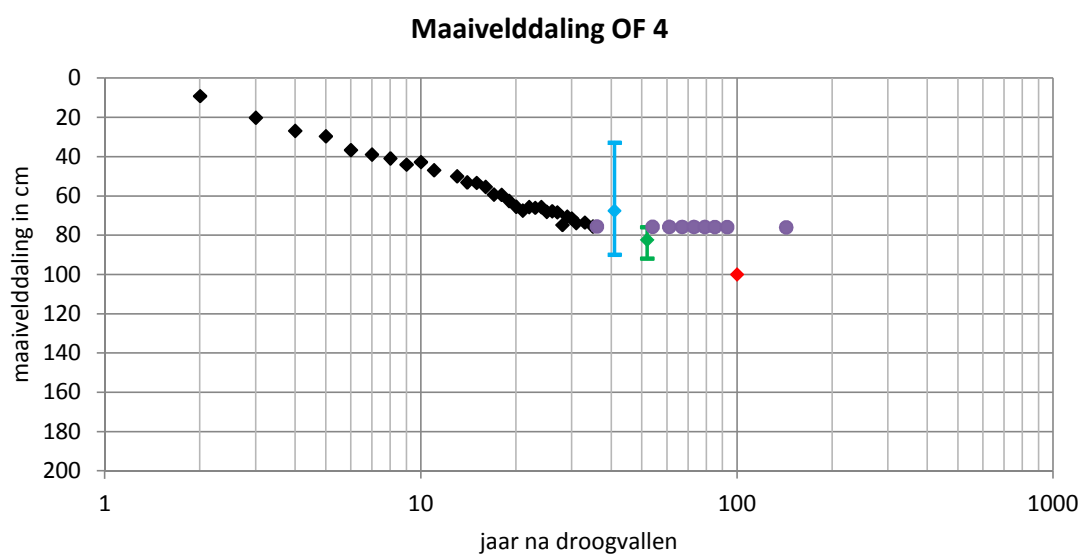
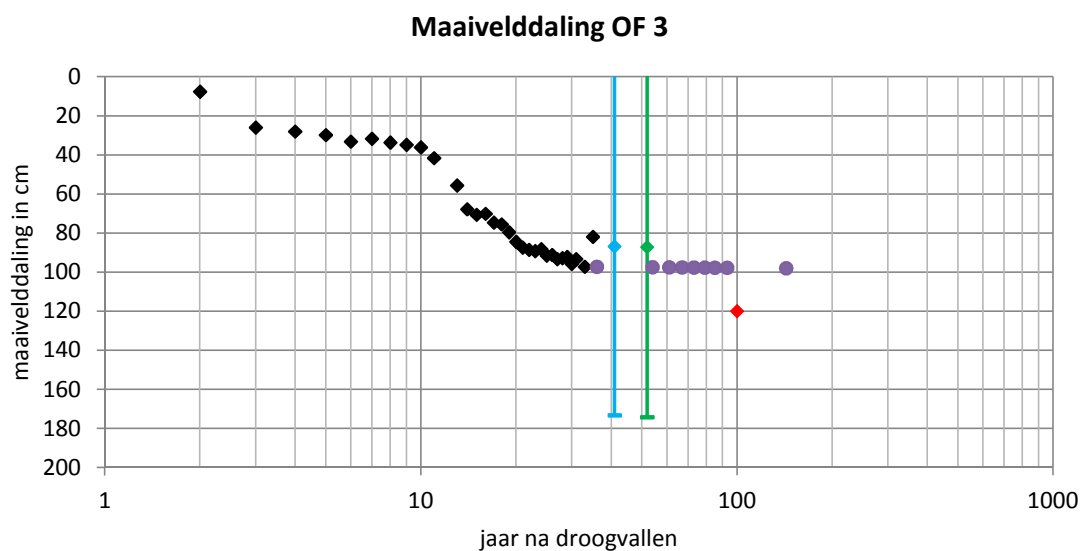
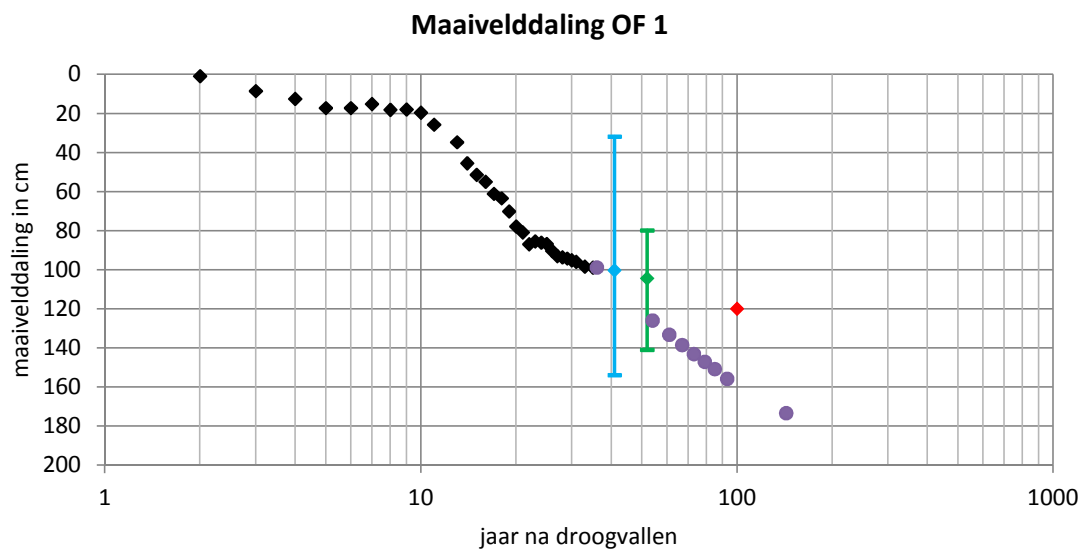
Projectnummer: 304424

Status: definitief
Datum: 21 december 2011
Schaal: 1:400.000
Formaat: A3

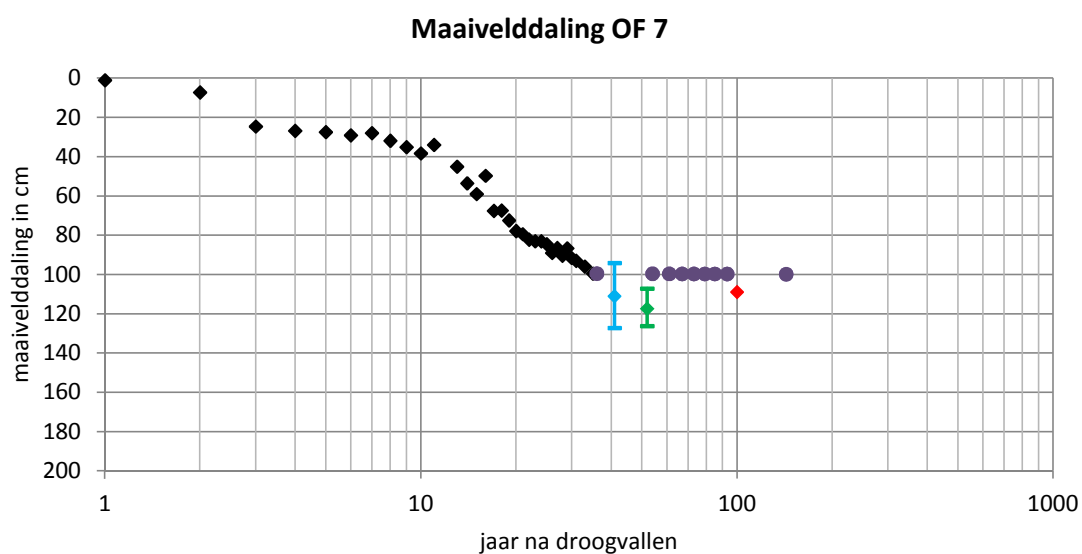
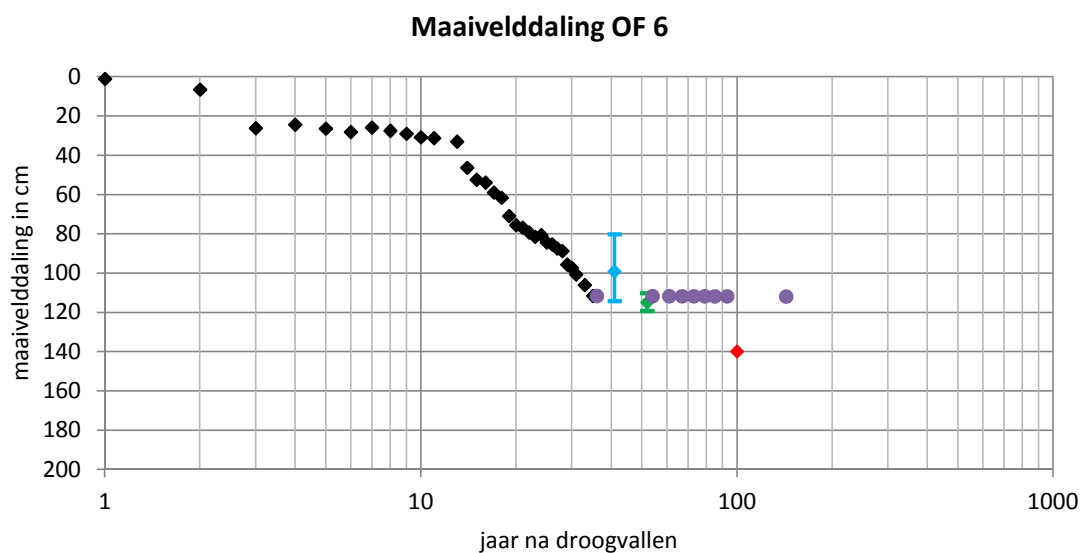
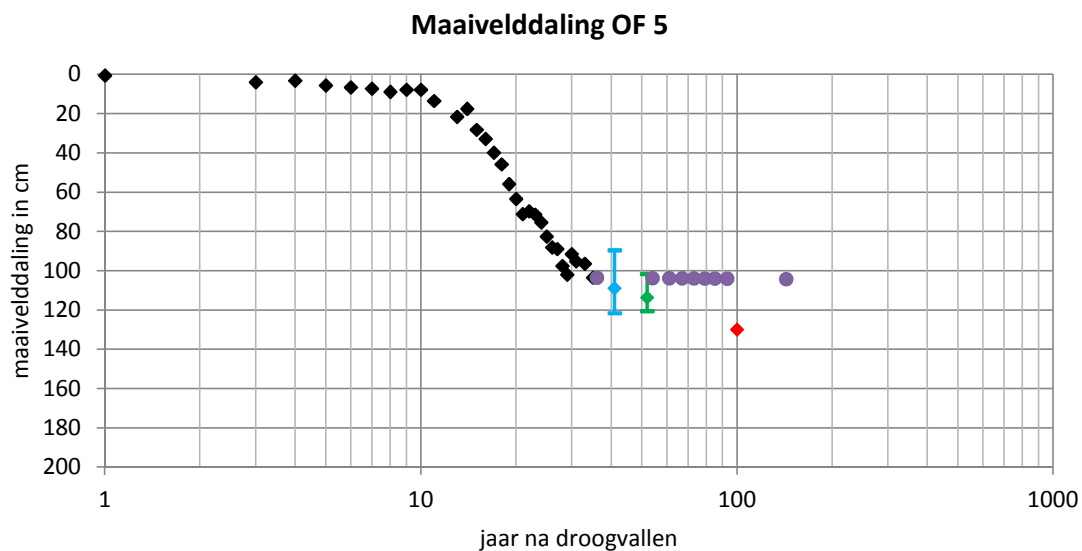


