

**POV PIPING "PROEFTUIN MASTENBROEK" -
HOOFDRAPPORT
INVLOED VAN "DIJCK GESGIEDENISCH",
VOORLANDEN EN ZANDGROFHEID OP PIPING**

WATERSCHAP GROOT SALLAND

24 januari 2017
078555849:B - Definitief
C03011.000275.0300



Inhoud

Management samenvatting	1
1 Inleiding	3
2 Historisch onderzoek – Alterra	5
2.1 Projectbeschrijving.....	5
2.2 Resultaten	5
2.3 Conclusie.....	7
3 Geofysisch onderzoek – Medusa	8
3.1 Projectbeschrijving.....	8
3.2 Resultaten	9
3.2.1 Voorland	9
3.2.2 Oeverwal.....	9
3.2.3 Proeftuin	10
3.2.4 Bisschopswetering	10
3.3 Conclusie.....	11
4 Geotechnisch onderzoek – ARCADIS	13
4.1 Projectbeschrijving.....	13
4.2 Resultaten	14
4.3 Conclusie.....	16
5 Synthese en aanbevelingen	18
6 Literatuur	20
Bijlage 1 Deelrapport “Historisch onderzoek – Alterra”	21
Bijlage 2 Deelrapport “Geofysisch onderzoek – Medusa”	22
Bijlage 3 Deelrapport “Geotechnisch onderzoek – ARCADIS”	23
Colofon	24

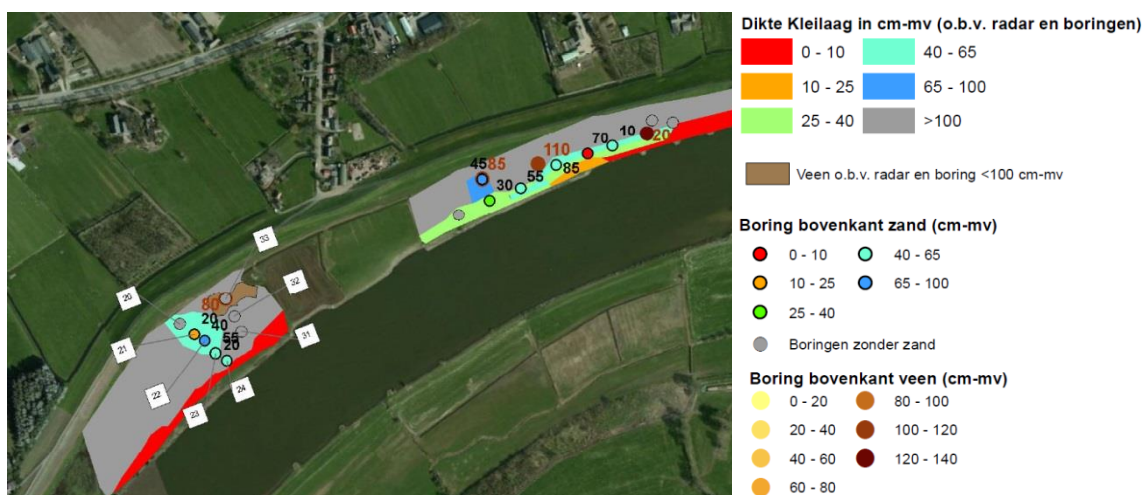
Management samenvatting

In het kader van de POV-piping is in de periode van 2014 tot 2015 door waterschap Groot Salland in samenwerking met Arcadis, Alterra en Medusa onderzoek gedaan naar de intredeweerstand, korrelgrootte en historische aanwijzingen voor zwakke plekken van het oudste poldergebied van Nederland. Dit is essentiële informatie voor het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen met de nieuwe rekenregel Sellmeijer (2011).

Het **doel** van deze verkenning was om:

- na te gaan of en hoe drie verschillende onderzoeksporen (geotechnisch, geofysisch en historisch onderzoek) elkaar kunnen versterken;
- het in beeld brengen van variaties in de ondergrond met elke onderzoekstechniek afzonderlijk.

De **aanleiding** hiervoor was het feit dat goede waarden voor intredeweerstand en zandgrofheid vaak lastig vast te stellen zijn door variaties in bodemopbouw. Bovendien verklaren de analyses met deze waarden niet altijd het ontstaan van zandmeevoerende wellen op specifieke plekken. In de figuur is als voorbeeld een bovenaanzicht van meetresultaten in het voorland gegeven. Het aantal legenda eenheden en het vlakken patroon geeft aan hoe de intredeweerstand in het voorland varieert.



Figuur 1: De resultaten van de metingen in het voorland met geofysisch onderzoek geven aan waar er sprake is van variatie in intredeweerstand

Het **onderzoek** heeft bestaan uit:

- zeer gedetailleerd grondonderzoek om de variatie in grondopbouw te onderzoeken;
- lokale bepaling van de intredeweerstand van het voorland met geofysisch onderzoek;
- historisch onderzoek naar aanwijzingen voor zwakke plekken.

Het onderzoek heeft uitgewezen dat:

- de verschillende onderzoekstechnieken elkaar alleen in beperkte mate versterken;
- de individuele onderzoeksporen elk hun eigen beperkingen (blijven) houden, ondanks dat ook positieve resultaten zijn bereikt.

Juist met een combinatie van geofysische onderzoekstechnieken is het mogelijk om een gebiedsdekkend beeld van de intredeweerstand te verkrijgen. Maar het vaststellen van de zandgrofheid met een beperkte hoeveelheid metingen lastig blijft door de van nature aanwezige variatie in de ondergrond.

Het wordt aanbevolen om het historisch onderzoek beperkt van karakter te houden, omdat het vooral een toegevoegde waarde heeft als het louter gericht is op waterveiligheid.

Daarnaast zijn diverse aanbevelingen gedaan en conclusies getrokken.

De **hoofdconclusies** zijn:

- er zijn geen historische aanwijzingen geleverd die duiden op lokale zwakke plekken, waarvan de exacte locatie daadwerkelijk bekend is;
- met de juiste geofysische onderzoekstechnieken kan worden bespaard op arbeidsintensieve handboringen;
- samenhang met andere POV piping verkenningen met een accent op zandgrofheid is nodig om volledig inzicht te krijgen in de praktische toepasbaarheid van rekenregel van Sellmeijer 2011.

Vervolgtraject

De praktische aanbevelingen ten aanzien van grondonderzoek en het schematiseren van de ondergrond worden in een aanvullende verkenning "Heterogeniteit" verwoord in een Handleiding Grondonderzoek en een Schematiseringshandleiding. Deze aanvullende verkenning start op korte termijn.

1 Inleiding

In het nieuwe dijkverbeteringsprogramma HWBP is een Project Overstijgende Verkenning (POV) opgenomen naar het bezwijkmechanisme piping; de POV piping. Hierin wordt de problematiek inclusief oplossingsrichtingen rondom piping op een landelijk niveau onder de loep genomen. Eén van de aspecten is vergroting van de kennis over de bodem en eigenschappen van grondlagen. De verwachting is dat hierdoor op termijn de benodigde maatregelen, om piping te voorkomen, ingeperkt kunnen worden.

"Proeftuin Mastenbroek" (hierna Veecaten genoemd) en bevindt zich in dijkkring 10 "Mastenbroek". Deze verkenning is tot stand gekomen via een samenwerking tussen Waterschap Groot Salland en ARCADIS met ondersteuning van Alterra en Medusa. In Figuur 2 is de onderzoekslocatie met een groene stip weergegeven tezamen met enkele andere markante punten in de omgeving.



Figuur 2: Verstoringen in de ondergrond die mogelijk een risico vormen voor piping

Het onderhavige rapport behandelt het pilotproject waarin drie onderzoekstechnieken met een verschillende invalshoek worden gecombineerd. Dit zijn historisch onderzoek (Alterra), geofysisch onderzoek met grondradar (Medusa) en geotechnisch bodemonderzoek (ARCADIS). Deze rapportage brengt de kennis en ervaring van de drie verschillende invalshoeken bij elkaar. Er is gezocht naar schakels tussen deze invalshoeken die een versterkt beeld geven van de gevoeligheid voor het faalmechanisme piping.

De probleemstelling van deze verkenning luidt: "De zandgrofheid en intredeweerstand zijn belangrijk voor de berekening van de veiligheid tegen piping. Rekenwaarden voor deze parameters zijn vaak lastig vast te stellen en lijken bovendien niet altijd het ontstaan van zandmeevoerende wellen op een specifiek plek te verklaren."

Het hoofddoel van dit onderzoek is om na te gaan of en hoe de drie verschillende onderzoeksporen elkaar kunnen versterken, teneinde meer te weten te komen over de kans op piping op een bepaalde locatie. Daarnaast hebben alle onderzoeksporen een eigen deeldoelstelling binnen de POV piping, die in de navolgende hoofdstukken verder zijn toegelicht.

De onderzoeksvragen die bij deze verkenning horen zijn:

1. kunnen de verschillende onderzoeksporen elkaar versterken teneinde meer te weten te komen over de kans op piping?
2. welk beeld ontstaat als de zandgrofheid in een fijnmazig raster wordt bepaald?
3. hoe kan de overgang van verschillende bodemlagen nauwkeurig worden vastgesteld?
4. kan de historie van een gebied gerichte aanwijzingen geven voor het ontstaan van zandmeevoerende wellen?

Leeswijzer

Deze rapportage is het hoofdrapport van de pilotstudie, waarin de resultaten van de verschillende deelonderzoeken worden samengevat. Daarnaast is gezocht naar schakels tussen de verschillende deelonderzoeken die elkaar kunnen versterken bij het onderzoeken naar risico's op piping. Naast deze hoofdrapportage zijn de rapportages van de drie deelonderzoeken opgenomen in de bijlagen.

2

Historisch onderzoek – Alterra

2.1 PROJECTBESCHRIJVING

Alterra heeft historisch onderzoek uitgevoerd naar sporen uit de geschiedenis in de regio van Mastenbroek die een risico kunnen vormen op piping [Bijlage 1]. De doelstelling van dit deelonderzoek was “de ligging van (begraven) rivierduinen vaststellen en aanwezigheid van oude bouwkundige en waterbouwkundige werken verifiëren.”

Piping kan mede te maken hebben met de bodemopbouw in relatie tot de bewonings- en bebouwingshistorie. Om hier een goed beeld van te krijgen is historisch onderzoek uitgevoerd dat een relevant tijdvak beslaat in relatie tot de dijkhistorie (circa 2000 jaar). Vroege bebouwing en aanleg van (voormalige) kunstwerken hadden vroeger vaak plaats in het tracé van de huidige dijk. De eerste dijken werden namelijk vooral opgeworpen ter verbinding van natuurlijke hoogten, hoogten die ook voor bebouwing al benut (zouden kunnen) zijn.

Bij bebouwing werden veelal ook waterwerken uitgevoerd (aanleg zijltjes, zielen, valletijen, sluisjes of drechten) of werden er relatief vaak of veel dijkaanpassing uitgevoerd in relatie tot de doorbraken die ieder gebied kende. Indien er goed zicht is op de historie van een dijktracé dan komen hiermee een scala aan factoren in beeld die – vaak negatief – bijdragen aan de risico's die voortvloeien uit piping. Historisch onderzoek zou dan ook, in combinatie met geotechnische en geofysische technieken, een eerste stap kunnen zijn om risicotracés te duiden.

Het nauwkeurig duiden van risico tracés en locaties was de opdracht aan de historicus.

2.2 RESULTATEN

In de rapportage van Alterra zijn enkele aanwijzingen genoemd die mogelijk wijzen op een risico op piping. De onderliggende paragrafen beschrijven of citeren de belangrijkste onderwerpen die in de rapportage van het deelonderzoek “historisch onderzoek” zijn opgenomen.