Bijlage 15

Historische maaiveldddaling rijpingsterreinen en prognose 1993 tot 2100

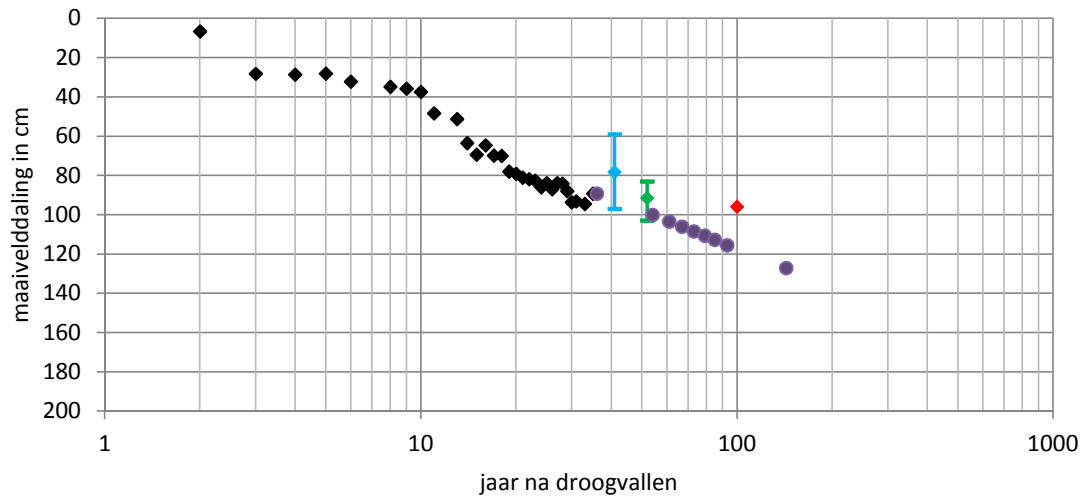


zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100

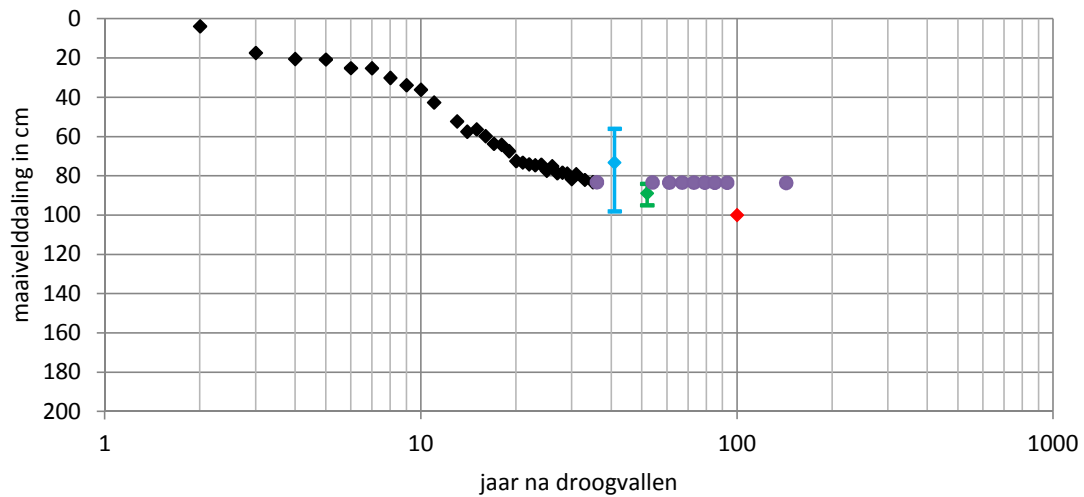


zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100

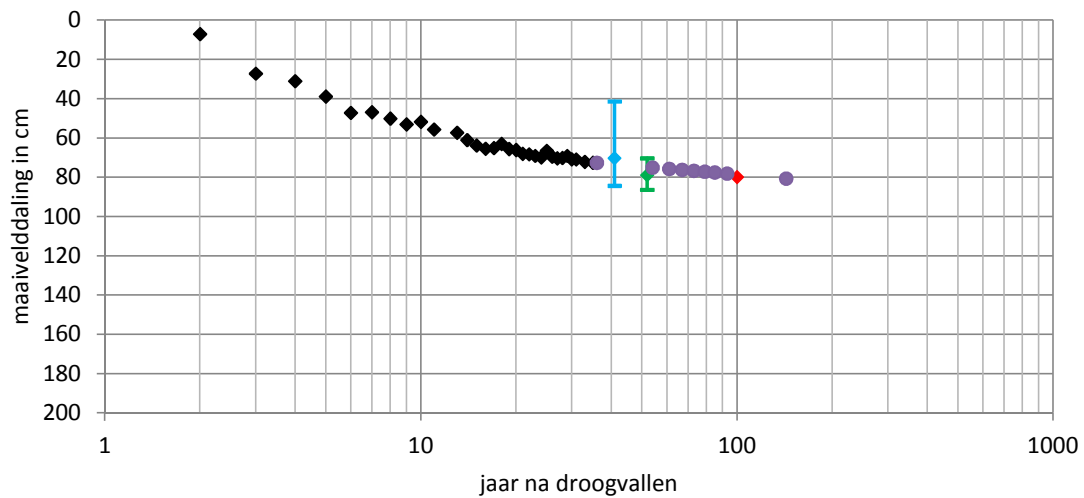
Maaiveldddaling OF 8



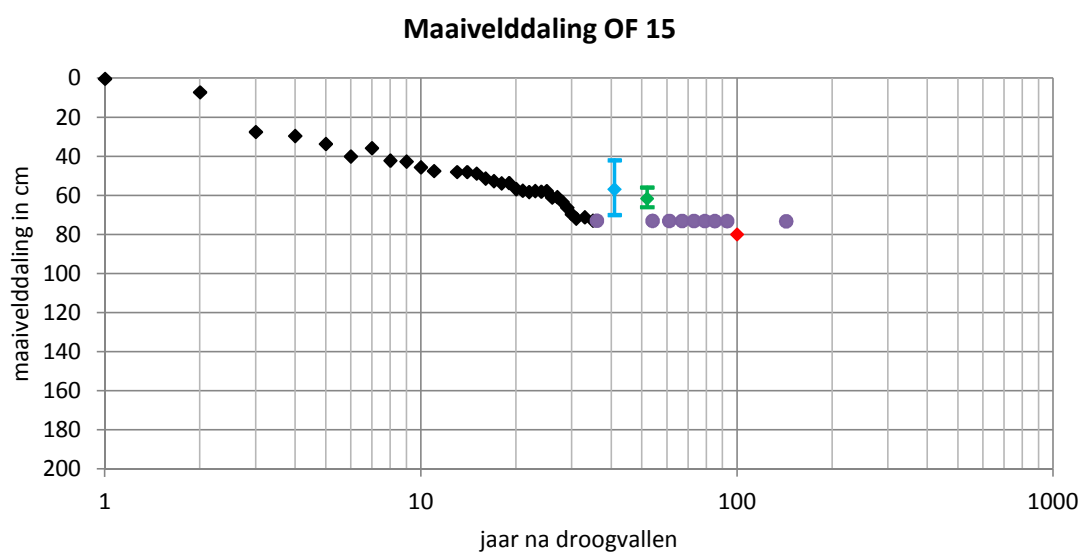
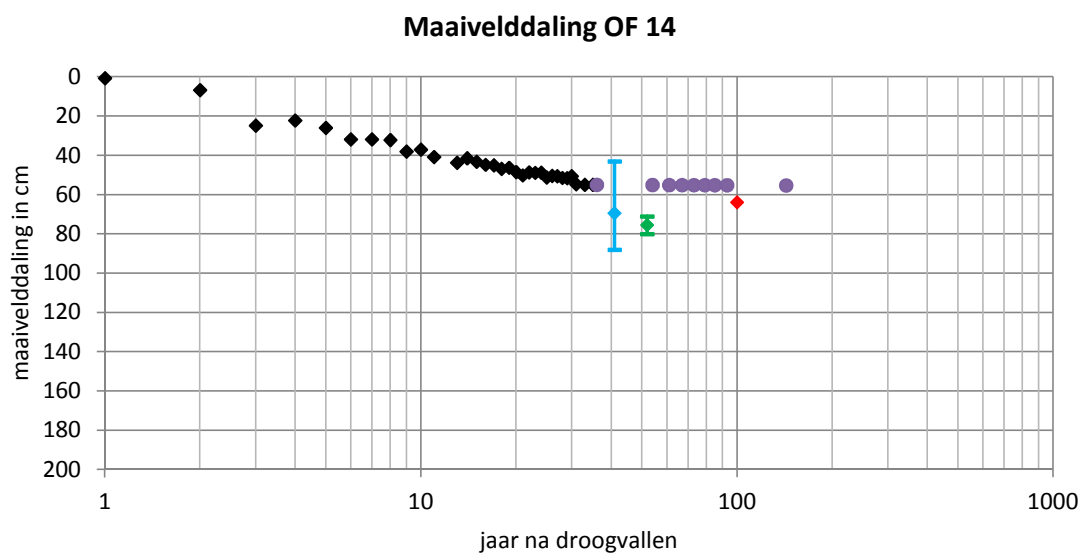
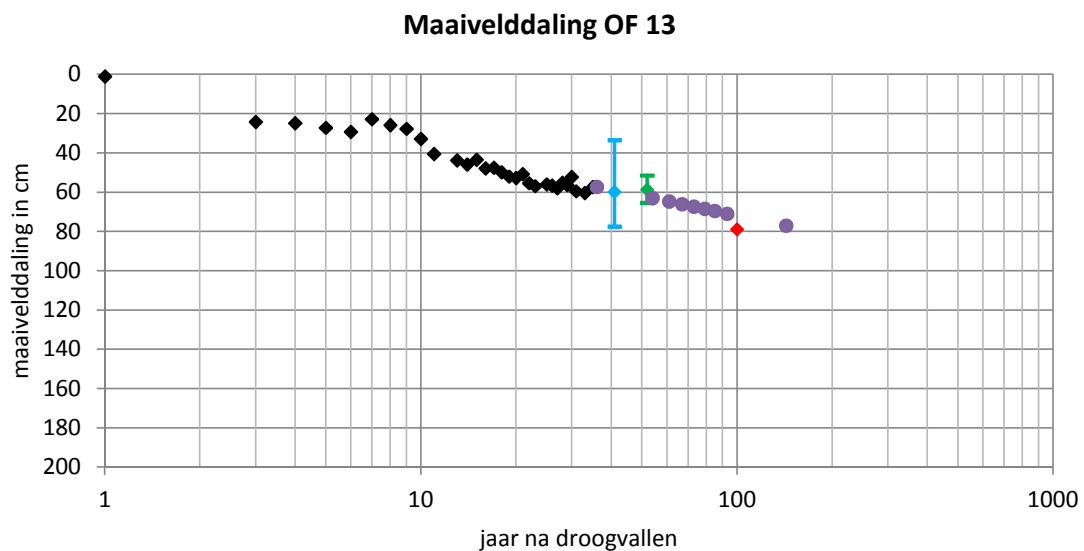
Maaiveldddaling OF 9



Maaiveldddaling OF 10



zwart historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
 blauw gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
 groen gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
 rood prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
 paars modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100



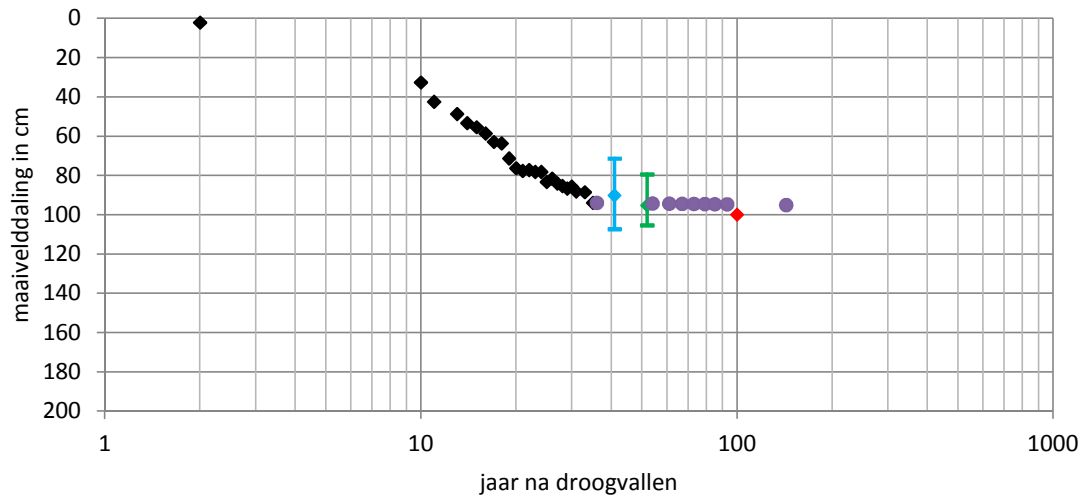
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100

maaielddaling in cm

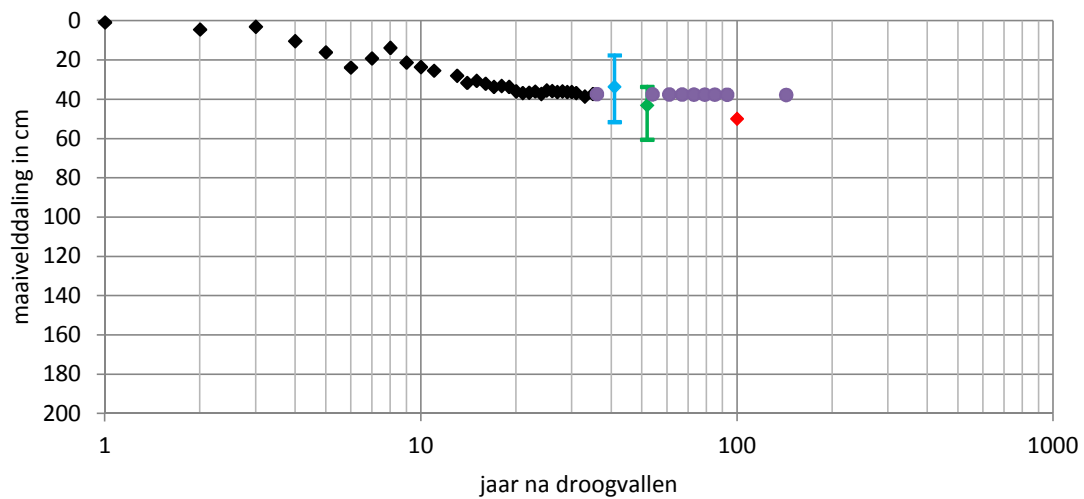
jaar na droogvallen

zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevobericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevobericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100