Geologische onderbouwing van de ondergrond

De geologische geschiedenis vanaf de Romeinse tijd tot heden is uitgebreid toegelicht in de rapportage. Het ontstaan van de zandige windafzettingen (dekzand) en het bosveen, welke tevens met het geotechnisch onderzoek zijn aangetroffen, zijn verklaard. Dit is echter voor het hele gebied van toepassing. Hieruit volgt dus niet, waar in het onderzoeksgebied op basis van deze geologische kennis kan worden beoordeeld, wat risicovolle locaties zijn voor piping. Door met deze kennis als achtergrond het veld in te gaan en boringen uit te voeren, kan wel een stap voorwaarts worden gezet in het onderzoek naar piping.

De Bisschopswetering

Door de Bisschopswetering stond in het verleden de polder Mastenbroek in verbinding met de IJssel door middel van een sluisje. Na de overstroming bij Zalk in 1440 is de IJssel, die vóór de overstroming ten zuiden van Zalk stroomde, veranderd van baan en is noordelijk langs Zalk gaan stromen. Hierdoor is de oorspronkelijke verbinding tussen de Bisschopswetering en de IJssel niet meer in het veld zichtbaar. Vermoedelijk lag de oorspronkelijke wetering in het verlengde van de huidige Bisschopswetering. Aangezien de proeftuin van het geotechnisch onderzoek ook in het verlengde ligt, bestond de kans dat restanten van deze wetering aanwezig waren. Ondanks verwoede pogingen van de historicus zijn er geen concrete aanwijzingen gevonden in de oude documenten, die wijzen op de aanwezigheid van een voormalige (uitwaterings)sluis.

Ook restanten van een oude watergang in de ondergrond kunnen een risico vormen op piping door de antropogene invloeden in de ondergrond. Dergelijke restanten zijn niet terug gevonden tijdens het geotechnisch onderzoek, maar het geofysisch onderzoek heeft wel enkele mogelijke aanwijzingen opgeleverd (zie paragraaf 3.2.4 op pagina 10).

Grenzen tussen dijkrechten

Omstreeks 1390 werden het Sallands dijkrecht en het Mastenbroeker dijkrecht geïntegreerd. Bij Nieuwstad lag de grens. Stroomafwaarts van Nieuwstad gold het Mastenbroekse dijkrecht en stroomopwaarts het Sallands dijkrecht. De manier van dijkenbouwen verschilde nogal, zodat op het 'laspunt' waar de twee typen dijken samenkomen naar verwachting sprake is van een zwakke plek in de dijk omdat opbouw en de aard van het materiaal niet goed op elkaar aansluiten. Hierdoor is op deze plek een verhoogd risico op piping te verwachten.

De exacte locatie van het laspunt is niet voldoende aangegeven waardoor het niet mogelijk is om op dit risico te anticiperen. Indien dit wel het geval was, had aanvullend (veld)onderzoek uitgevoerd kunnen worden om een schatting te kunnen maken in de omvang van dit risico. Grenzen tussen dijkrechten kunnen naast piping tevens een risico zijn voor het faalmechanisme macrostabiliteit.

Dijkdoorbraken

In het verleden is de Veecaterdijk vermoedelijk zes keer doorgebroken. De locaties van deze dijkdoorbraken zijn niet genoemd in de rapportage van Alterra. Wel is deze informatie voor een deel terug te vinden in luchtfoto's, hoogtekarten en rapportages van vroegere dijkversterkingen. Historisch onderzoek versterkt wel het beeld omtrent piping risico's en daarom is de relevante informatie opgenomen in Bijlage 3 van deze rapportage.

Antropogene invloeden in de ondergrond

Eenvoudige technieken om dijken te restaureren of te versterken zijn in het verleden toegepast. Gedacht kan worden aan planken, palen en takkenbossen, wat vervolgens is afgedekt met grond. Deze restanten van dergelijke antropogene invloeden hebben invloed op de stabiliteit van een waterkering. In de deelrapportage worden geen specifieke locaties genoemd waar dit een risico vormt en geconcludeerd moet worden dat dit soort gedetailleerde historische informatie niet beschikbaar is.

Waarnemingen van zand meevoerende wellen

In de rapportage is vermeld dat er zand meevoerende wellen in het gebied zijn waargenomen. In de historische archieven was echter geen kaartmateriaal beschikbaar waarop de locatie van deze wellen nader werd aangeduid. Dit onderstreept het belang dat dergelijke zaken bij het waterschap na elk hoogwater goed worden gedocumenteerd in het hoogwaterslag.

2.3 CONCLUSIE

Binnen dit deelproject is onderzocht of uitgebreid historisch onderzoek zinvol is om risico's op piping in het gebied Mastenbroek te ontdekken. Het doel was om aan de hand van de fysisch geografische en/of antropogene ontwikkelingen specifieke pipinggevoelige locaties aan te kunnen wijzen en de oorzaak hiervan te kennen. Hiervoor is onder meer gezocht naar rivierduinen en restanten van (water)bouwkundige werken in de buurt van de waterkering. Ondanks de inspanningen van de historicus zijn er eigenlijk geen concrete aanwijzingen gevonden van deze aard. De ligging van de Bisschopswetering is namelijk vooral een sterk vermoeden ingegeven door de verkavelingsstructuur (blokken) in de rest van de polder Mastenbroek.

Er is uitgebreid onderzoek uitgevoerd naar de ontwikkelingen van de afgelopen 2000 jaar, waarin de natuur en met name de mens het gebied heeft gemaakt zoals het nu is. Op basis hiervan is het ontstaan van het gebied verklaard. De resultaten zijn echter niet locatie specifiek genoeg om aanwijzingen te vinden voor mogelijk pipinggevoelige locaties.

Op basis van de resultaten in deze verkenning wordt afgeraden om een uitgebreid historisch onderzoek te doen naar ontstaansgeschiedenis van een bedijkt gebied. En ook vooral samenwerking te zoeken met historici die gericht zijn op het resultaat voor de waterveiligheid en niet op het te weten komen van zoveel mogelijk historische feiten, die met de dijk minder te maken hebben.

Uiteraard zijn historische aanwijzingen wel van belang voor de sterkte van de dijk. Maar deze informatie is dikwijls ook terug te vinden in recente documenten zoals een dijkverbeteringsplan van enkele decennia oud of op <http://www.topotijdreis.nl/>. Een quickscan uitgevoerd door een archeoloog of erfgoed deskundige van een gespecialiseerd bureau volstaat daarvoor.

3

Geofysisch onderzoek – Medusa

3.1 PROJECTBESCHRIJVING

Medusa heeft door middel van grondradar en gammaspectrometrie de bodemlagen in het voorland en aan de binnenzijde van de waterkering in kaart gebracht (zie Bijlage 2). De doelstelling van dit deelonderzoek was “de overgangen tussen verschillende bodemlagen nauwkeuriger vast kunnen stellen en in het bijzonder de overgang van de cohesieve klei- en/of veenlaag naar de erosiegevoelige zandlaag en indien mogelijk de volgende overgang naar de goed doorlatende zandlaag.”

De aanwezigheid van klei met voldoende dikte in het voor- en achterland is van groot belang om het risico op piping te beheersen. Als er buitendijks klei in de bodem zit met voldoende dikte, dan vergroot dit de kwelweglengte en verkleint dus de kans op het ontstaan van piping. Ook de binnendijkse kleilaag is van belang omdat deze de weerstand biedt tegen opbarsten en de kwelweg verlengt.

Om de dikte van het kleipakket in de bodem te onderzoeken wordt normaliter in raaien met vaste afstand boringen geplaatst. Op deze boorlocaties geeft dit een accuraat beeld, maar de resolutie van deze boringen is beperkt (bijvoorbeeld hart op hart 50 m). Hierdoor is tussen de boor-raaien geen informatie bekend van de kleilaagdikte. Ook loodrecht op de dijk, vooral in binnendijkse richting, is vaak geen detailinformatie beschikbaar.

Om een gebiedsdekkend beeld te krijgen van de opbouw van de bodem aan de voet van de dijk, kunnen meettechnieken uit de geofysica worden gebruikt om de ruimtelijke variatie in kleilaagdikte in beeld te brengen. Het doel van de inzet van deze meettechnieken is als volgt.

- Verkleinen van onzekerheden in meetgegevens. Met behulp van deze meettechnieken kan een gebiedsdekkend beeld van de variatie in deklaagdikte worden verkregen. Hierdoor kunnen boringen gericht worden geplaatst en kan mogelijk met minder boringen worden volstaan. Door het complete beeld wordt de onzekerheid verkleind.
- Verlagen van kosten van onderzoek. De metingen worden al rijdend (met bijvoorbeeld een quad) uitgevoerd. Hierdoor kunnen relatief snel grote gebieden in kaart worden gebracht.
- Voorkomen van schade aan de dijk bij uitvoeren van onderzoek. De meettechnieken zijn non-destructief, wat betekent dat bij de meting fysiek geen gat in de waterkering gemaakt hoeft te worden (zoals bij een boring).
- In een eerdere studie is laten zien dat de dikte van de kleilaag in de bovenste 1,5 m nauwkeurig kan worden gemeten [lit. 2]. In deze pilotstudie is vooral gekeken of het ook praktisch kan worden uitgevoerd en wat de beste methode is voor analyse van de meetgegevens. Daarvoor zijn in aanvulling op de metingen met de geofysica boringen gezet.

3.2 RESULTATEN

Er is op drie locaties geofysisch onderzoek uitgevoerd: in het voorland, binnendijs ter plaatse van de proeftuin en aan de binnenteen op de vermoedelijke locatie van de opgevlude Bisschopswetering.

Het voorland is gemeten met behulp van een gammaspectrometer en grondradar. Aanvullend hierop zijn, ter plaatse van afwijkende resultaten, gericht handboringen geplaatst om grondlagen te karakteriseren en laagscheidingen te identificeren.

3.2.1 VOORLAND

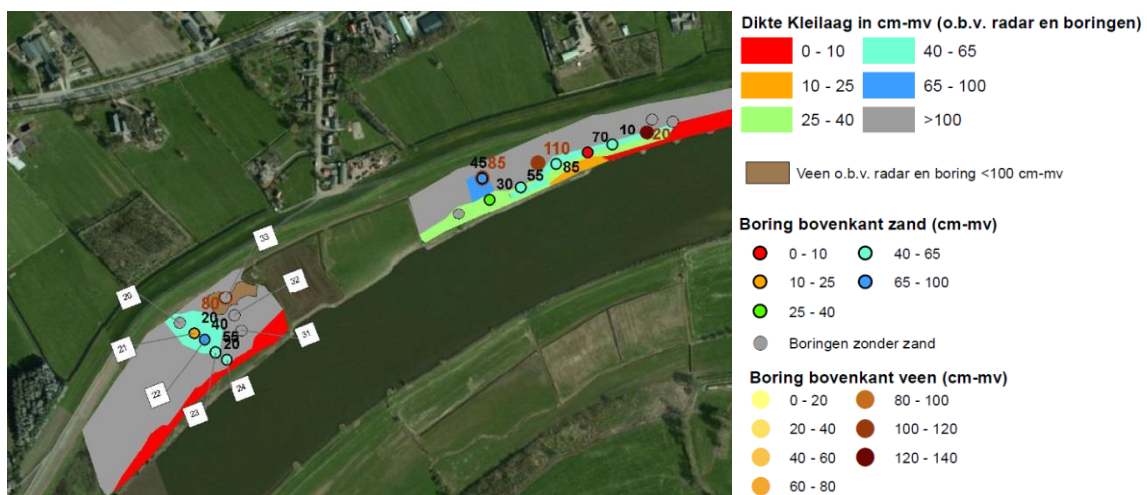
Figuur 3 geeft een deel van de resultaten weer van de metingen in het voorland. De cirkels geven locaties van de handboringen weer, de gekleurde vlakken zijn de resultaten van de metingen met grondradar en gammaspectrometer die gecorreleerd zijn met de handboringen. De oeverwal in het voorland aan de zijde van de IJssel is gekarteerd als een kleilaag van 0 – 10 cm dik.