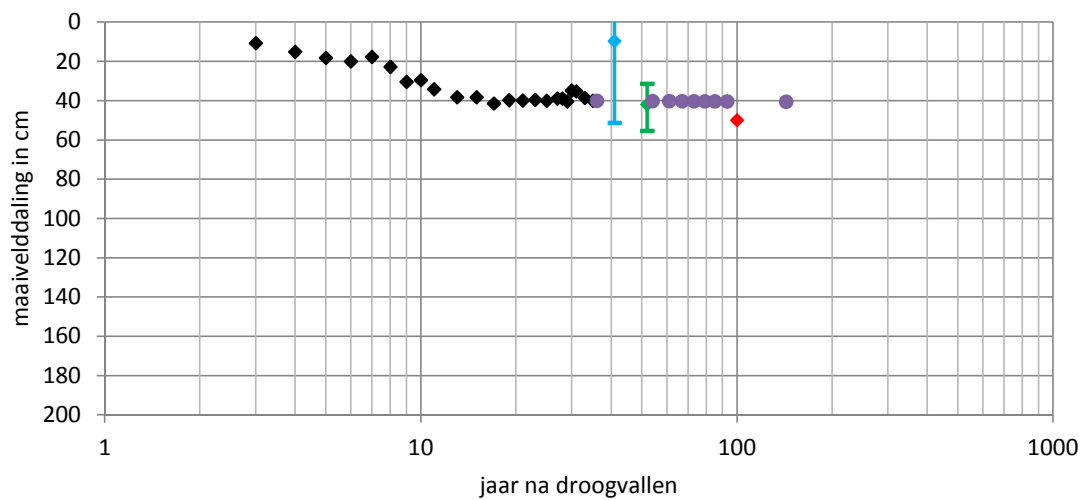
Maaiveldddaling OF 19



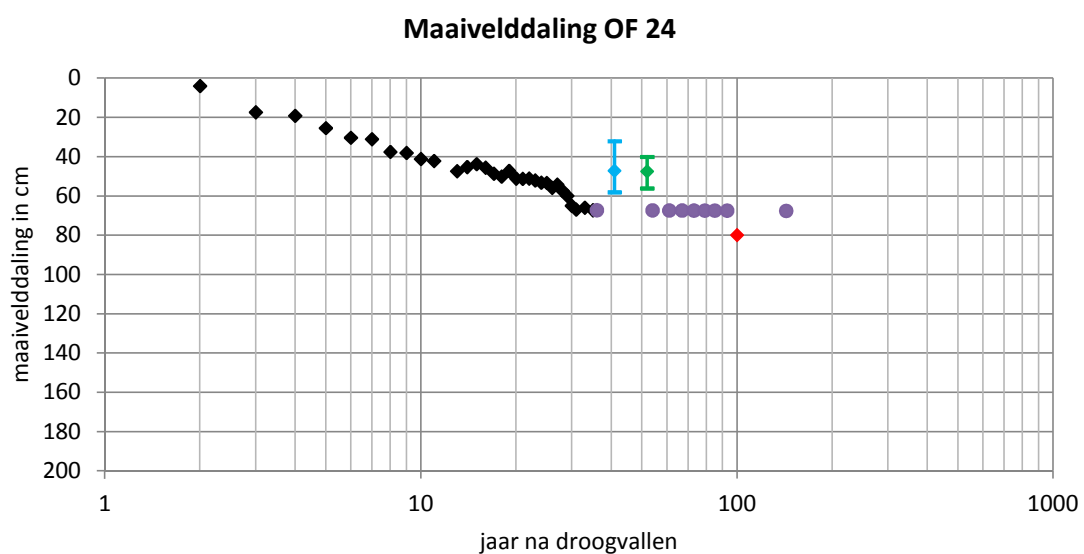
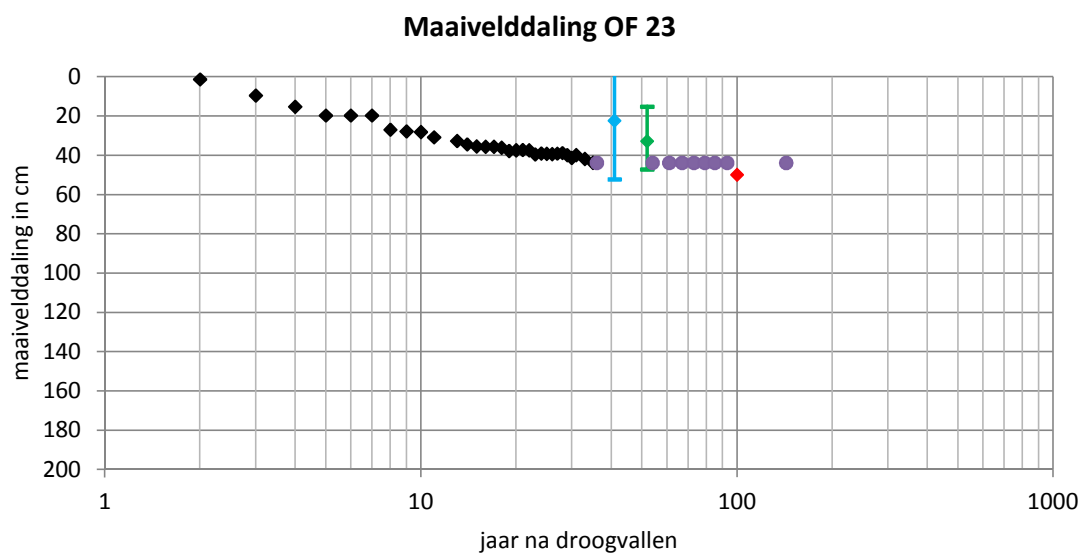
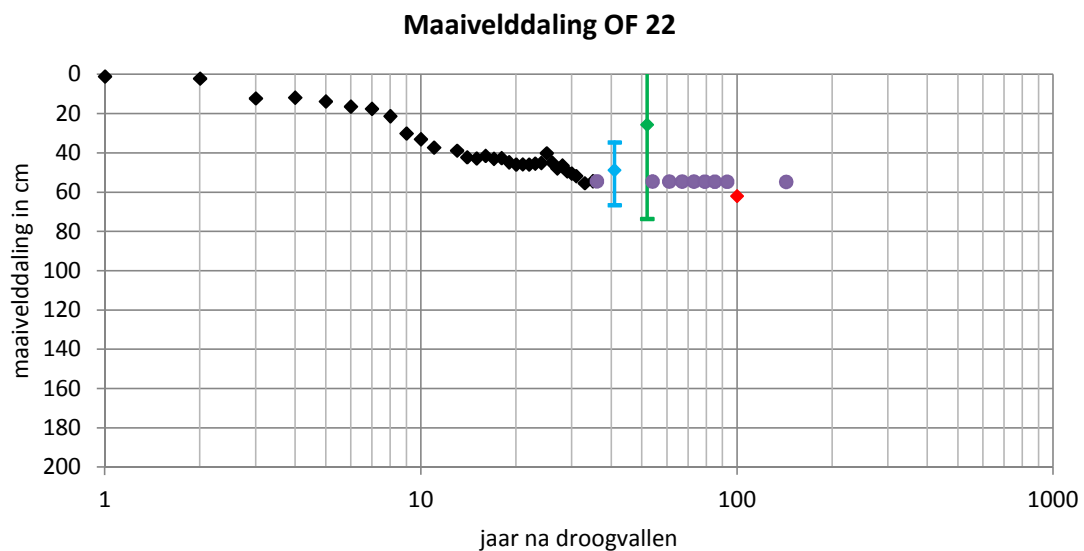
Maaiveldddaling OF 20



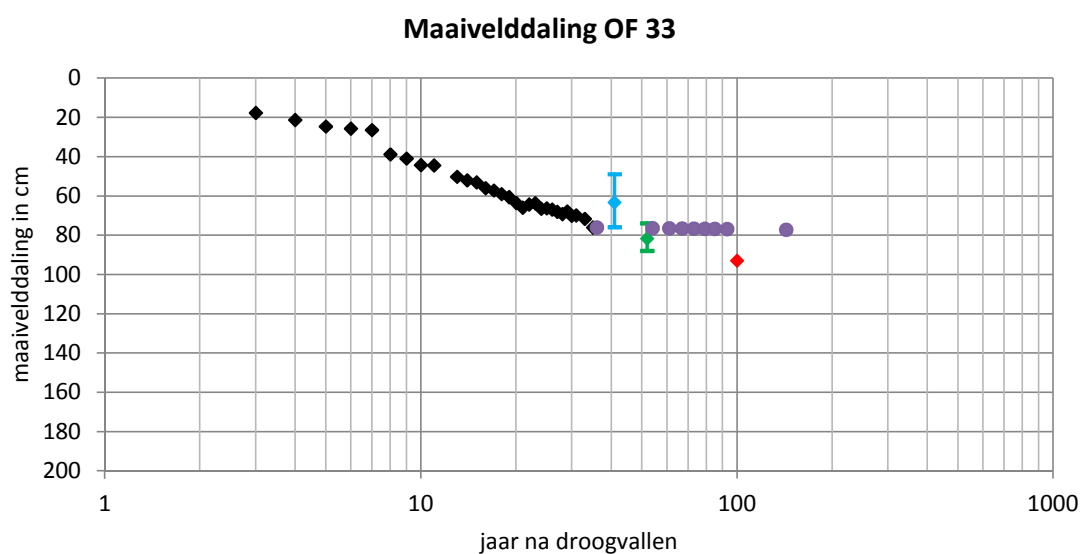
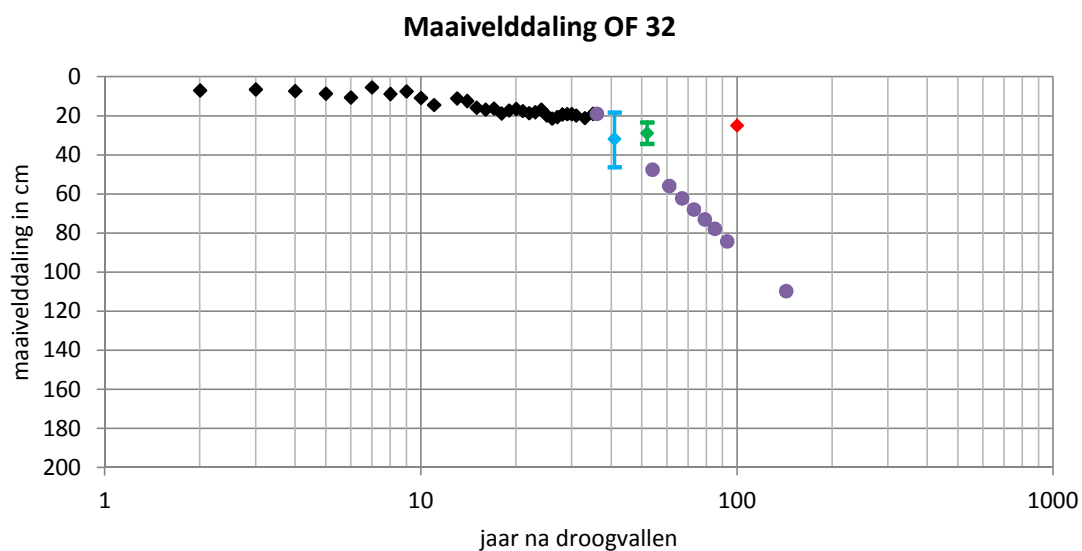
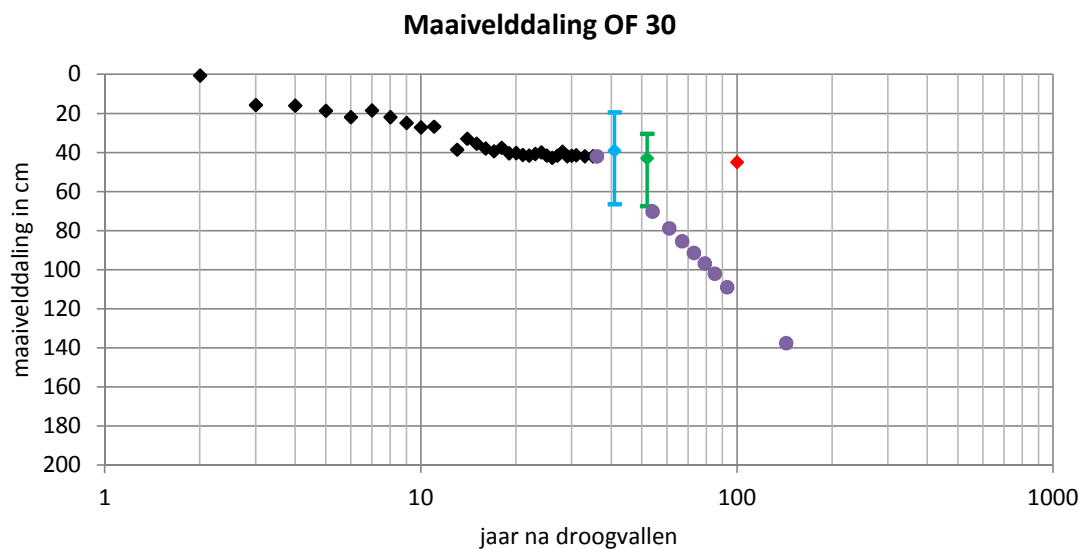
Maaiveldddaling OF 21



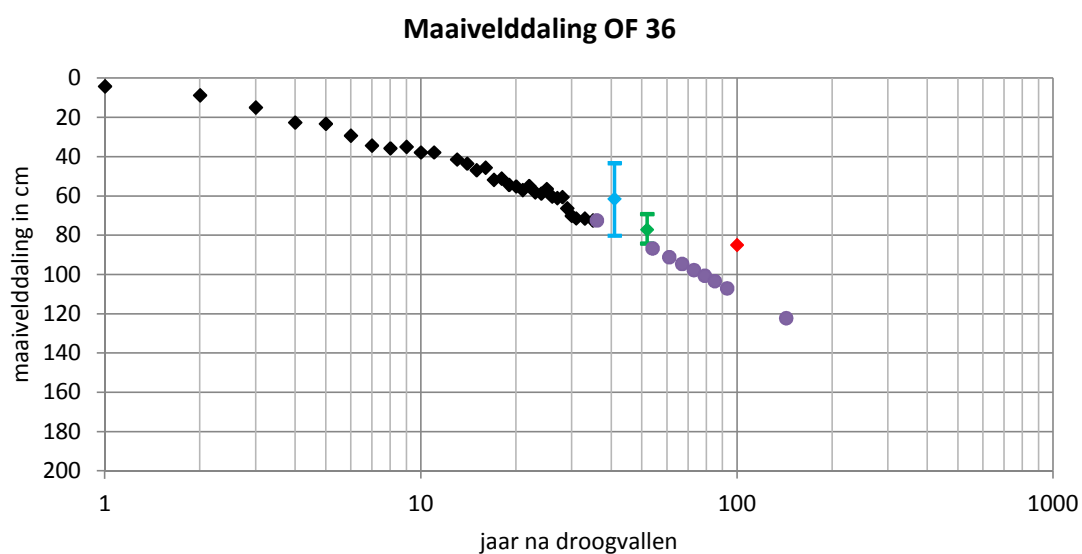
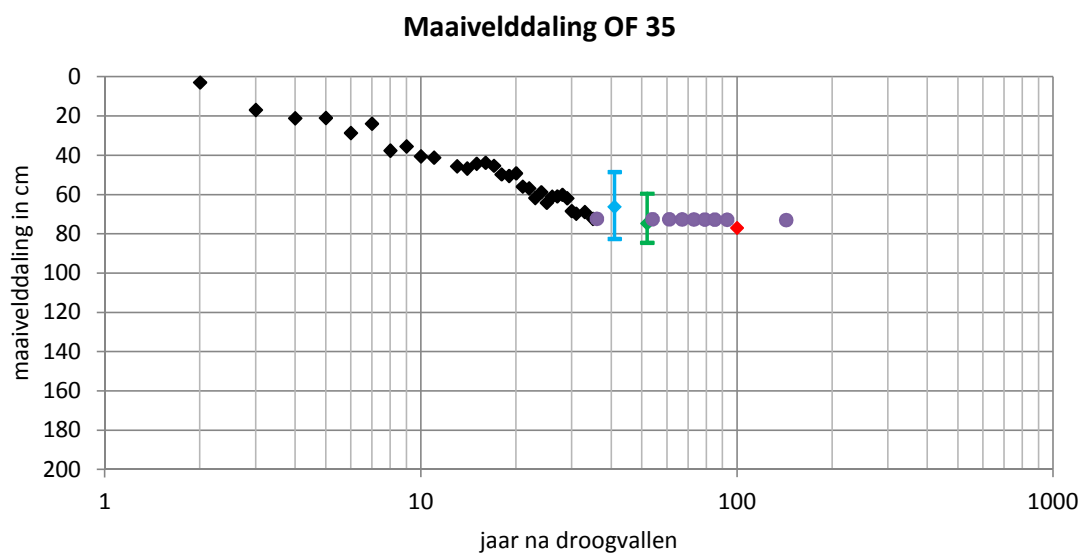
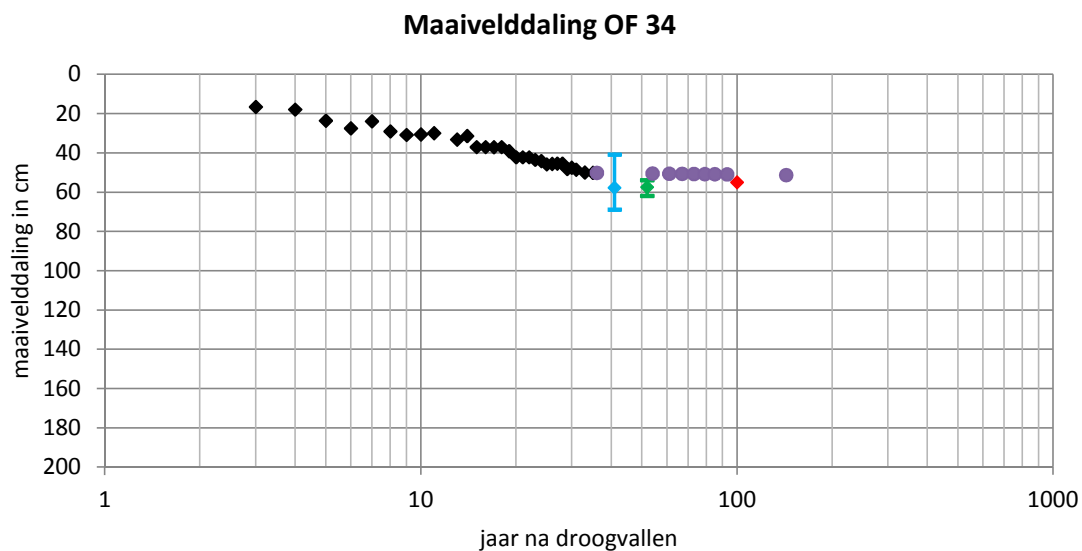
zwart historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
 blauw gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
 groen gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
 rood prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
 paars modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100