3.2.2 OEVERWAL

De grijs gemarkeerde gebieden indiceren dat er voldoende intredeweerstand aanwezig is omdat een deklaag van minimaal 1 m dik is gemeten. Het maaiveld ter plaatse van de oeverwal is hoger en dus kan de kleiige laag (zavel / zandige klei of vette klei) van 0 tot 10 cm dik:

- een natuurlijke hoogte zijn waaronder zand maar ook nog klei met intredeweerstand aanwezig is of
- een dunne kleilaag zonder intredeweerstand op zand dat direct in verbinding staat met het watervoerend pakket.

Met deze techniek is dus niet direct duidelijk of er wel of niet voldoende intredeweerstand aanwezig is. Het plaatsen van extra boringen op deze oeverwal, is alsnog noodzakelijk om de aanwezig kwelweglengte in te schatten.



Figuur 3: Resultaten van de gammaspectra metingen in combinatie met de handboringen

3.2.3 PROEFTUIN

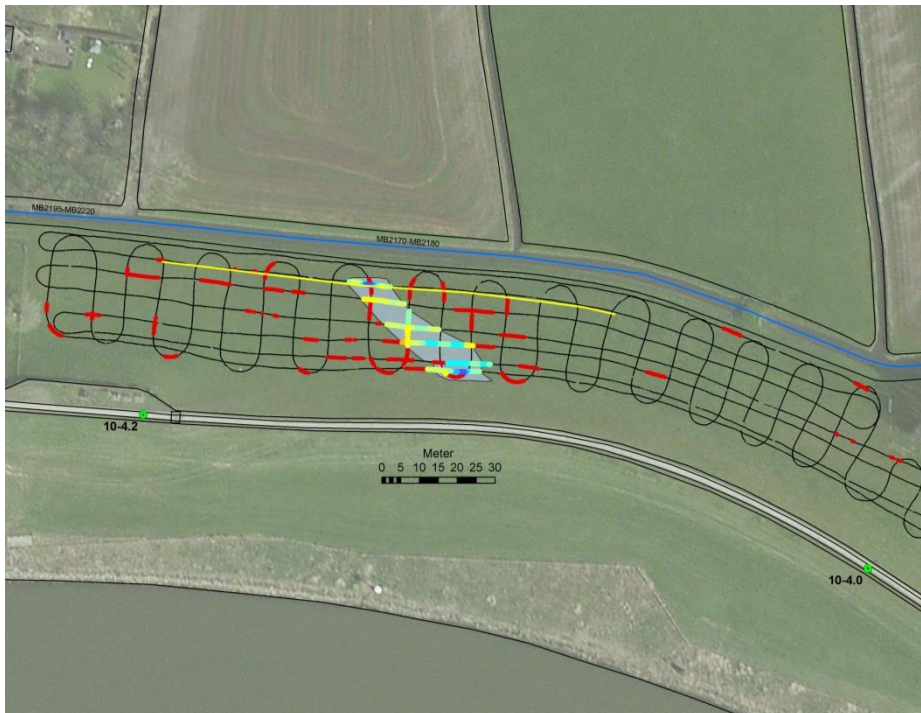
Er is tevens aan de binnenzijde van de waterkering gemeten ter plaatse van de proeftuin. In de proeftuin is met geotechnisch onderzoek geconstateerd dat de deklaag circa 2 m dik is. Deze deklaag bestaat voornamelijk uit een laag klei boven een laag veen. Een laagscheiding zou theoretisch meetbaar kunnen zijn, omdat de penetratiediepte van grondradar meerdere meters is (afhankelijk van de bodemopbouw). Helaas hebben de grondradar metingen alleen kunnen aantonen dat de kleilaag dikker is dan circa 1 m, vanwege het uitdoven van het signaal in de vette klei. Dit leidt niet tot de gewenste informatie, omdat de aanwezige deklaag duidelijk dikker is en dus minder snel zal opbarsten.

3.2.4 BISSCHOPSWETERING

Er zijn op basis van de inzichten uit het historisch onderzoek aanvullende metingen uitgevoerd. Er zijn verstoringen zichtbaar waar in het verleden de Bisschopswetering mogelijk heeft gelegen. Figuur 4 geeft de metingen weer ter plaatse van de binnentoe van de waterkering. De rode markering indiceert een verstoring in de ondergrond. Deze verstoringen lijken in de lijn te zijn met de huidige Bisschopswetering.

Er kan niet met zekerheid worden gesteld of dit daadwerkelijk de Bisschopswetering is, omdat:

- de metingen zijn uitgevoerd ter plaatse van de steunberm circa 1 m boven het maaiveld in het achterland, antropogene invloeden in de ondergrond zijn daarom te verwachten. Hierdoor is het niet op voorhand duidelijk wat de oorzaak is van anomalieën. Er kan zowel sprake zijn van recente als zeer oude vergravingen van de bodem;
- ter plaatse van de anomalie heeft in het verleden ook een kwelsloot gelegen, deze is zichtbaar op ontwerptekeningen van de vorige dijkversterking;
- tijdens het geotechnisch grondonderzoek zijn geen duidelijke aanwijzingen gevonden van antropogene invloeden in de ondergrond. Er is bijvoorbeeld geen puin of een oude sliblaag aangetroffen op een specifieke diepte in meerdere boorprofielen.



Figuur 4: De aangetroffen anomalieën in de binnenteen van de waterkering

- zwart = meetraaien
- rood = aangetroffen anomalieën in de ondergrond
- geel + blauw = opmerkelijke verstoringen in de ondergrond
- grijs = de mogelijke ligging van de Bisschopswetering

3.3 CONCLUSIE

De doelstelling van het deelonderzoek was “de overgangen tussen verschillende bodemlagen nauwkeuriger vast kunnen stellen en in het bijzonder de overgang van de cohesieve klei- en/of veenlaag naar de erosiegevoelige zandlaag”. Hierbij is het onderzoek vooral gericht op de dikte van de kleilaag in het voorland, omdat daar diktes in dit gebied naar verwachting maximaal 1,5 m zijn. Om de verschillende deelprojecten van de verkenning op elkaar aan te laten sluiten, zijn echter ook metingen uitgevoerd in het verlengende van de Bisschopswetering en ter plaatse van de proeftuin.

Uit de resultaten van deze pilot kan worden geconcludeerd dat metingen met een gammaspectrometer en grondradar een gebiedsdekkend beeld geeft over de bovenste grondlaag in het voorland. Deze bovenste laag is tot een diepte van 1 m nauwkeurig te bepalen met behulp van grondradar in combinatie met een gamma spectrometer. Door naast geofysisch onderzoek ook gericht boringen uit te voeren, is een methode ontwikkeld om de resultaten te vertalen naar gebiedsdekkende kaarten waarop de dikte van eerste grondlaag te zien is. Helemaal zonder boringen is het in kaart brengen van de laag met intredeweerstand niet mogelijk.

Nadeel van deze methode is dat bij een harde reflectie zoals bij een oeverwal niet diep genoeg wordt gekeken om de werkelijk aanwezige intredeweerstand vast te kunnen stellen. De aandacht wordt afgeleid door laagovergangen bovenin het profiel.

Ervaringen bij andere projecten van Medusa hebben geleerd dat met een combinatie van geofysische meettechnieken soms betere resultaten worden verkregen. Daarom worden combinaties aanbevolen, zoals weergegeven in Tabel 1. Een combinatie is echter niet een garantie voor een goed resultaat en de noodzaak van gerichte boringen wordt onderstreept.

bodemopbouw	referentie project	techniek 1	techniek 2
0,5 m klei op zand	Veecaten	grondradar	gammaspectrometer *
1 m klei op zand	Heerde (hoogwatergeul)	alleen grondradar (goed resultaat)	
1 m zand met kleilensjes	Cortenoever/Voorsterklei	grondradar (matig resultaat)	EM (met korte spoelafstand)
2 m klei en veen op zand	Veecaten	grondradar (matig resultaat)	EM (met gemiddelde spoelafstand)
> 3 m klei en/of veen op zand	Goudriaan (Alblasserwaard)	EM (bij voorkeur met verschillende spoelafstanden)	

Tabel 1: Geschikte combinaties van geofysisch onderzoek bij verschillende typen bodemopbouw

* = niet noodzakelijk voor bepaling laagdikte maar geeft informatie over samenstelling klei

Naast het feit dat geofysisch onderzoek niet altijd tot een goed resultaat komt kent de techniek de volgende specifieke beperkingen:

- er kan niet gemeten worden in natte gebieden;
- ter plaatse van sloten kan niet gemeten worden, dus daar zijn altijd enkele boringen nodig.

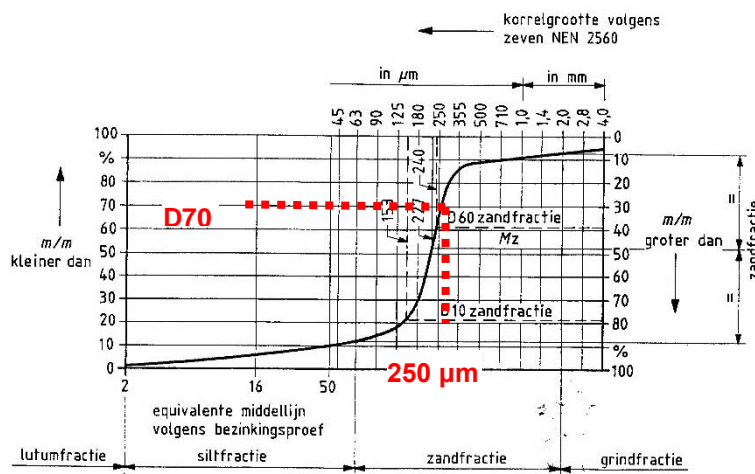
4

Geotechnisch onderzoek – ARCADIS

4.1 PROJECTBESCHRIJVING

Door ARCADIS is intensief grondonderzoek uitgevoerd naar (micro)variaties in korrelgrootte, deklaagdikte en doorlatendheid (zie Bijlage 3). De deeldoelstelling van dit onderzoek was "het vaststellen van de erosiegevoeligheid van de zandondergrond en ruimtelijke variatie in de erosiegevoeligheid." Daarnaast is de praktische toepasbaarheid van de Sellmeijer rekenregel 2011 in WTI-2017 onderzocht.

De d_{70} waarde van zand is de korrelgrootte in de korrelverdeling (zie Figuur 5) waarvan 70% kleiner is op basis van zeefproeven. De d_{70} waarde is een belangrijke parameter voor het bepalen van de weerstand tegen piping, volgens de rekenregel van Sellmeijer.



Figuur 5: Voorbeeld van korrelverdeling

Volgens de vigerende regel van Sellmeijer is er een verband tussen d_{70} en de benodigde kwelweglengte onder een dijk (hoe groter d_{70} , hoe kleiner de benodigde dijk). Daarmee bepaalt de keuze van een rekenwaarde voor d_{70} in grote mate de investeringskosten bij dijkversterkingen. Een beter inzicht in de ruimtelijke variatie van de d_{70} en het effect hiervan op de te kiezen rekenwaarde van d_{70} is dus van groot belang.

In de huidige adviespraktijk wordt er doorgaans gerekend met een conservatieve rekenwaarde van d_{70} , gebaseerd op metingen met een interval van 100 m of meer. Door meer inzicht te krijgen in de lokale d_{70} en de variabiliteit hierin, kan mogelijk met een minder conservatieve rekenwaarde voor d_{70} worden gerekend. Hierdoor zal de benodigde kwelweglengte (en dus investering) worden gereduceerd.

In juni 2014 is in samenwerking met Inpijn-Blokpoel grondonderzoek uitgevoerd in de "proeftuin" aan de binnenzijde van de waterkering. Er zijn 256 boringen gezet tot een diepte van 3,5 meter – maaiveld (m –mv). De boringen zijn uitgevoerd in een raster van 75x75 m, met een tussenliggende afstand van 5 m. Door de zeer hoge dichtheid is een zeer gedetailleerd beeld gecreëerd van de laagopbouw in de ondergrond.

Het zandpakket is aanwezig op een diepte van circa 2 m -mv. Dit zandpakket is afgedekt door een veenlaag en een kleilaag van beide circa 1 m dikte. Het zandpakket is gedurende de laatste ijstijd door de wind afgezet. De verwachting voorafgaand aan dit onderzoek was een fijn zandpakket met weinig variatie in korrelgrootte.

Volgens huidige inzichten is het zandpakket direct onder de slecht doorlatende deklaag het meest gevoelig voor het faalmechanisme piping. Bij bepaling van de bemonsteringstrategie is op deze inzichten ingespeeld. Het uitgangspunt was om het zand direct onder het veenpakket te bemonsteren. In het veld is echter een overgangslaag geconstateerd van enkele decimeters dik. Er is besloten om zowel de bruine overgangszandlaag als het onderliggende grijze zand te bemonsteren zodat later een goed onderbouwde keuze gemaakt kon worden.

Er is gekozen om het grijze zand van alle 256 boringen te zeven en de d_{70} waarde te bepalen. De bruine overgangslaag is afkomstig van dezelfde geologische afzetting maar bevat ingespoelde kleine bruine deeltjes van het bovenliggende veen. Daarnaast was het niet altijd mogelijk het bruine zand, door de beperkte laagdikte, te bemonsteren.

Diverse analyses zijn uitgevoerd om inzicht te creëren in (ruimtelijke) variaties in korrelgrootte en deklaagdikte. Beide parameters hebben grote invloed op de resultaten van piping berekeningen.

4.2 RESULTATEN

De geotechnische informatie die is verkregen tijdens het grond- en laboratoriumonderzoek is uitvoerig geanalyseerd. Deze paragraaf somt de belangrijkste resultaten van deze analyses op. De gevoeligheid van de Sellmeijer formule uit 2011 is voor drie verschillende parameters bepaald: de deklaagdikte, variatie in korrelgrootte en variatie in doorlatendheid.

Deklaagdikte

De deklaagdikte binnen de proeftuin bevat zeer weinig variatie. De variatiecoëfficiënt is bepaald en is slechts 0,11. De karakteristieke dikte is bepaald volgens ORZW en is 1,8 m. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 2.

gemiddelde [m]	minimum [m]	maximum [m]	aantal [-]	variatie [-]	karakteristiek * [m]
2,0	1,0	2,5	256	0,11	1,8

Tabel 2: Statistische karakterisering dikte deklaag van klei en veen

* = op basis van formule 1.27 van ORZW [lit. 4]

Korrelgrootte

De variatie in korrelgrootte is tevens bepaald. Hiervoor zijn de d_{70} -waarden uit de zeefproeven gebruikt. Tabel 3 geeft de statistische karakterisering weer van zandgrofheid. De variatiecoëfficiënt is met een waarde van 0,09 zeer klein. Daarnaast is de karakteristieke d_{70} -waarde 187 μm , wat wordt geclassificeerd als matig fijn zand. Dit komt overeen met de verwachtingen voor eolisch dekzand.

gemiddelde [μm]	minimum [μm]	maximum [μm]	aantal [-]	variatie [-]	karakteristiek * [μm]
203	153	257	254	0,09	187

Tabel 3: Statistische karakterisering zandgrofheid grijs zand voor Sellmeijer berekening

* = op basis van formule 1.27 van ORZW [lit. 4]

Er is tevens een representatieve d_{70} -waarde bepaald door middel van de "zwakste pad methode". Dit is de d_{70} waarde in een denkbeeldig pad onder de dijk waarin de ruimtelijke distributie is meegenomen [lit. 1]. Deze waarde is 216 μm en is dus hoger dan de karakteristieke waarde. Als de zwakste pad waarde als rekenwaarde zou worden toegepast, resulteert dit in een kleinere benodigde kwelweglengte.

Doorlatendheid

De derde variabele invoerwaarde voor de Sellmeijer berekeningen is de doorlatendheid. De doorlatendheid is voor alle zandmonsters bepaald met de empirische formule van Den Rooyen. Ondanks dat inmiddels bekend is (uit andere POV verkenningen) dat deze formule beperkingen heeft, wordt wel een indruk verkregen van de bandbreedte van doorlatendheid als functie van de variatie in zandgrofheid. Tabel 4 geeft de statistische karakterisering weer van de doorlatendheid. De variatiecoëfficiënt is met een waarde van 0,3 hoog.

gemiddelde [m/dag]	minimum [m/dag]	maximum [m/dag]	aantal [-]	variatie [-]	karakteristiek * [m/dag]
7	5	23	256	0,3	6

Tabel 4: Statistische karakterisering grijs zand op basis van formule van Den Rooyen

* = op basis van formule 1.27 van ORZW [lit. 4]

Gevoeligheid piping berekeningen

De gevoeligheid van de Sellmeijer formule is bepaald door de korrelgrootte, deklaagdikte en doorlatendheid te variëren. Overige invoerwaarden voor de Sellmeijer formule, zoals waterpeilen en de beschikbare kwelweglengte, zijn als vaste waarden beschouwd. Tabel 5 geeft de resultaten van de berekeningen weer, waarin het resultaat is vertaald in een benodigde kwelweglengte (L benodigd).

De stroming van kwelwater in de ondergrond wordt beïnvloed door de aanwezige gelaagdheid. Met een tweedimensionale grondwaterstromingsberekening kan dit in beeld worden gebracht, maar dit hoort niet bij het doel van deze verkenning. Ook bestaan er tweelaags pipingmodellen, maar die zijn niet voor deze verkenning beschikbaar. Om het nut en de noodzaak van dit type berekeningen kracht bij te zetten, is het effect van een lage kD waarde van 100 m^2/dag beoordeeld. In theorie is deze waarde mogelijk maar in de praktijk is de waarde hoger. Het theoretische effect van een andere kD waarde op de benodigde kwelweg is groot (factor 2).

situatie	L aanwezig [m]	d_{70} [μ m]	d [m]	kD [m ² /dag]	creepfactor [-]	H [m]	L benodigd [m]
laag gemiddelde d_{70} (regionaal)	90	187	2,0	925	40,9	3,8	130,8
karakteristieke d_{70} (lokaal)	90	172	2,0	925	42,2	3,8	135,1
laag gemiddelde d_{70} (regionaal)	90	187	1,6	925	41,0	3,8	136,3
karakteristieke d_{70} (lokaal)	90	172	1,6	925	42,4	3,8	140,7
laag gemiddelde d_{70} (regionaal)	90	187	2,0	100	20,2	3,8	64,6
karakteristieke d_{70} (lokaal)	90	172	2,0	100	20,8	3,8	66,7

Tabel 5: Toetsing met Sellmeijer 2011 en maatgevende waterstand conform HR2006

L aanwezig	=	aanwezige kwelweglengte
d_{70}	=	korrelgrootte
d	=	deklaagdikte
kD	=	transmissiviteit watervoerend pakket
creepfactor	=	benodigde kwelweglengte gedeeld door het te keren waterstandsverschil
H	=	te keren waterstandsverschil
L benodigd	=	benodigde kwelweglengte voor voldoende veiligheid tegen piping

De aangetroffen variaties in korrelgrootte en deklaagdikte geven een relatief klein verschil in benodigde kwelweg. Dit wordt veroorzaakt door het homogene karakter van de hier gevonden ondiepe ondergrond. Het sterke doorlatendheidscontrast in het watervoerend pakket is echter aantoonbaar aanwezig en moet op andere plaatsen in Nederland ook worden verwacht. Van de Randmeerdijk bij Elburg is bekend dat ook daar uniform Bostel zand op Kreftenheye zand ligt. Daarom wordt aanbevolen de ontwikkeling van een praktisch toepasbaar meerlaags pipingmodel te bevorderen.

Het totale watervoerend pakket is circa 24 m dik maar bestaat uit twee zeer verschillende zandlagen, namelijk 4 m Formatie van Bostel ($k = 6$ m/dag) en 20 m Formatie van Kreftenheye ($k = 45$ m/dag).

De creepfactor van ongeveer 40 bij een kD waarde van 925 m²/dag is in vergelijking met de afgelopen decennia aangehouden waarden van 15 à 18 aan de hoge kant. De gevoeligheidsberekening met een kD waarde van 100 m²/dag geeft wel een creepfactor die aansluit bij de adviespraktijk van de afgelopen decennia. Het grote verschil roept vragen op zoals:

- is het rekenresultaat mogelijk te gevoelig voor de keuzes die bij schematisatie worden gemaakt;
- is de benodigde hoeveelheid gedetailleerde gegevens nog wel praktisch.

4.3 CONCLUSIE

De deeldoelstelling van het geotechnisch onderzoek binnen deze pilot was "het vaststellen van de erosiegevoeligheid van de zandondergrond en ruimtelijke variatie in de erosiegevoeligheid." Op basis van het uitgebreide geotechnisch onderzoek en analyses zijn de volgende conclusies getrokken.

Deklaagdikte en d_{70}

De (ruimtelijke) variatie is voor de deklaagdikte en korrelgrootte onderzocht door zeer gedetailleerd grondonderzoek uit te voeren. De hypothese was dat er weinig variatie in de ondergrond aanwezig zou zijn, wetende dat er ter plaatse van de proeftuin eolisch dekzand in de ondergrond aanwezig is. De variatiecoëfficiënt in deklaagdikte en d_{70} zijn respectievelijk 0,11 en 0,09, waarmee de hypothese kan worden bevestigd. Dit vertaalt zich in beperkte onzekerheid in het schematiseren van deze parameters. Het WTI-SOS bevestigt dit onafhankelijk van de resultaten van het deelonderzoek in de proeftuin.

Doorlatendheid is nieuw schematiseringsprobleem

Geconcludeerd wordt dat de geschiktheid van de rekenregel van Sellmeijer 2011 zeer sterk afhangt van de mate waarin een betrouwbare schematisatie kan worden opgesteld. Ondanks het tamelijk uniforme beeld in d_{70} waarde en deklaagdikte, blijft schematisatie een heikel punt. Het gelaagde watervoerend pakket kan namelijk niet op een praktische wijze meegenomen worden in de rekenregel van Sellmeijer.

Als voorbeeld kunnen de resultaten van de Sellmeijer berekeningen (Tabel 5) worden gebruikt om de onzekerheid met bijhorende gevoeligheid aan te tonen. De gevonden variatie in Creep-factor als gevolg van variaties in d_{70} is factor 1,05. De variatie in Creep-factor als gevolg van verschillende kD -waarden is met factor 2,0 vele malen groter.

Er resteert een belangrijk heterogeniteitsvraagstuk, namelijk: "Hoe kan de dikte van het watervoerend pakket eenvoudig worden geschematiseerd gegeven een scherp contrast in doorlatendheid van twee lagen". Een dergelijk verschil komt vaak voor en het is niet doelmatig om voor elke situatie opnieuw grondwaterstromingsberekeningen te maken met een eindige elementen model (bijvoorbeeld DgFlow).

De realiteit is dat, door te schematiseren met veilige karakteristieke waarden zoals is voorgeschreven, waterschappen een twee keer zo brede dijk moeten gaan beheren dan voorheen het geval was. De verhouding tussen benodigde nauwkeurigheid in parameter bepaling en dagelijkse praktijk lijkt hierdoor niet juist. En voor "het gemiddelde waterschap" met een normale hoeveelheid gegevens is de rekenregel daarom niet goed bruikbaar.