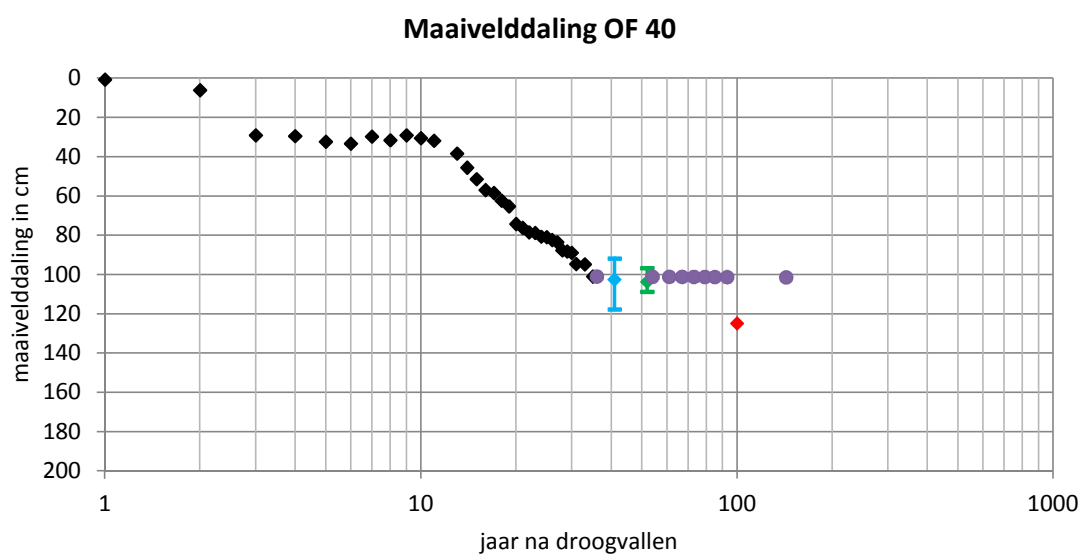
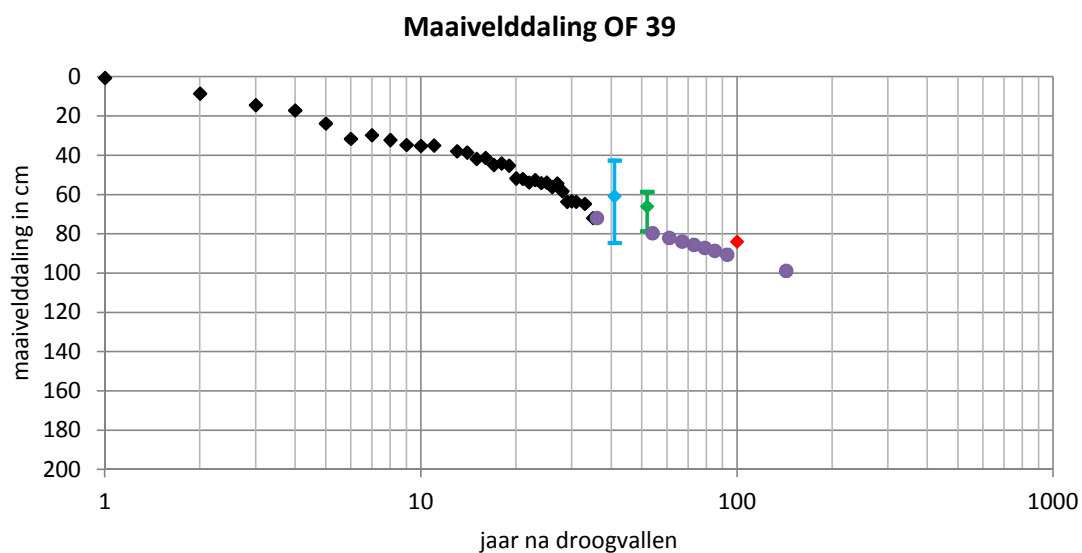
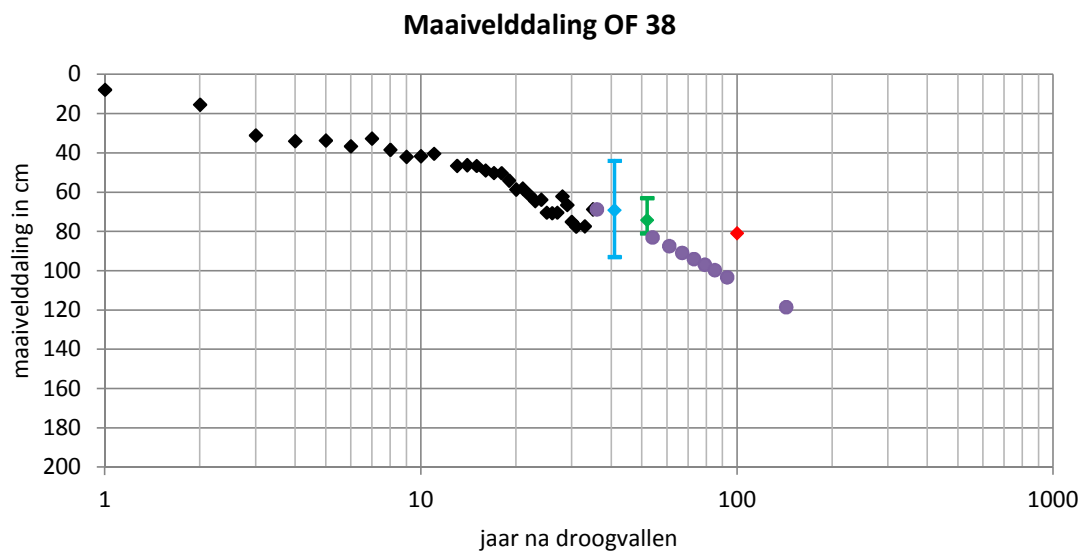
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100



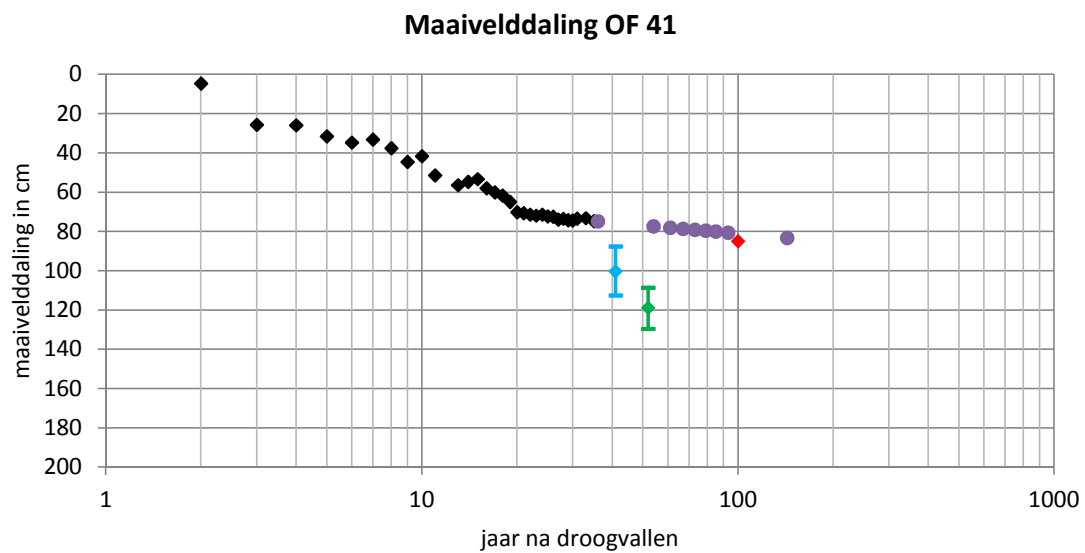
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100



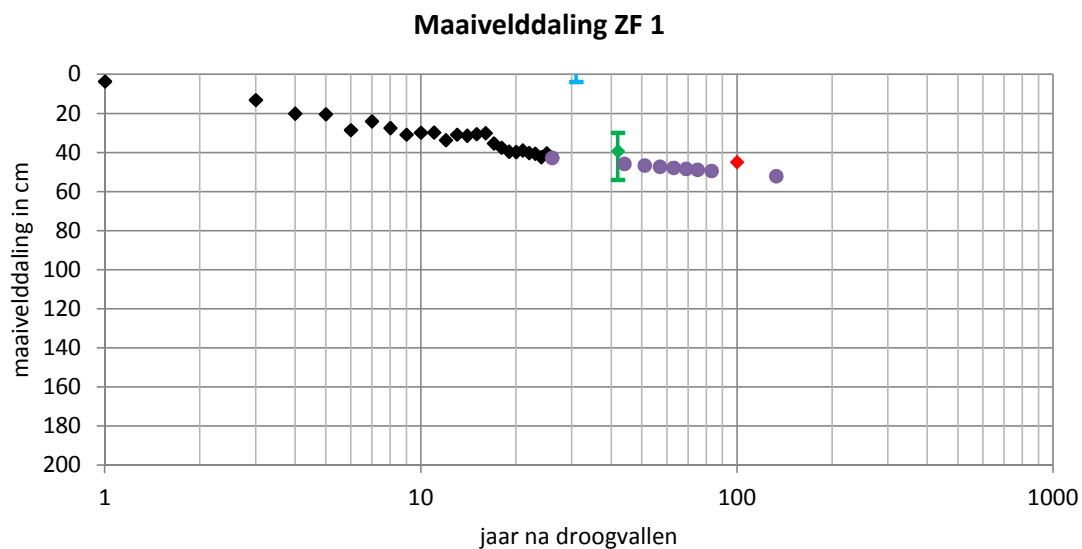
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100



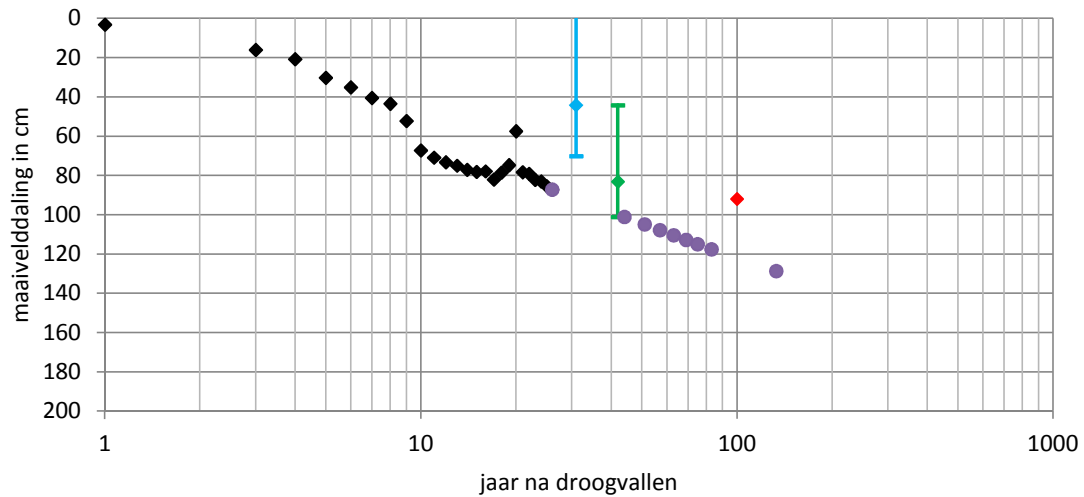
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100



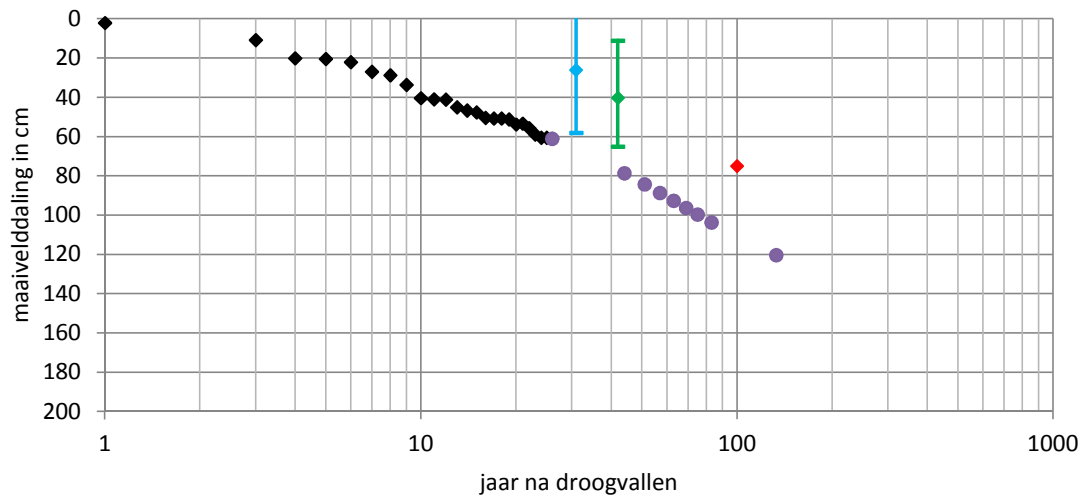
zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100