5

Synthese en aanbevelingen

In deze pilot heeft het verbinden van drie verschillende onderzoekstechnieken centraal gestaan. Door vanuit drie verschillende perspectieven naar dezelfde problematiek te kijken was de verwachting om verbanden te kunnen leggen tussen de resultaten van de drie onderzoeken. Dit hoofdstuk beschrijft waarin de drie onderzoeken elkaar versterken en tevens de beperkingen die in dit onderzoek naar voren zijn gekomen.

Hoe kunnen onderzoeken elkaar versterken

Kennis over de geologische en culturele ontwikkelingen in een gebied kan versterking bieden in het implementeren van geotechnische gegevens en de hierbij horende onzekerheden en materiaaleigenschappen. Een enthousiaste historicus kan de veelal nuchtere geotechnicus "breder" doen denken. Kennis over een gebied en het ontstaan ervan kan soms meer toevoegen dan een extra boring of sondering. Ook het gezamenlijk bestuderen van opgeboord materiaal in het veld versterkt het beeld van de ondergrond. Dit is tijdens een gezamenlijke veldwerkdag in februari 2015 naar voren gekomen. Door vanuit verschillende invalshoeken te kijken naar veen, humeuze bandjes en de bruine inspoelingslaag in het dekzand (zoals weergegeven op de kaft van het rapport), tekent zich een beeld van het ontstaan van de bodem af.

Om duidelijkheid te verschaffen op de risico's op piping, is gebiedsdekkende informatie nodig over de dikte van de afdekkende kleilaag, kwaliteit van de kleilaag en de ligging van de zandlagen in de ondergrond. Het onderzoek aan de buitenzijde van de dijk heeft laten zien hoe met behulp van geofysica een kaart met homogene vakken is te maken waarop de minimale dikte van de bovenste kleilaag zichtbaar is. In het project is de aanpak voor het werk ontwikkeld. Deze complete kaart verkleint de onzekerheid in de gegevens die gebruikt worden voor pipingberekeningen. De metingen worden al rijdend (met bijvoorbeeld een quad) uitgevoerd. Hierdoor kunnen relatief snel grote gebieden in kaart worden gebracht. De geofysische metingen en andere kaartinformatie maken het mogelijk dat er minder boringen nodig zijn, de boringen veel gericht geplaatst kunnen worden en dat er geen kleinere bodemstructuren "over het hoofd worden gezien". Boringen blijven wel noodzakelijk, maar kunnen efficiënter worden ingezet.

Beperkingen

Er zijn geen historische aanwijzingen geleverd waarvan de exacte locatie daadwerkelijk bekend is met uitzondering van de aanwijzingen op bijvoorbeeld de oude topografische kaarten. De meerwaarde van een uitgebreid historisch onderzoek ten opzichte van een beperkt onderzoek door een erfgoed deskundige kon niet worden aangetoond.

De grondradar is beperkt in de diepte waarin het kan meten. Hierdoor is het niet mogelijk om de intredeweerstand over de gehele breedte van het voorland goed in te kunnen schatten. Ter plaatse van de oeverwallen is door de verhoging in het maaiveld niet mogelijk om aan te tonen dat de deklaag tot aan de

rivier doorloopt. Hiervoor is een boring nodig op de oeverwal tot enkele meters diepte. Tevens is het met grondradar niet mogelijk geweest om verbanden te leggen met resultaten van het geotechnische onderzoek aan de binnenzijde van de dijk.

Samenwerken aan geotechnische problemen

De geotechnisch adviseur met verstand van het faalmechanisme piping kan alleen een goed onderbouwd advies geven over de risico's op piping als hij voorzien wordt van zo compleet mogelijke dataset met bodeminformatie. De basis hiervoor bestaat uit ruimtelijke informatie over de bodemopbouw zowel in de verticale als in de horizontale richting en de grondmechanische eigenschappen van de bodemlagen. Door alle gegevens te combineren worden de beperkingen van de individuele informatiebronnen geëlimineerd.

Een goede samenwerking tussen de informatie leveranciers en de informatie analisten is belangrijk om tot een goed onderbouwd advies te komen. Door de geofysica, boorgegevens en geotechniek goed op elkaar af te stemmen kan tot een beter resultaat leiden om de risico's op piping in kaart te brengen. Dit geldt in dit specifieke geval voor het voorland waar afdekkende kleilaag dunner is dan in het achterland. Andere geofysische meettechnieken zoals EM kunnen het verticale component nauwkeuriger meten. Afhankelijk van de bodemopbouw betekent dit dat op sommige complexe locaties meer boringen en geotechnisch onderzoek noodzakelijk is en minder geofysica, en op andere locaties de geofysica kan leiden tot minder boringen en minder geotechnisch onderzoek.

Samenhang met andere POV projecten

De samenhang met andere POV's met accent op d_{70} en kD waarde is nodig om volledig inzicht te krijgen in het schematiseringsvraagstuk en de praktische toepasbaarheid van rekenregel van Sellmeijer 2011 naar een acceptabel niveau te krijgen. Mede in dat kader wordt aanbevolen om de ontwikkeling van een praktisch toepasbaar meerlaags pipingmodel te bevorderen.

6

Literatuur

nummer	bron
1	Kanning, W. (2012). <i>The Weakest Link, Spatial Variability in the Piping Failure Mechanism of Dikes</i> , Delft University of Technology, the Netherlands, ISBN 978-94-6186-088-0.
2	Koomans, R.L. (Medusa), 2014. Nauwkeurigheid van grondradar bij onderzoek naar Piping. rapport 2013-P-458 Pilot Dijkenonderzoek

Bijlage 1

Deelrapport "Historisch onderzoek – Alterra"

Risico van piping, Historische informatie over het dijktracé IJssel ter hoogte van Polder Mastenbroek

Verkenning van historische gebeurtenissen die gevolgen kunnen hebben voor de opbouw van de dijk langs de IJssel ter hoogte van de polder Mastenbroek. Een bijdrage aan de methode voor het lokaliseren van risico's van piping.

A. Corporaal
A.H.F. Stortelder

Alterra-Wageningen, 2014

Risico van piping

Historische informatie over het dijktracé IJssel ter hoogte van Polder Mastenbroek

Verkenning van historische gebeurtenissen die gevolgen kunnen hebben voor de opbouw van de dijk langs de IJssel ter hoogte van de polder Mastenbroek. Een bijdrage aan de methode voor het lokaliseren van risico's van piping.

A. Corporaal

A.H.F. Stortelder

Risico van piping

Historische informatie over het dijktracé IJssel ter hoogte van Polder Mastenbroek

Verkenning van historische gebeurtenissen die gevolgen kunnen hebben voor de opbouw van de dijk langs de IJssel ter hoogte van de polder Mastenbroek. Een bijdrage aan de methode om risico van piping te lokaliseren.

A. Corporaal

A.H.F. Stortelder

Alterra-rapport; Alterra-Wageningen, 2014.
80 blz., 10 fig., 8krt., 10 foto's; 80 ref.

REFERAAT

Landelijk wordt er veel onderzoek gedaan naar de veiligheid van dijken ter voorkoming van overstromingen. Uit historische bronnen weten we dat dijkdoorbraken mede veroorzaakt kunnen worden door dijklekkage, ook wel piping genoemd. Water met een sterk eroderende kracht stroomt dan onder een dijk door. Dit kan uiteindelijk een gat in de dijk te veroorzaken. Risico's op piping zijn onderzocht voor een gedeelte van de Veecaterdijk tussen Zwolle en IJsselmuiden, ten Noorden van de IJssel, aan de kant van de Polder Mastenbroek. Op basis van dit onderzoek is de conclusie gerechtvaardigd dat hier een gereede kans op piping aanwezig is. In combinatie met onderzoek naar de gelaagdheid van de bodem in de directe omgeving van de dijk door middel van een grondradar en het bepalen van de korrelgroottesamenstelling ter plekke kan het risico op piping beoordeeld worden. De combinatie van deze drie invalshoeken is een nieuwe methode van pipingonderzoek: de HKG-methode (historie-korrelgrootte-gelaagdheid).

Trefwoorden: IJsseldijk, Mastenbroek, piping, historisch onderzoek, HKG-methode.

ISSN-.....

Dit rapport kunt u bestellen door euro..... over te maken op banknummer..... Ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-Document..... Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

c 2014 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen, Nederland

Telefoon (0317) 474700; fax (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Corporaal, A en A.H.F. Stortelder, 2014. Historische informatie dijktracé IJssel ter hoogte van Mastenbroek. Alterra-rapport.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder uitdrukkelijke voorafgaande schriftelijk toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf

Samenvatting

1. Inleiding
2. De context van de dijkenbouw langs de IJssel
 - 2.1 De fysieke context
 - 2.2 De maatschappelijke context
- 3 Dijkhistorie en dijklekkage (piping)
- 4 Overige bronnen
 - 4.1 Het kleidek in Mastenbroek
 - 4.2 Algemene Hoogte Kaart Nederland
 - 4.3 Vroege bewoning Genemuiden
 - 4.4 Rond patroon
 - 4.5 Roodachtige zone
 - 4.6 De IJssel verlegt zich
 - 4.7 Zand in de rivier in plaats van klei
 - 4.8 Stadia en ontwikkeling
- 5 Literatuur
- 6 Bijlagen: Leesaantekeningen

Woord vooraf

De veiligheid van dijken speelt al sinds er sprake is van dijken. Langs de IJssel geldt dat al vanaf 1170, hoewel officieel meestal het moment van de Sallandse Dijkbrief in 1308 aangehouden wordt voor de dijken in Overijssel en ruim 60 jaar later voor de dijken die in Gelderland langs de IJssel liggen. We staan voortdurend voor de opgave om de dijken zo veilig mogelijk te houden, maar het is de vraag hoe dat te definiëren. In dit onderzoek hebben we gekeken naar de historie van het dijktraject van Veecaten. Dit leidde tot enkele locaties waar een mogelijk risico aanwezig is van dijklekage (piping). Onderzoek aan de dijkopbouw (gelaagdheid) en de structuur van het zand- en het kleimateriaal moet vervolgens uitwijzen hoe groot de werkelijke risico's van dijklekage zijn, zodat de dijkbeheerder (het waterschap), stappen kan ondernemen om op de zwakke plekken het risico van piping te minimaliseren.

De opgave in dit onderzoek was om de historie van deze regio te achterhalen, in het bijzonder in relatie tot het waterbeheer. We hebben het tijdvak vanaf de Romeinse tijd tot nu toe onder de loep genomen, waarbij bronnen geraadpleegd zijn die voor de gebiedsontwikkeling relevant geacht worden, voor een goed begrip van de fysieke en maatschappelijke context van de dijkgeschiedenis.

De auteurs Albert Corporaal en Anton Stortelder.

Samenvatting

In het kader van de toetsing van alle Nederlandse dijkvakken wordt gezocht naar methoden om te kunnen aangeven bij welke dijkgedeelten er zogenaamde piping-risico's aanwezig zijn. Piping is het verschijnsel dat in het dijklichaam een waterstroom optreedt ten gevolge van grote waterdrukverschillen ter weerszijden van een waterkerende zee- of rivierdijk: water gaat dan vanuit de hoog-water-zijde toestromen naar de laag-water-zijde van die dijk. Indien die stroming optreedt, kan dat leiden tot verder dijkverval, dijkval en uiteindelijk doorbraak en overstroming. Piping treedt in het begin meestal op als een lokale opborreling van (grond-)water, een zogenaamde wel, meestal met zichtbare water- en zandverplaatsing.

Indien dijkvakken met piping-risico's vroegtijdig herkend worden, kunnen preventieve maatregelen getroffen worden. Piping kan veroorzaakt worden door bodemkundige afwijkingen als gevolg van één of meer historische redenen, bijvoorbeeld doordat de oorspronkelijke dijk op een afwijkende bodemlaag opgeworpen is. Wellicht is er ooit een achterhaald waterwerk in het dijklichaam gekomen of is er ooit een afwijkende versterking, waterkering, bouwsel of (dijk-)bewoning in de dijk gemaakt. Daarom is voor genoemd dijkvak een verkenning uitgevoerd naar alle denkbare bronnen in overlevering en of literatuur waarin dit tracé aan de orde is en waaruit risico van piping zou kunnen voortvloeien.