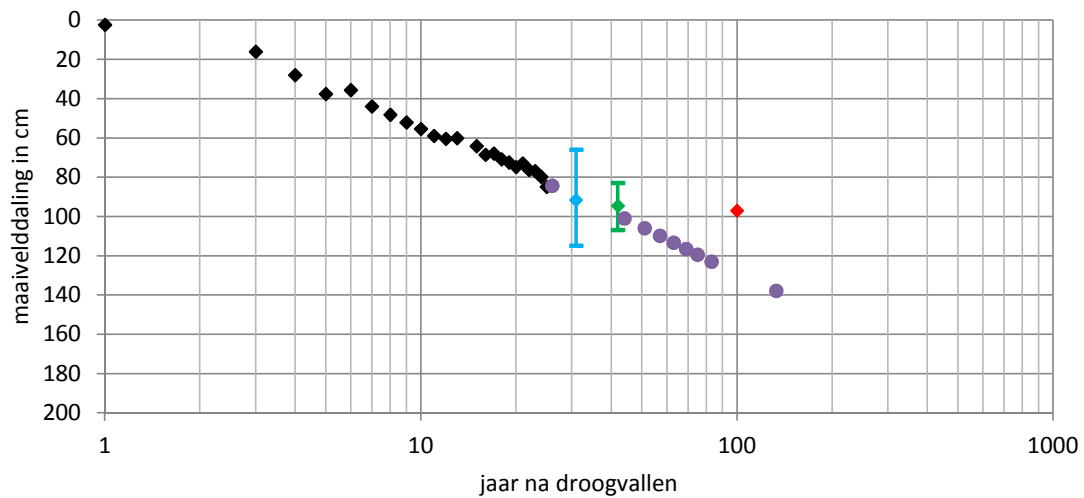
Maaiveldddaling ZF 4



Maaiveldddaling ZF 5

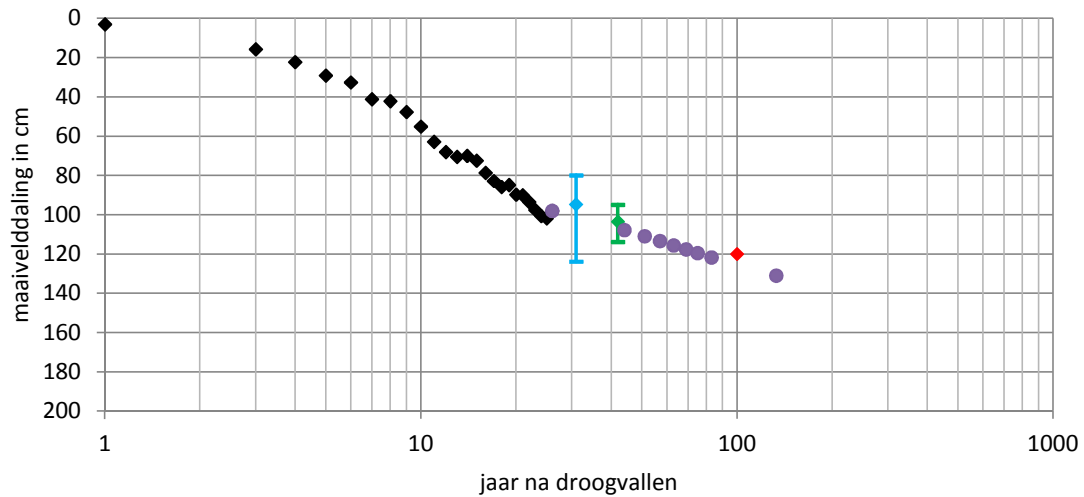


Maaiveldddaling ZF 6

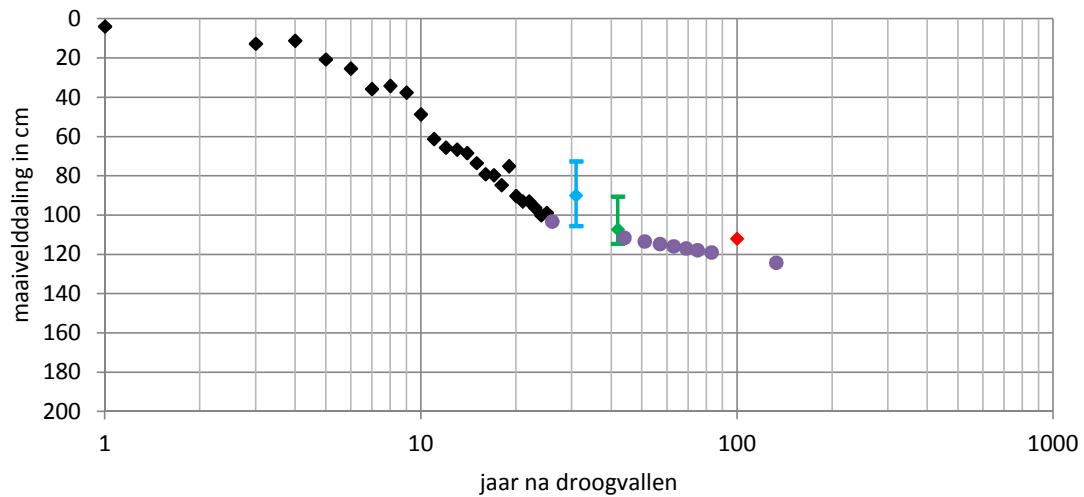


zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100

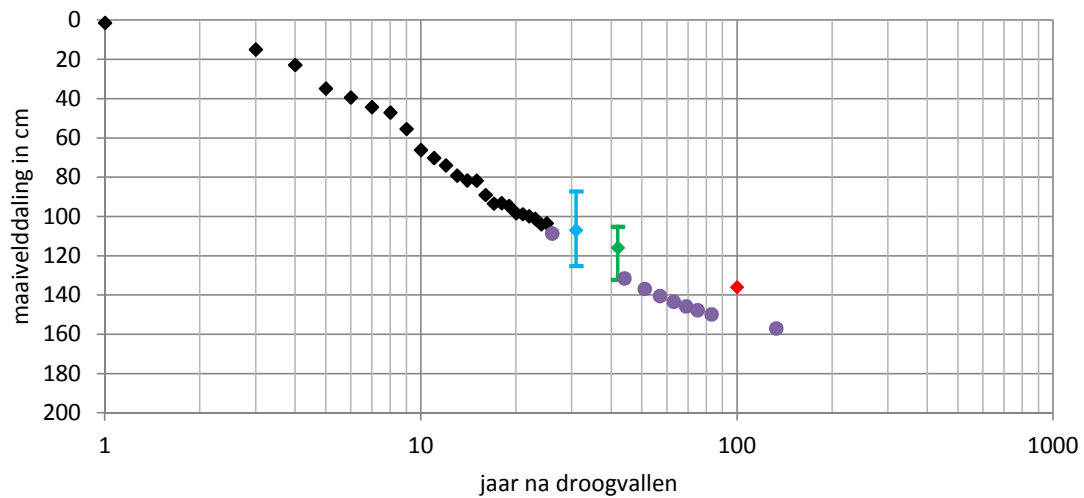
Maaiveldddaling ZF 7



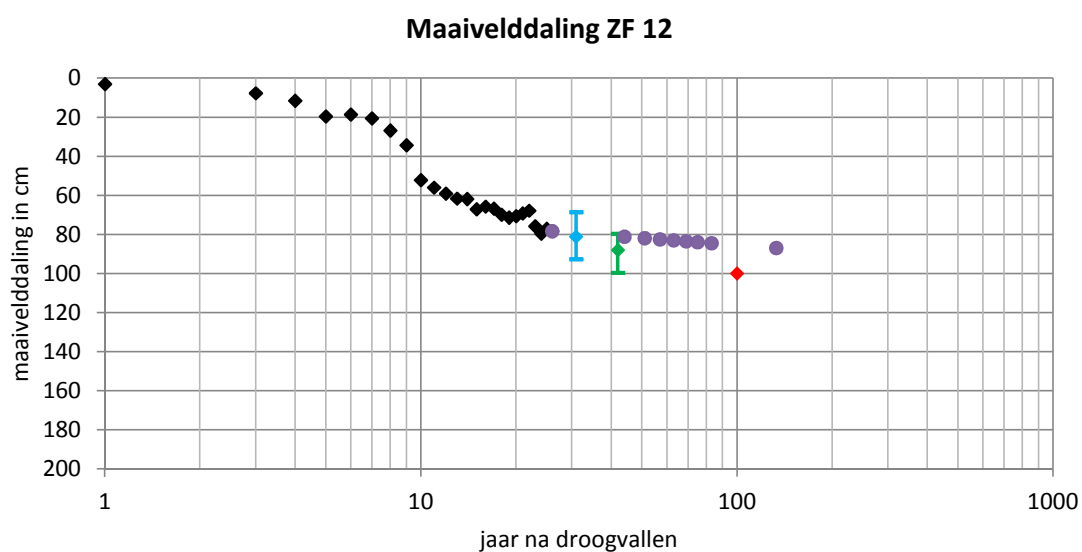
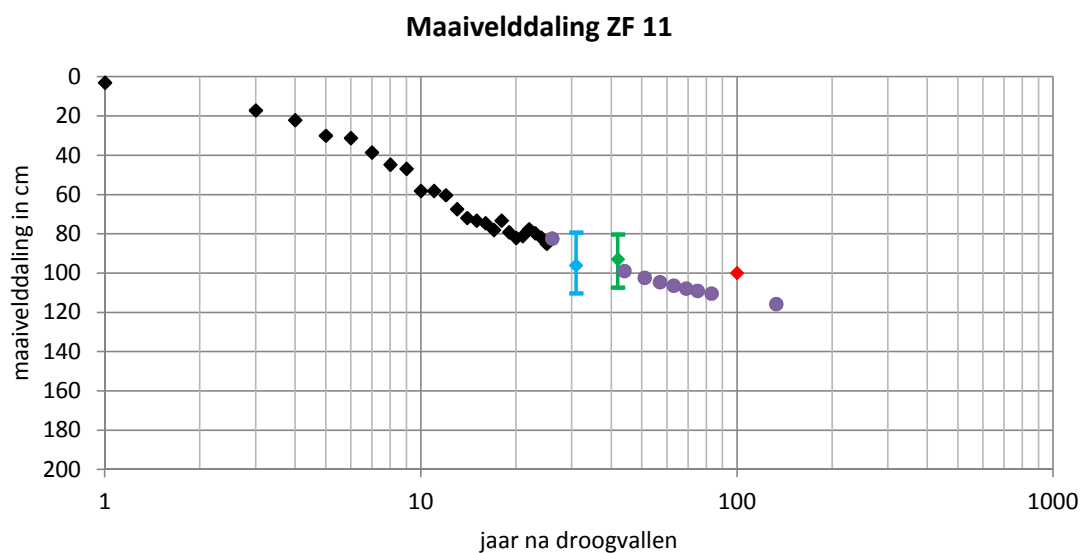
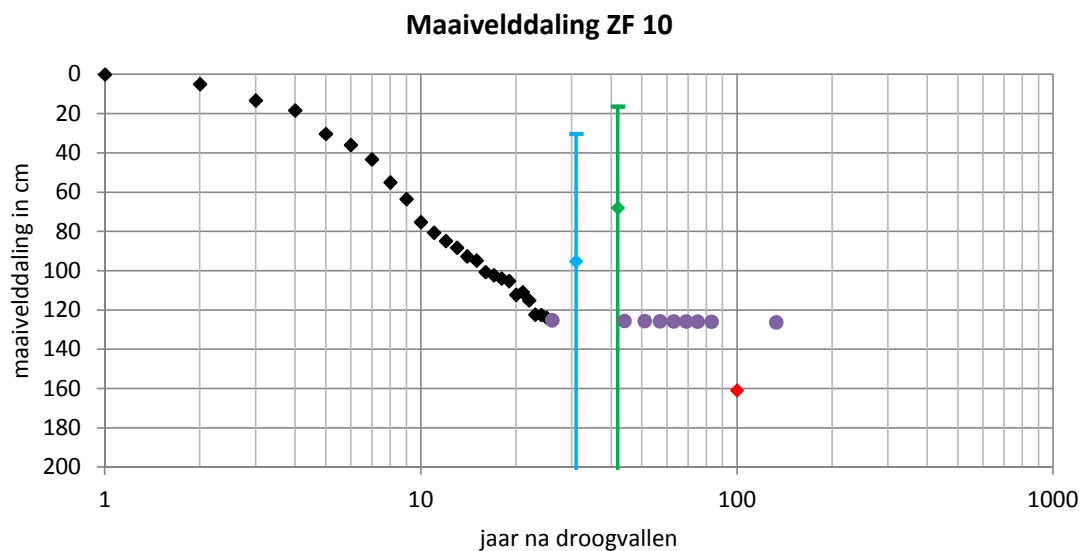
Maaiveldddaling ZF 8