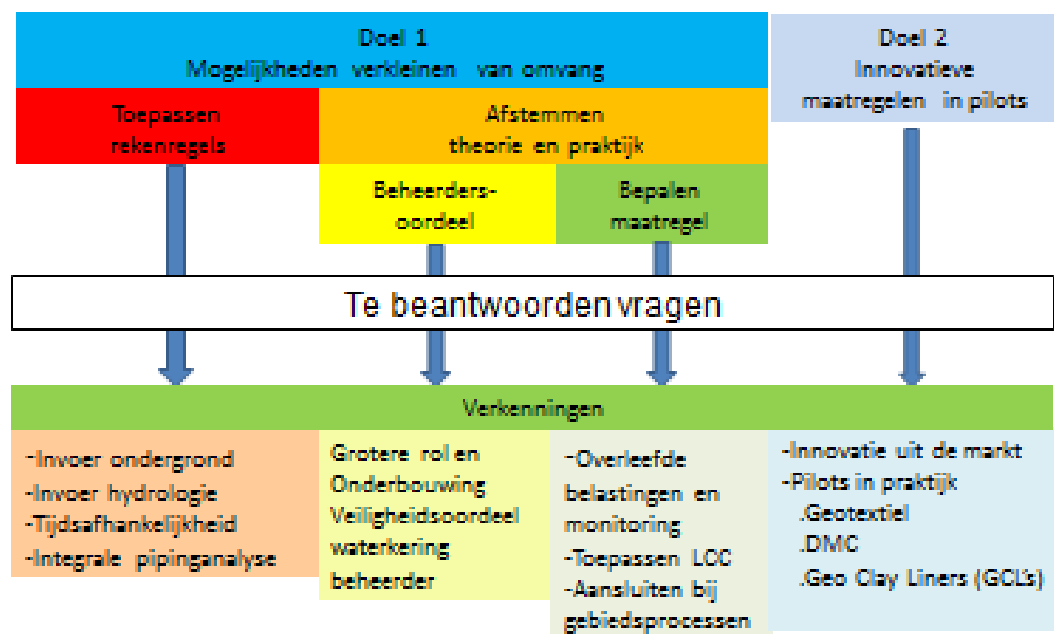
Additioneel aan de historische verkenning is voor twee onderdelen van dit dijkvak onderzoek uitgevoerd naar de gelaagdheid van de bodem (met een grondradar) en naar de korrelgrootteverdeling en -patronen in de bodem (korrelgrootte-onderzoek). Gezamenlijk vormt het historische & gelaagdheids- & korrelgrootte-onderzoek (kortweg HGK-onderzoek) de basis voor een nieuwe methodiek om piping-risico's van dijken te traceren.

Vanaf medio 900 is de IJssel een Rijntak geweest, een onbedijkte rivier tot aan 1170. De rivier is van het 845 jarige bestaan maar liefst 330 jaar onafgebroken verzand geweest. Tussen 1770 en 1923 was het rivierpeil aan sterke schommelingen onderhevig. Door de vijf doorbraken (1384, 1489, 1499, 1635 en 1770) weten we dat de "Veecaterdijk", toen al een bandijk, er slecht aan toe was. Dijken werden op de weggespoelde plaatsen provisorisch hersteld; daardoor bleven het zwakke plekken, met risico's van piping.

1. Inleiding

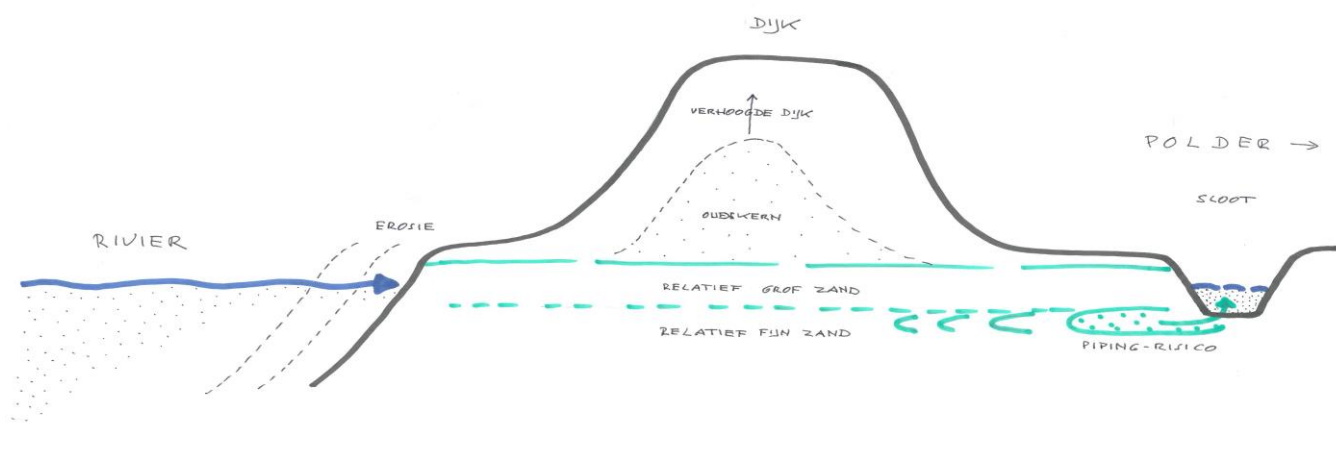
De veiligheid van de Nederlandse dijken wordt periodiek beoordeeld. De aangetroffen toestand kan leiden tot verbeteringswerken aan de dijk. Zo wordt in ons land, met duizenden kilometers rivier- en kustdijken, al eeuwen gewerkt. De verantwoordelijke waterbeheerders, Rijkswaterstaat en de waterschappen, doen dat al sinds 1200. Men zag in de ieder-voor-zich-benadering vaak haaks stond op de veiligheid, het algemeen belang. Dat is nog steeds zo, al is de techniek en regelgeving nogal anders dan destijds. De huidige verantwoordelijken voor de dijkveiligheid zijn er daarom alert op dat die veiligheid gewaarborgd blijft.

Fase1. Doelen, scope



Hoogwaterbeschermingsprogramma POV Piping

Figuur 1a. Het onderzoek naar de veiligheid van onze dijken omvat veel te beantwoorden vragen. Het onderzoek naar 'piping' is hiervan een onderdeel.



Figuur 1b. Dwarsdoorsnede van een dijk direct langs de rivier de IJssel. Door verlegging van de rivier wordt de dijkvoet aan de rivierzijde voortdurend geërodeerd. In de telkens weer opgehoogde winterdijk is een soort bodemgelaagdheid aanwezig van iets grover zand bovenop fijn zand. Bij grote waterstandsverschillen kan het fijnere zand verspoelen en kan er een watervoerende 'tunnel' ontstaan, een verschijnsel dat piping genoemd wordt. Door deze piping wordt de waterstroom door de dijk steeds sterker en kan een stuk dijk uiteindelijk helemaal wegspoelen.

2. De context van de dijken langs de IJssel

2.1 De fysieke context

De Sallandse dekzanden zijn uitgestoven uit het dal van de Oer-Rijn; de hieruit later gevormde zandruggen heten stuifzanden. In de directe omgeving van Zwolle heeft het oerdal de Vecht zand geleverd voor de hoogten bij Berkum. De zandondergrond van De Dieze, Ittersum-Assendorp en Assendorp-Zwolle(-Blalo) zijn gevormd uit het zuidelijke materiaal; ze worden ook wel 'luren' genoemd, zoals de eerste en tweede Lure en de Assendorperallure)¹.

Het IJsseldal werd in het Boreaal steeds natter en er ontstond een doorstroomveen. De vernatting zorgde ervoor dat de – toen nog kleine – IJssel in de Romeinse tijd buiten haar oevers trad, waarbij kleiafzetting plaatsvond. Die eerst-afgezette klei was zwaar en nabij de IJssel vooral kalkrijk; verderop was die klei kalkloos.

Op het veen op het grote dekzandplateau waarop nu de polder Mastenbroek ligt, is omstreeks de jaartelling bos gaan groeien, wat zich tot het einde van de zesde eeuw heeft voortgezet. Toen stierf het laatste stuk levend oerbos in dit gebied bij Zwolle. In het midden van de Middeleeuwen verdwenen de venen door ontwatering. Er lagen ook hoogvenen waar nu de polder De Koekoek ligt en richting Genemuiden. In de wijde omgeving lagen destijds meer hoogvenen, allemaal dekenhoogvenen met een veenmosheide begroeiing, zoals het Schokkerveen (oostelijk van Schokland), twee grote venen in de Kop van Overijssel en hoogvenen in het gebied van het huidige Staphorst. Onder al deze venen liggen de grote laagvenen en bosvenen die vanuit deze regio tot ver in het huidige West-Nederlandse kust gebied doorliepen. Deze venen werden doorsneden door tal van kleinere waterlopen die alle uiteindelijk noordwestwaarts liepen, zich in dit gebied onderweg verenigend in de voorloper van de huidige IJssel.

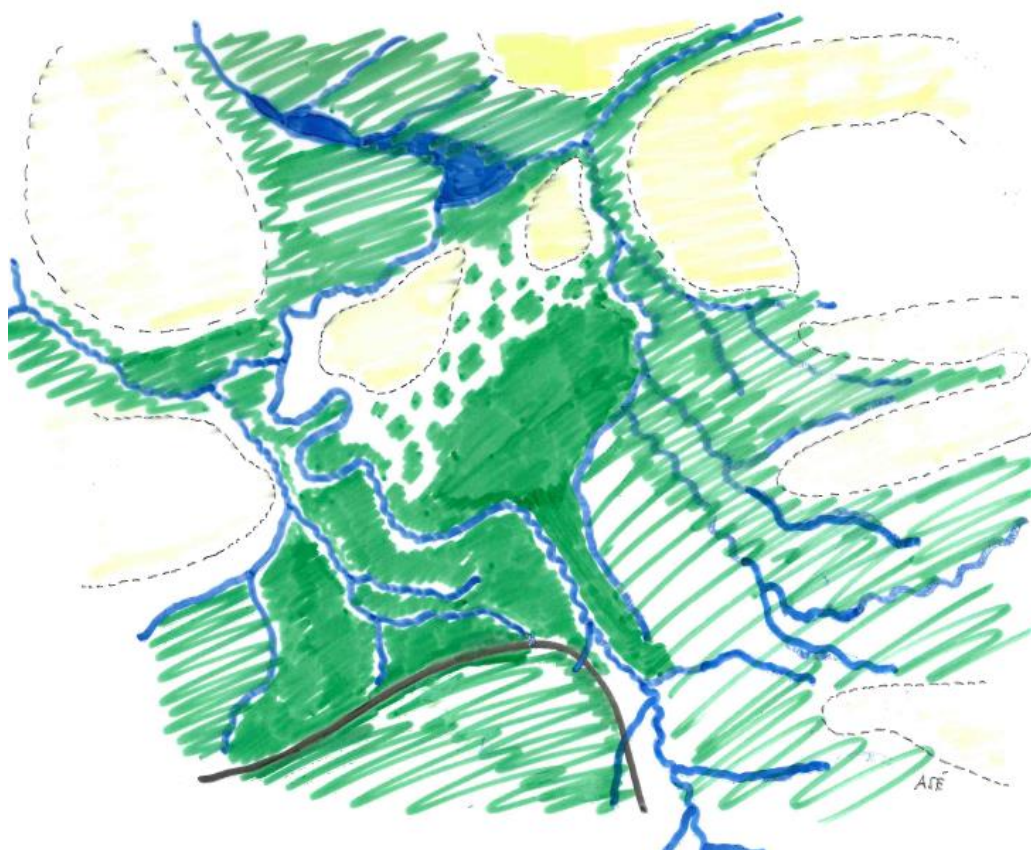
De IJssel was tot 600 een regionale rivier die alleen gevoed werd door waterlopen uit de Achterhoek en het aangrenzende Münsterland in Duitsland. Die beeklopen voerden het kleimateriaal mee dat vervolgens verplaatst werd naar de boorden en het achterland van de IJssel. Vanaf de tiende eeuw ontstaat de behoefte om het water stelselmatig over grasland te laten vloeien. Het water werd ook ingezet om er het nog aanwezige oerbos mee te verzuipen. In de tweede helft van de twaalfde eeuw (na 1150) worden aan de Overijsselse zijde al veel dijktracés gerealiseerd, terwijl het gereguleerde dijkonderhoud pas dateert van 1308.