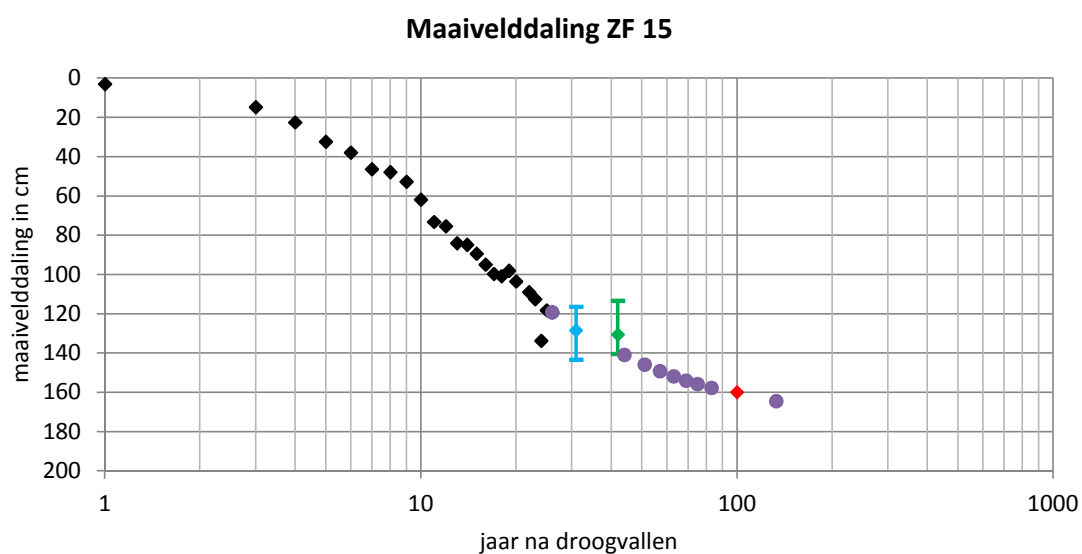
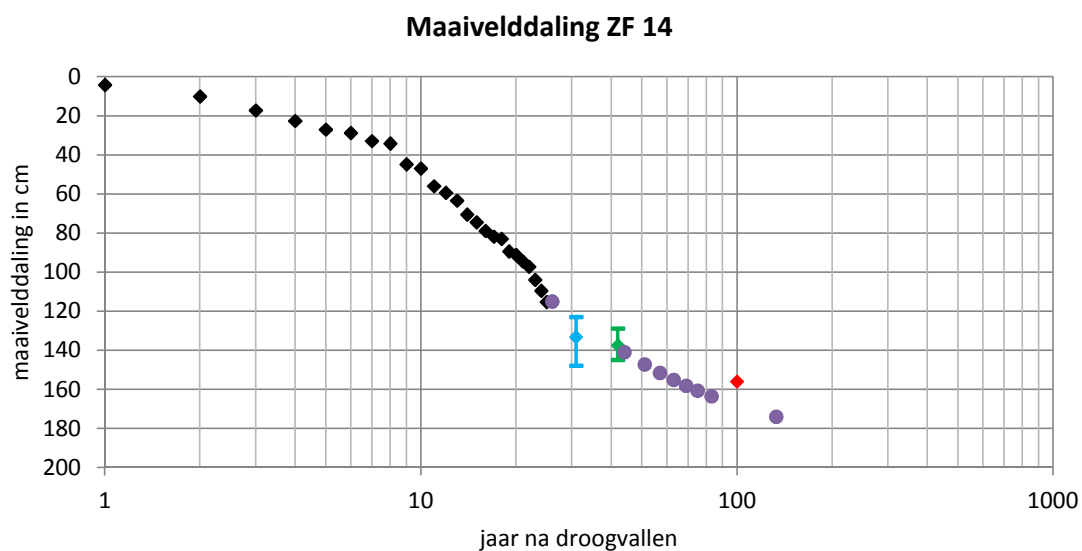
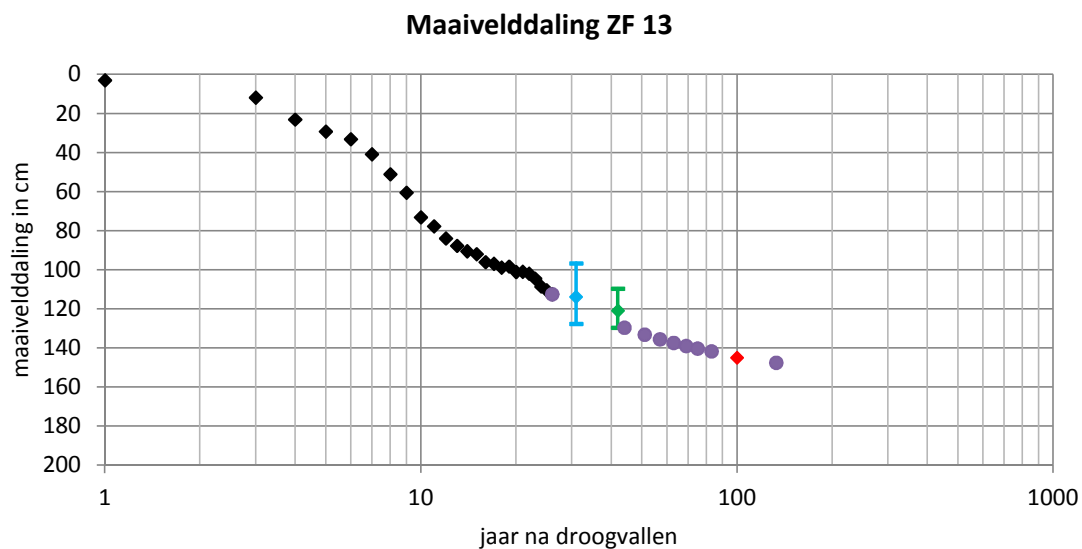
Maaiveldddaling ZF 9



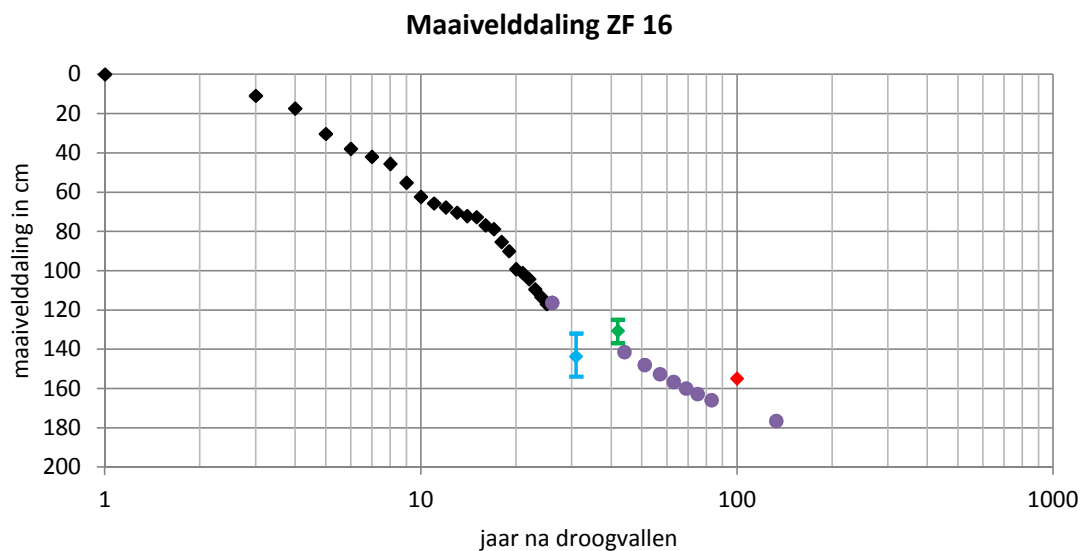
zwart historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
 blauw gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
 groen gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
 rood prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
 paars modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100

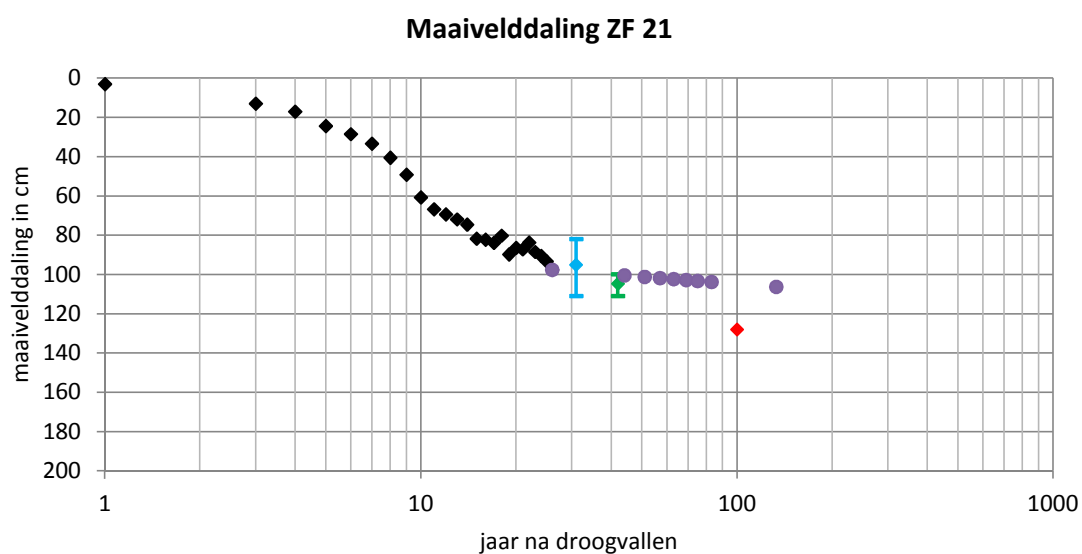
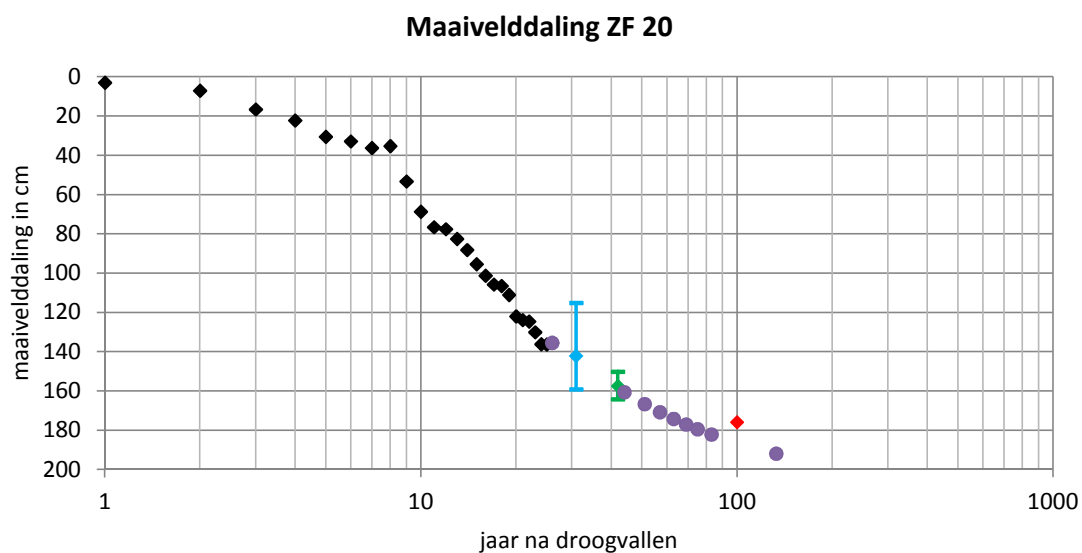
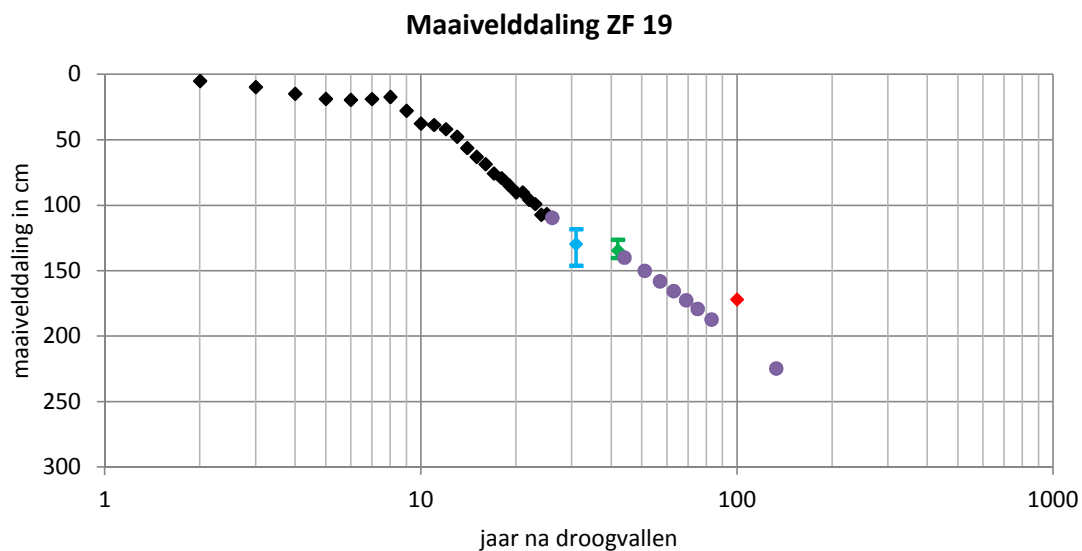


zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100

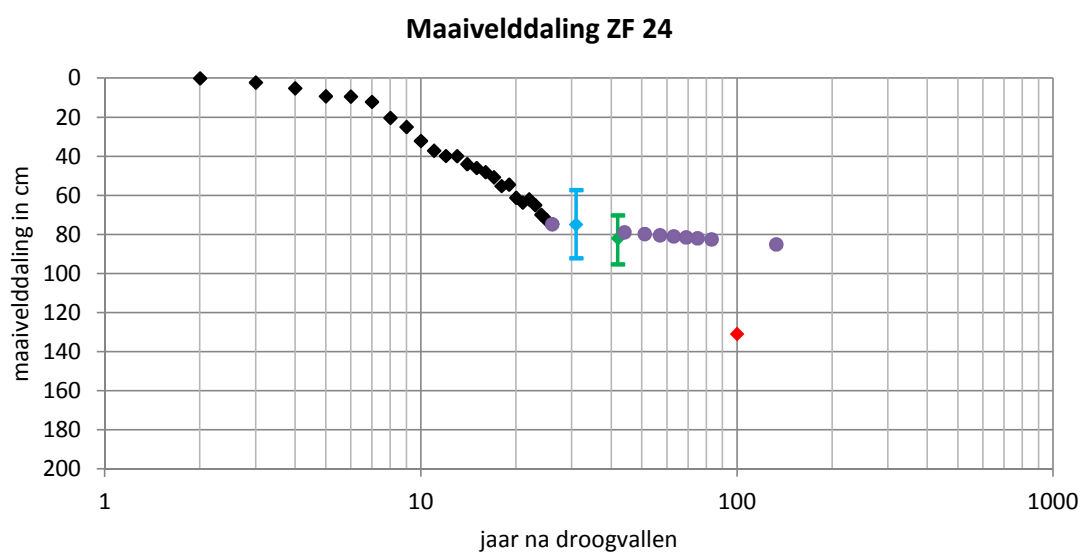
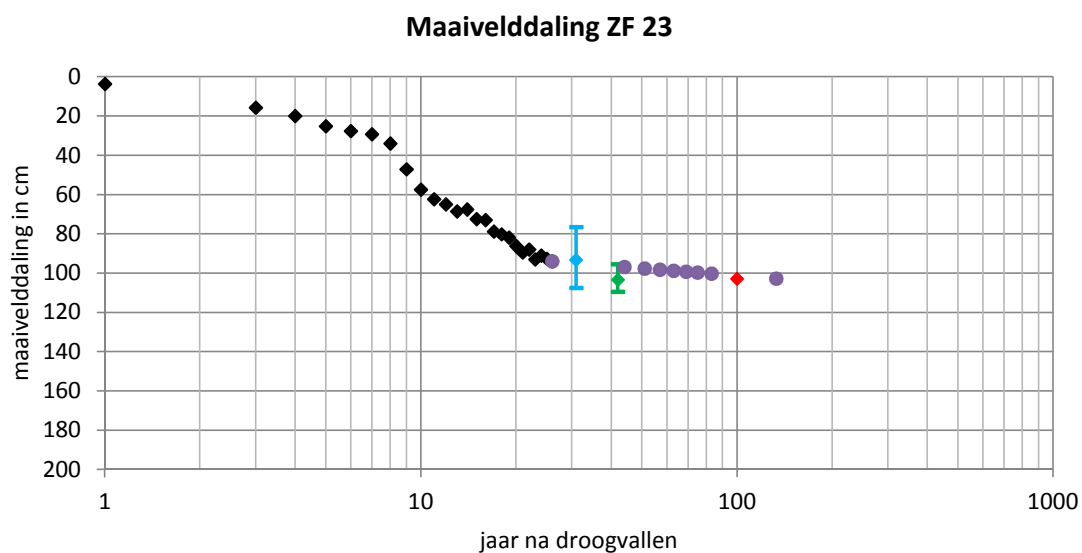
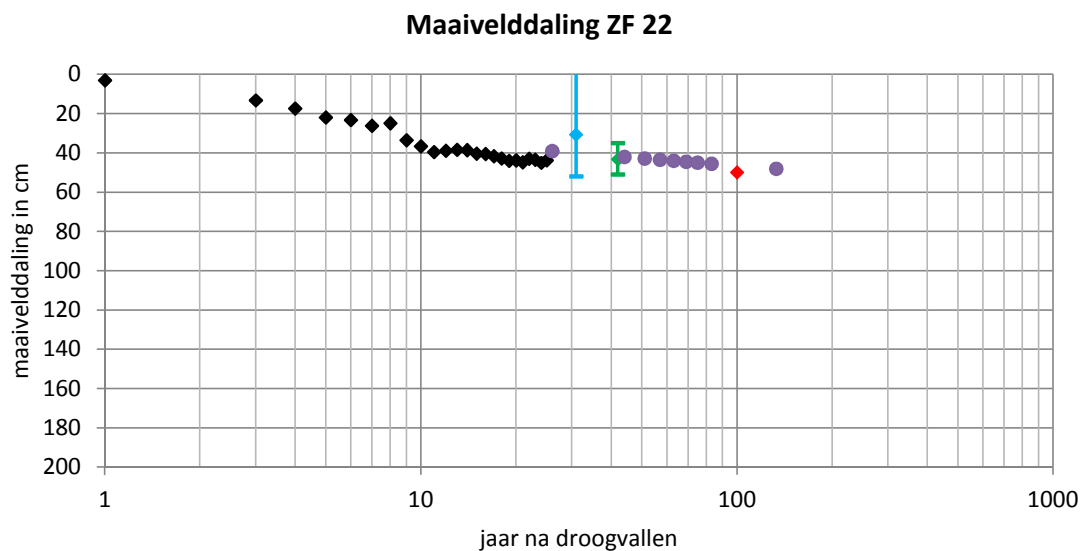


zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100

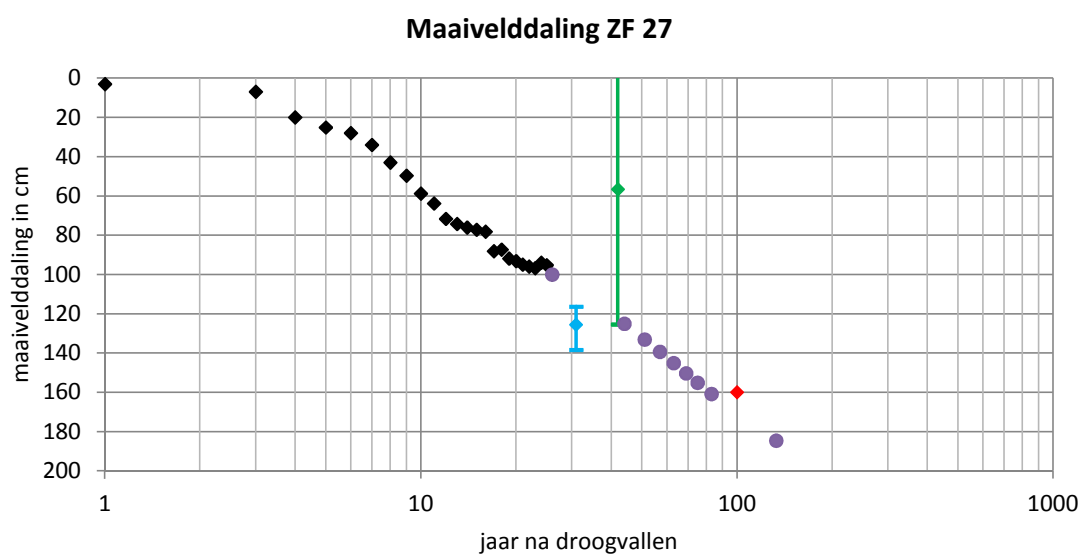
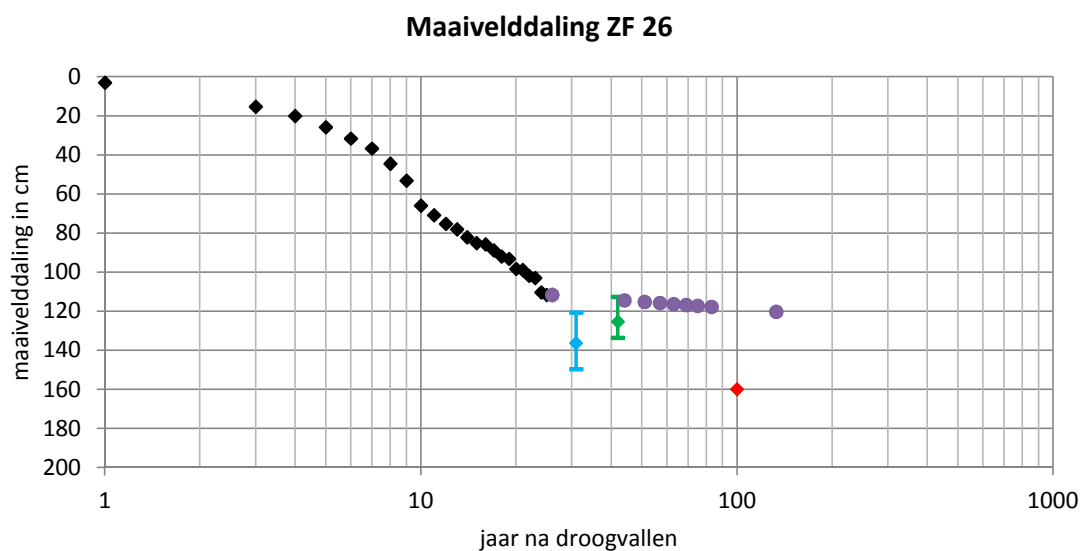
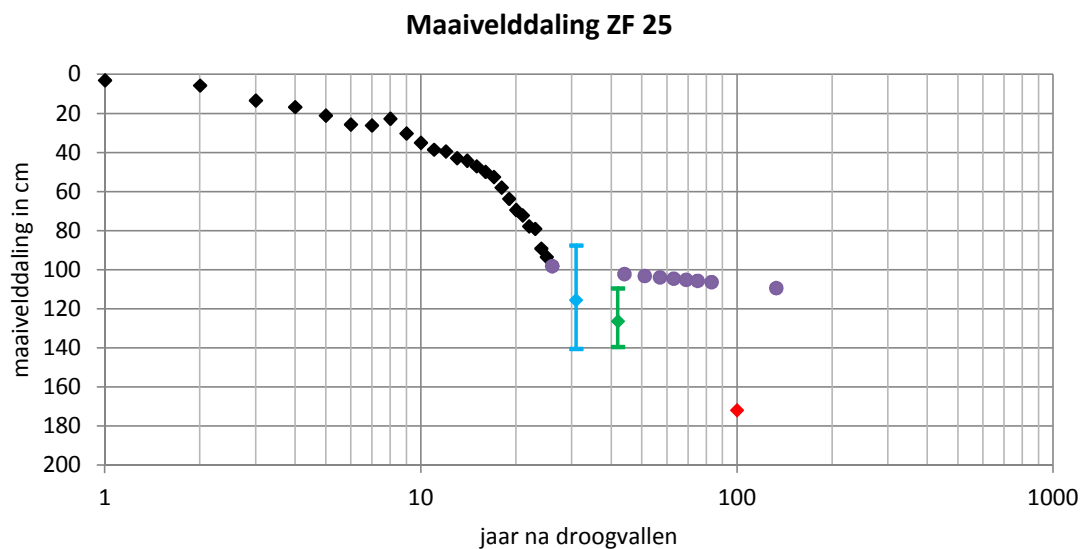




zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100



zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100



zwart historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
 blauw gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
 groen gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
 rood prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
 paars modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100

maaiveldddaling in cm

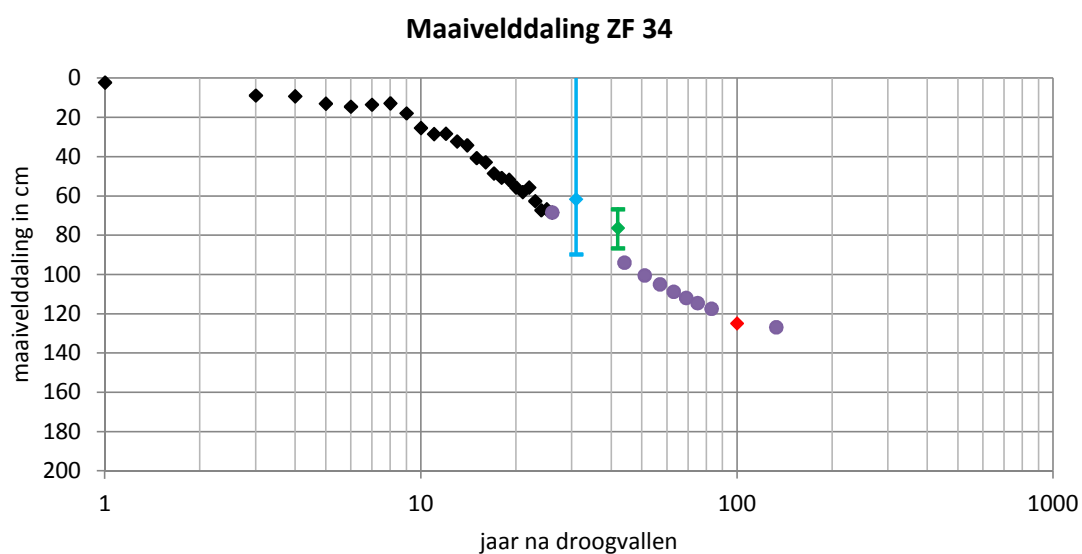
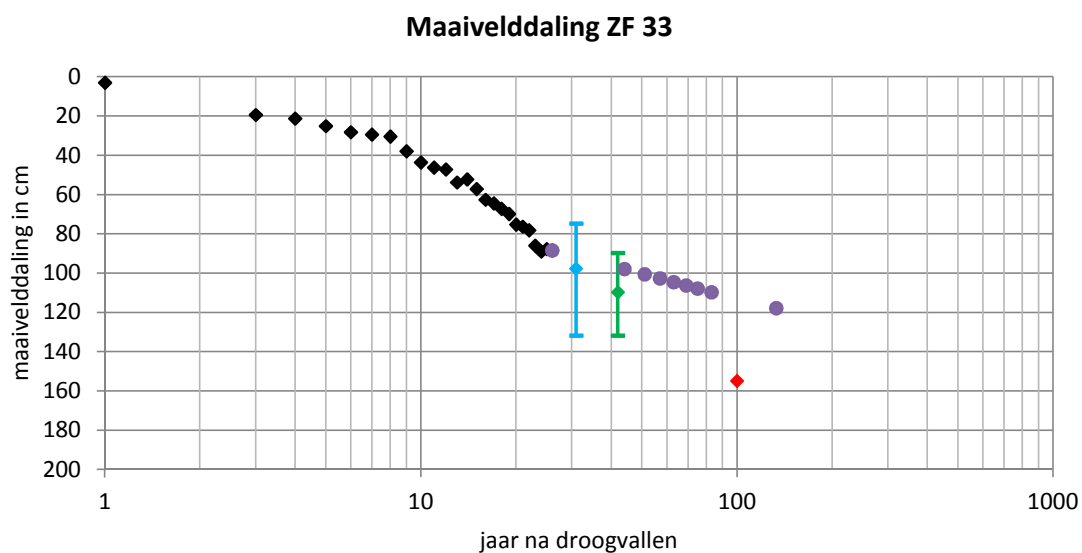
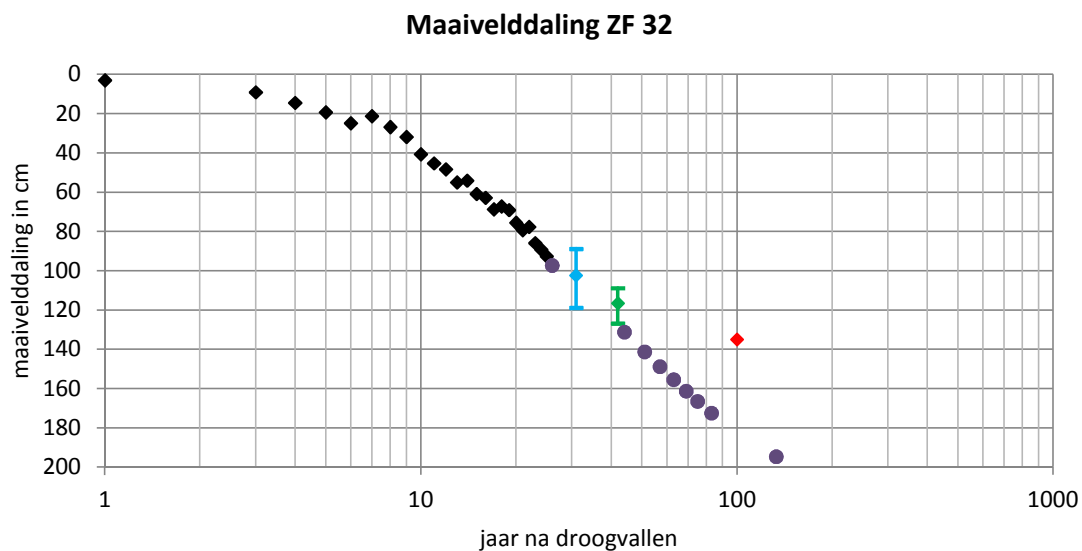
jaar na droogvallen

The scatter plot displays the relationship between the time elapsed since a drought event (x-axis) and the resulting ground subsidence (y-axis). The x-axis, 'jaar na droogvallen', is on a logarithmic scale from 1 to 1000. The y-axis, 'maaiveldddaling in cm', is on a linear scale from 0 to 300, with 0 at the top. The data points show a general trend of increasing subsidence over time, with a notable cluster of points between 10 and 100 years showing a sharp increase in subsidence. A green vertical line is drawn at approximately 40 years, and a cyan circle with error bars is located at approximately 30 years and 130 cm subsidence.