2.2 De maatschappelijke context

Als de Romeinen aan het begin van de jaartelling in ons land komen, treffen ze er uitgestrekte bossen en stinkende moerassen aan waar de grens tussen land en water vaag is. Riviertjes stromen in moerassige meren en die meren lozen hun water via allerlei bochtige waterlopen uiteindelijk via riviertjes in de openingen in de westelijke strandwallen in de zee. De oorspronkelijke bevolking verkiest de natuurlijke hoogten om te wonen, nabij natuurlijke waterlopen.

DE ROMEINSE TIJD

¹ Lure = glooiing, opwelling (term die alleen in deze betekenis in Overijssel voorkomt (zie A.bakker, 1993).



Figuur 2. In de Romeinse tijd tot aan de Vroege Middeleeuwen werd dit landschap gedomineerd door 3 hoofdstructuren: uitgestrekte boslandschappen op hoge en lage gronden (a, groen) met daarin verscholen tal van grotere en kleine waterlopen (b, fijne arcering) en grote venen (c, grove arcering), merendeels kale, boomloze heidehoogveen waarin lage struikjes en veenmossen beeldbepalend zijn, geleidelijk overgaand in struweelrijke randen met berk, wilgen en gagel. Er liggen op hoogten (wit) kampementen en er zijn inmiddels kleine gemeenschappen met gesettelde boeren en vissers. Op strategische punten (geel) liggen uitkijkposten die later 'uitgroeien' tot woonheuvels en mottekastelen.

Een bestaan in de marge

De West-Overijsselse regio herbergt in die tijd vermoedelijk slechts enkele honderden bewoners die in kleine groepen semipermanent hun kampement hebben opgeslagen. Ze leven vooral van de jacht, natuurlijk visserij en de landbouw door zoveel mogelijk in te spelen op de het landschap. De kampementen krijgen een meer definitief beslag op de hoogten bij Zwolle, Brunnepe en Kampen, Grafhorst², Genemuiden, Barsbeek en in de omgeving van Meppel, Hasselt en het huidige Dalfsen. Op die plekken groeit dan nog het oerbos zoals we dat nu nog kennen van eendenkooien, met veel statige elzen, iepen en essen en met struiken als meidoorn, wegedoorn en sleedoorn. Eiken en grove dennen groeien alleen op de droogste plekken. Op en aan de randen van het veen leven ook mensen, die in kleine groepen met veenbrandcultuur de landbouwproductie op het hoger liggende veen in praktijk brengen.

² De naam Grafhorst moet vermoedelijk zijn Grashorst.

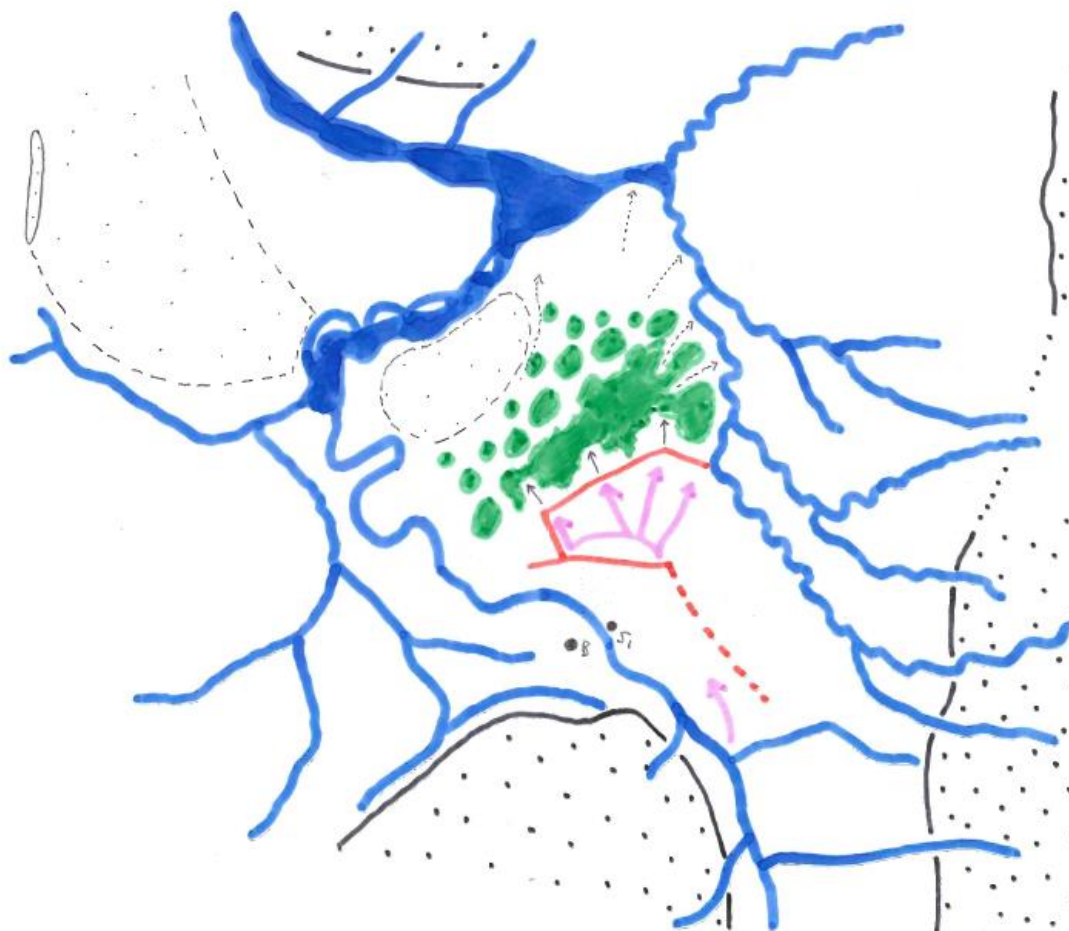
De natuur overheerst

Tot de fauna behoren dan nog tal van grote diersoorten zoals wilde runderen, elanden, wisenten, edelherten, beren en wolven. Onder de planten vallen de varens op en veel stammen en stronken zijn begroeid met mossen en korstmossen. De vogelstand is rijk aan bossoorten. Moerasland is er in overvloed, met rietlanden waarin roerdomp en purperreiger, rallen en eenden zich thuis voelen. Kraanvogels zijn er te over waar het bos niet al te dicht is. Onder de wintervogels zijn nog maar weinig ganzen en zwanen, omdat er weinig natuurlijk grasland is.

De veengebieden gaan verloren

Het veengebied in het hart van ons land, waar later de Zuiderzee ontstaat, begint aan het einde van de Romeinse tijd, steeds meer te eroderen als het klimaat kouder en natter wordt. Waterlopen en grote meren krijgen vat op de kustlijn. Het Flevomeer wordt groter en het Almere ontstaat; beide meren zijn voorlopers van de latere Zuiderzee. Het uitgestrekte Schokkerveen krimpt en er ontstaat oostelijk hiervan een ondiepe, modderige kustvlakte die lijkt op de Boddenkust³ van de westelijke Oostzee, een fraaie archipel van keileemopduikingen en landhoogtes.

MEROVINGISCHE FASE



³ Een Boddenkust lijkt op een Waddenkust, maar het getij ontbreekt; alleen bij stormen daalt of stijgt de waterspiegel.

Figuur 3. De periode tussen de Romeinse tijd en de eerste helft van de Middeleeuwen is de Merovingische Fase, waarin in het hart van ons land steeds meer vernatte veenlandschappen ontstaan waarin bewoners het steeds moeilijker krijgen. Het water van de riviertjes vloeit na lange omwegen naar de zeegaten. De IJssel wordt gevoed door het regionale water en is dan nog geen Rijntak. In de nabijheid van boerengemeenschappen worden op strategische plekken versterkte woonheuvels opgericht van waaruit het aanliggende land wordt ontgonnen.. Op de overgang van het IJsseldal naar de IJsseldelta vinden we een tweetal versterkingen, waarvan de motte van Van Voorst de belangrijkste is. Van hieruit wordt gebruikmakend van natuurlijke hoogten bij Zwolle (luren), en zandruggen langs de rivier de directe omgeving bij Zwolle bevoeid met rivierwater. Met stouw- en leidijkjes wordt het kleihoudende water het Voorsterbroek ingelaten zodat goede weidegrond ontstaat. Het huidige Zwarte Water is dan een soort watering (wetering) die voor lokale bevoeiing gebruikt wordt.

Op de modderige ondiepten verblijven 's winters grote aantallen watervogels en het hele jaar door jaagt de zeearend op vissen en vogels. Hier zijn ook altijd wel kadavers te vinden van verdronken dieren, waar raven en zwarte wouwen zich aan te goed doen. De oostkust van dit landschap gaat deels geleidelijk over in de moerassen van de 'Kop van Overijssel' maar kent ook steile overgangen van de klifkust bij de Voorst, met Paaslo en Steenwijk op de achtergrond. In die tijd fladdert daar de grote vuurvlieder rond in de moerassen die ongemerkt overgaan in tal van kleine riviertjes. Verspreid in het gebied vinden we resten van keileemopduikingen waar mensen gaan wonen. Denk aan het huidige Urk en Schokland, het Zwartewatersklooster en Hasselt.