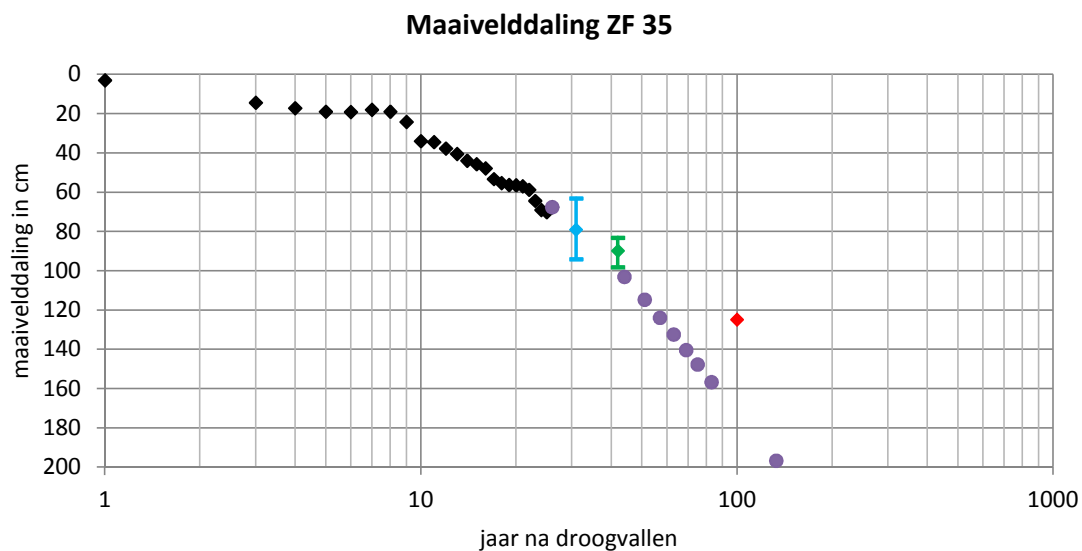
The figure is a scatter plot with a logarithmic x-axis and a linear y-axis. The x-axis is labeled 'jaar na droogvallen' and ranges from 1 to 1000. The y-axis is labeled 'maaiveldddaling in cm' and ranges from 0 to 200. The data points are as follows:

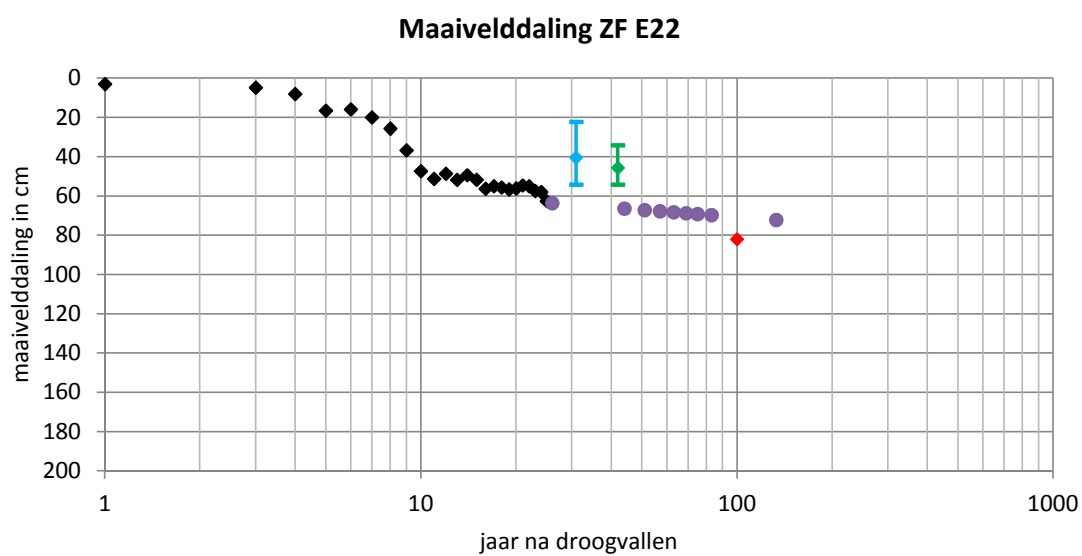
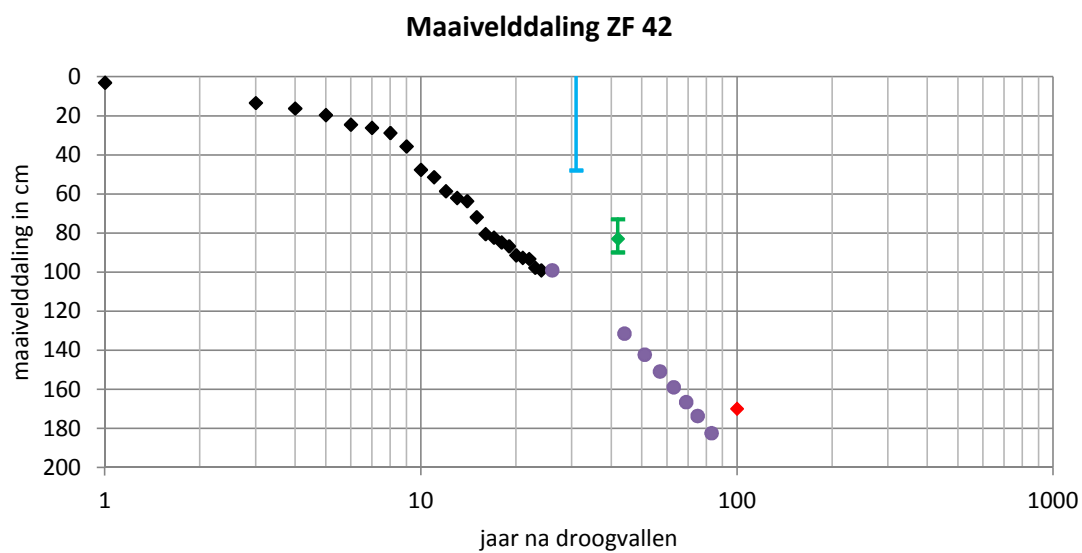
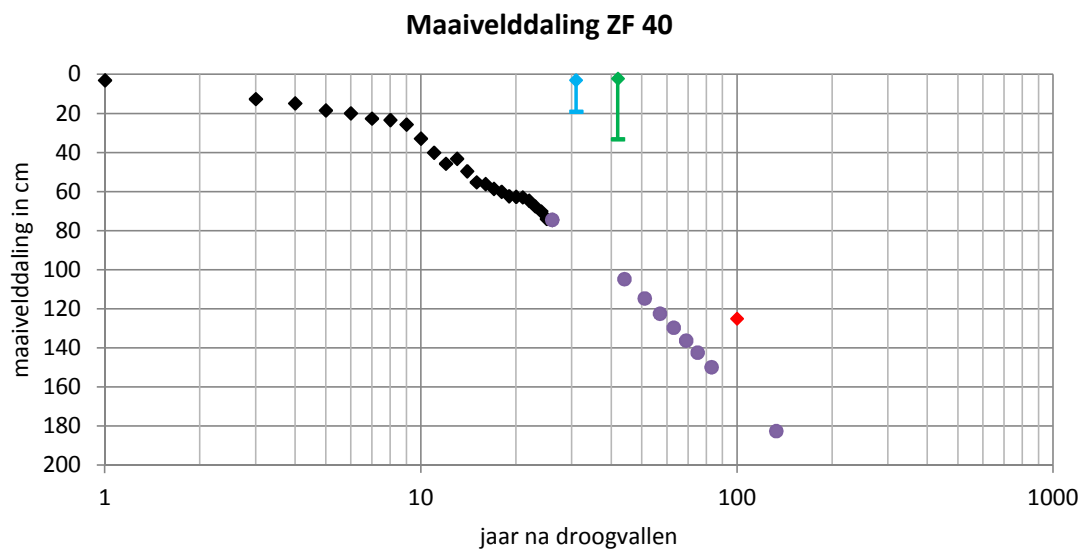
jaar na droogvallen	maaiveldddaling in cm	Series
2	10	Black diamonds
3	15	Black diamonds
4	20	Black diamonds
5	25	Black diamonds
6	25	Black diamonds
7	25	Black diamonds
8	25	Black diamonds
9	25	Black diamonds
10	30	Black diamonds
11	40	Black diamonds
12	45	Black diamonds
13	50	Black diamonds
14	55	Black diamonds
15	60	Black diamonds
16	65	Black diamonds
17	70	Black diamonds
18	75	Black diamonds
19	80	Black diamonds
20	85	Black diamonds
25	95	Black diamonds
30	105	Black diamonds
35	115	Black diamonds
40	120	Black diamonds
45	125	Black diamonds
50	125	Purple circle with error bars
60	135	Purple circle with error bars
70	145	Purple circle with error bars
80	150	Purple circle with error bars
90	155	Purple circle with error bars
100	160	Purple circle with error bars
150	170	Purple circle with error bars
100	180	Red diamond
150	175	Purple circle

zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100

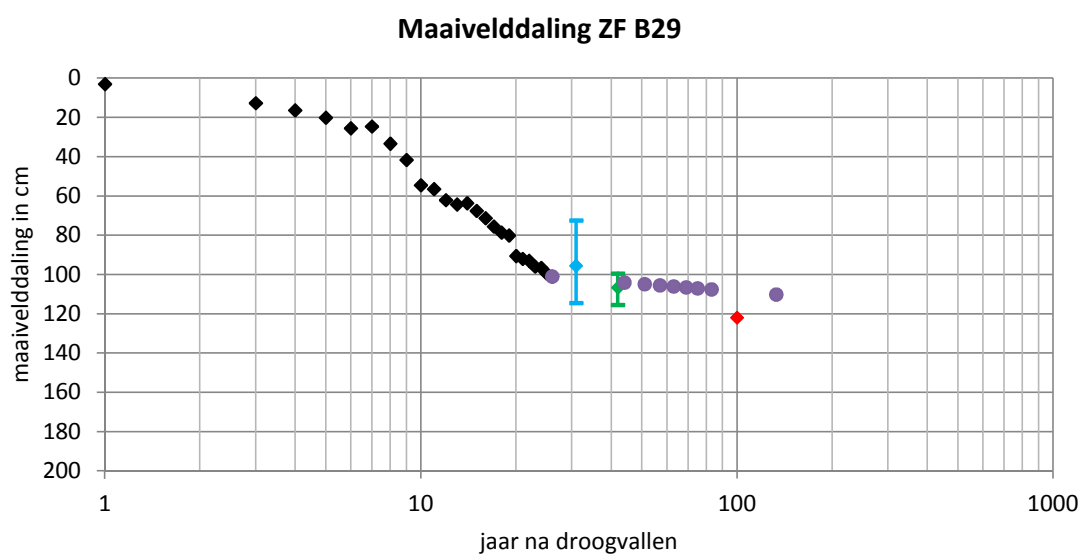
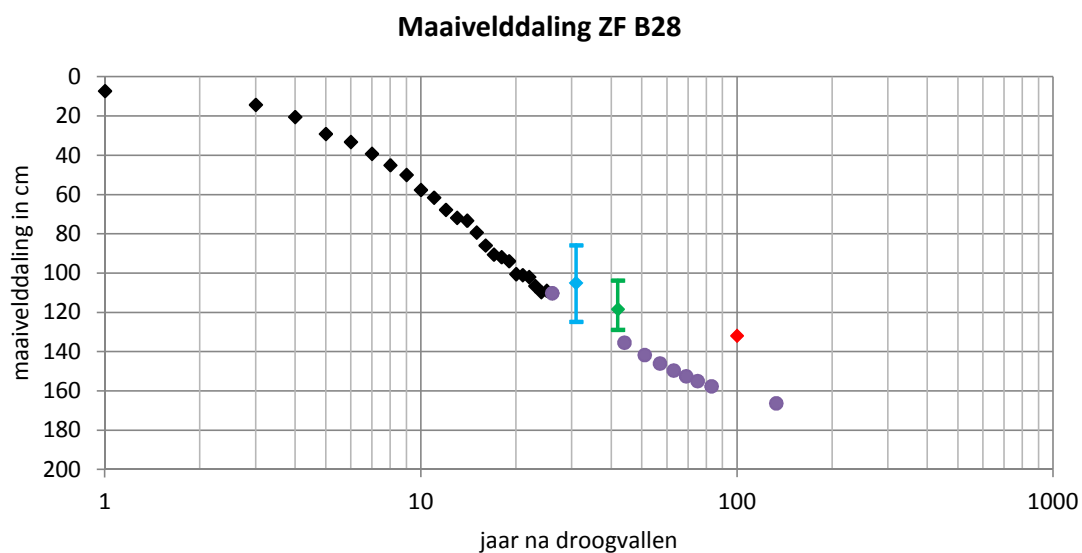
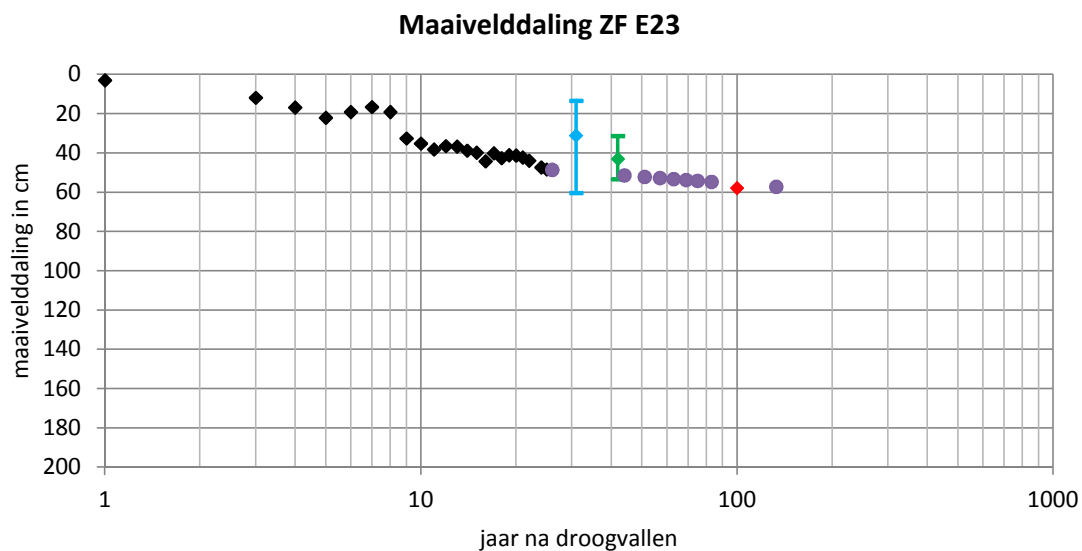


zwart	historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
blauw	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
groen	gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
rood	prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
paars	modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100





zwart historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
 blauw gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
 groen gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte
 rood prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388
 paars modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100



zwart historische maaiveldddaling volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388

blauw gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-1, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte

groen gemiddelde maaiveldddaling o.b.v. AHN-2, incl. bandbreedte o.b.v. minimale/maximale maaiveldhoogte

rood prognose maaiveldddaling 100 jaar na inpoldering volgens RIJP, ontleend aan Flevovericht 388

paars modelmatig berekende maaiveldddaling van 1993 tot 2100