LAAT-MEROVINGISCHE FASE/VROEGE MIDDELEEUWEN



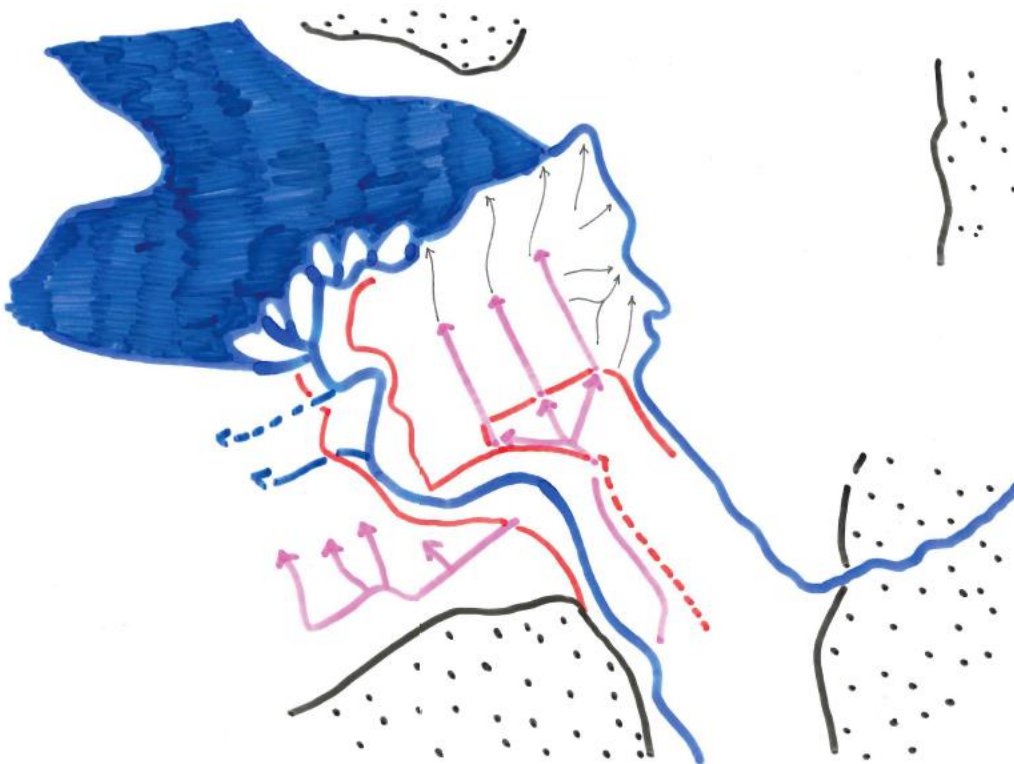
Figuur 4. De IJssel voert meer water aan, wat tot veel overlast leidt. Er zijn waterkerende kaden nodig die de natuurlijke hoogten verbinden. Tussen deze kaden en landinwaarts liggende hoogten vindt bevoeiingslandbouw plaats. De IJssel heeft inmiddels door erosie al behoorlijk huisgehouden in de relatief smalle ruimte tussen de Veluwe en de Zwolse luren. Het kasteel van Van Voorst is verplaatst naar een iets noordelijker en hoger gelegen stuk grond en te Werkeren is er een sterkte van waaruit men het Voorsterbroek optimaal kan bevoeien. Vermoedelijk steeds meer Sallands water wordt via de Aa noordwaarts afgevoerd waarbij de winterse kleivracht afneemt. Het Schokkerveen is nog vrijwel helemaal intact. Afkortingen: S=huidige Schokland, VO=Land van Vollenhove, VE=Veluwe, SA=Salland; Zs=Zwartsluis, G=Genemuiden, H=Hasselt, B=Brunnepe, K=Kampen (westelijk van de huidige IJssel), IJ=IJsselmuiden, Zw=Zwolle; I=Schokker(hoog)veen, II=Koekoeksveen, III=Hoogveenkernen in NW-Overijssel, IV=Olde Maten-hoogveen.

Met water het oerbos te lijf

De klei van het Vroegmiddeleeuwse Boddenlandschap komt zeer waarschijnlijk uit Münsterland, waar door ontbossing van hogere gebieden in de eerste helft van de Middeleeuwen een fossiel kustlandschap komt bloot te liggen. Door erosie komt de klei in het afstromende water terecht en uiteindelijk in een rivier die we nu de Overijsselse Vecht noemen. De klei wordt onderweg in brede, lage vlakten in moerasbossen afgezet. Het lijkt dat die overstromingen moedwillig tot stand zijn gebracht om de oerwouden te beteugelen en om te vormen naar weiland. Het teveel aan klei is er de oorzaak van dat veel oerbossen definitief aan hun einde komen.

Zo sterft er ook een omvangrijk bos af in het gebied wat we nu als Stadshagen bij Zwolle kennen en een oud moerasbos in een stuk Voorsterbroek dat nu Mastenbroek heet. De IJssel wordt tot in het begin van de Middeleeuwen via de Oude IJssel vanuit de Achterhoek gevoed met water dat afkomstig is van het hoge plateau in het huidige Münsterland. Wanneer er weer een verbinding met het Rijnsysteem ontstaat, ergens tussen 600 en 900 n. Chr., komt er nog meer water de West-Overijsselse moerasvlakte binnen. Bossen in de West-Overijsselse regio sterven definitief af door de vernatting en de vlakten krijgen een steeds weidser karakter waarin rietruigten overheersen op de vruchtbare kleilaag die afgezet is. Deze gebieden worden beweid en er wordt een goede boterham mee verdiend. De ridders in het kasteel De Stins te Westenholte varen er wel bij! Hun kasteel is wereldberoemd in een tijd dat de wereld natuurlijk kleiner is dan nu!

HOGE MIDDELEEUWEN



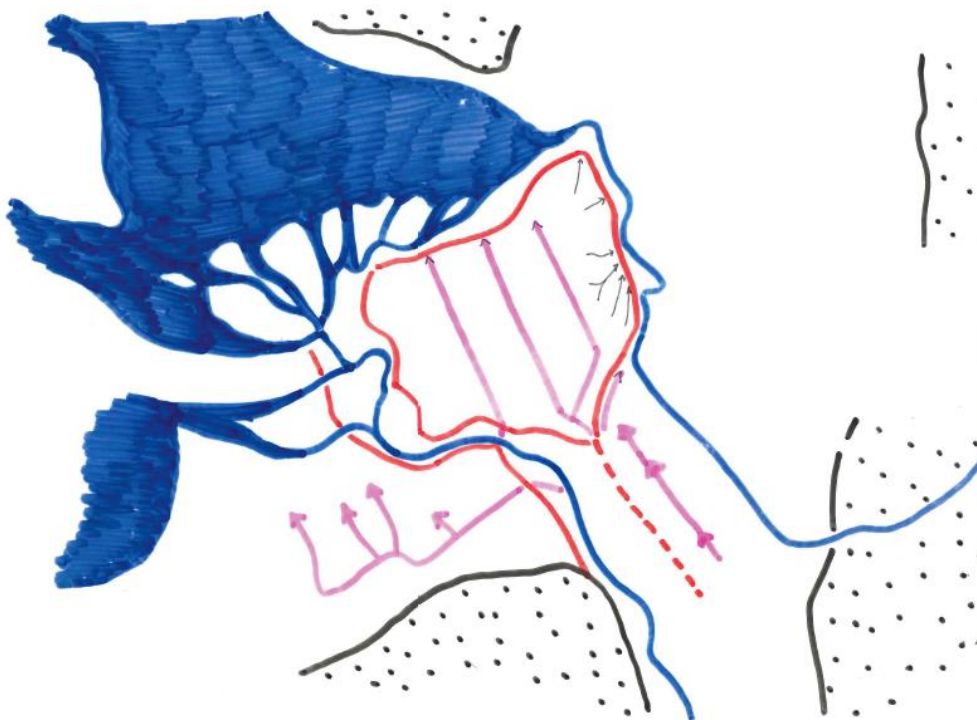
Figuur 6. Er is alom vernatting en gebieden verdrinken. Het Almere wordt groter en er ontstaat in korte tijd een Boddenkust oostelijk van het Schokkerveen. Mensen vluchten oost- en zuidwaarts. De oude loop van de IJssel "vliegt westelijk van Grafhorst uit de bocht" en daar wordt de basis gelegd voor een hele serie snel opwassende zandplaten. De IJssel voert relatief veel zand aan en de verschillende aftappunten komen onder grote druk te staan. Het Voorsterbroek krijgt veel water te verduren en kleine natuurlijke waterafvoeren slijpen zich in tot Drechten en Rieten. Hier en daar ontstaan doorbraakkolken.

De Zuiderzee wint

Het gebied westelijk van Vollenhove bestaat nog uit een nagenoeg aaneengesloten veengebied tot ver voorbij het huidige Urk. De bewoning is beperkt tot kleine gehuchten. De wateren en moerassen zijn de plekken waar zich rivierwater verzamelt van wat we nu de Vecht noemen, van de Sethe (Reest en Meppelerdiep) en van diverse beekjes van het keileemplateau van Vollenhove

Vanuit westelijke richting wordt al datzelfde moeras gevoed door water van een oude voorloper van de huidige IJssel, samen met het water van de zijbeken. De IJssel loopt net voorbij Kampen in oostelijke richting om uiteindelijk nog door delen van Friesland te lopen. Bij Brunnepe (wat "een plek waar bruin water stroomt" betekent) aan de overzijde van de IJssel neemt de invloed van de watertoevoer steeds meer af.

LATE MIDDELEEUWEN



Figuur 7. In de Late Middeleeuwen ontwikkelt de Zuiderzee zich tot een zee. Stormen hebben direct invloed, omdat de zeegaten naar het achterland verwijd zijn en de engte tussen Enkhuizen en Stavoren inmiddels geheel verdwenen is. De Kampereilanden worden door actieve en gerichte opslibbing (bevorderd door boeren-bewoners) allengs groter. Er zijn nog grote stukken veen in westelijke richting aanwezig. Het Voorsterbroek wordt omdijkt en de wateringen worden steeds geavanceerder. Het gehele gebied wordt ontgonnen en toebedeeld aan gezamenlijke investeerders, met de Utrechter bisschop voorop. Het waterverdeelpunt te Werkeren wordt woon- en werkplaats voor de afgezette ridder Van Voorst en zijn zonen. Met de Zwarte Waterdijk wordt al het water dat nu tussen de westelijke luren en de Westerveldse Aa stroomt, afgeleid naar de Aa. Kort daarop wordt dit water voor nautische en maritieme doeleinden vergroot tot het Zwarte Water (Zwolsche Diep). De noordoostelijke Drechten en Rieten groeien uit tot veenriviertjes met een meanderend karakter. Het "Kamperveen" wordt nog steeds op de ouderwetse manier met afgetapt IJsselwater bevoeid.

Baai met grindbanken

Door geleidelijke vernatting en de versterkte toevoer van water van riviertjes die ontspringen in hogere gebieden, begint het veenlandschap geërodeerd te raken. Er ontstaat er een baaiachtig gebied ten oosten van het huidige Schokland. Hierin kan de Vecht haar sediment blijven afzetten in de Genemuiden baai, met aan de oostzijde (volop in de wind) tal van zandige banken vol grind en fijn vuursteen uit de klifkusten. Na 1400 gaat dit veengebied tijdens een zware storm verloren en verdwijnen tal van gehuchten tussen Schokland en Vollenhove in zee. De bewoners vluchten naar Vollenhove, Kadoelen en de Krieger en naar de monding van de oude IJssel. Naar de gebieden die we nu als Afsched, Kamperzeedijk, Veneriete en Genemuiden kennen. Deze weggevluchte lieden blijven de Genemuiden baai uiteraard bevissen, want veel andere bestaansmiddelen zijn er niet....



Figuur 8. Kaart uit het 'dijkrechtenboek' uit 1633. Aangegeven zijn alle kaden en dijken die onder dit dijkrecht vielen. Zo zijn in Mastenbroek de vele kaden (vaak met wegen erop) aangegeven die ter weerszijden van de wetering liggen. De blokken die er tussen liggen stonden meestal iedere winter langdurig plas-dras of onder water. Op de kruisingen van wegen en weteringen kon men het waterpeil zodanig regelen dat ingelaten rivierwater gelijkmatig over de landerijen verdeeld werd.

Rivierdijken worden nodig

De IJssel neemt in kracht toe, zeker als ze verbonden raakt met de Rijn. Hierin heeft Drusus, veldheer van de Romeinen, met een door hem gegraven kanaal (Drususgracht),

zoals men tot voor kort beweerde, geen rol gespeeld. Deze 'Drususgracht' zou de voorloper zijn van de rivier de IJssel tussen Arnhem en Dieren, maar dat is inmiddels ontkracht.

De IJssel gaat meer zand aanvoeren, omdat men bovenstreams tot ver in Duitsland steeds meer bossen kapt. Waar het tot in de Hoge Middeleeuwen nog om water met slib ging dat men kon laten bezinken, neemt in de Late Middeleeuwen het risico op zandafzetting toe. Zo rond 1200 is de rivier eerder een last dan een zegen en pas na gezamenlijke inspanningen, waaraan de landheren en de bisschoppen van Utrecht met dijkbrieven krachtige impulsen geven, gaat het beter⁴. Het oude stelsel van kaden en leidijken maakt plaats voor meer moderne dijken. Westelijk van de IJssel, waar het veen naar Elburg uitwaaiert, heersen de heren van Buckhorst over het veen dat via vloeivelden van slibrijk IJsselwater wordt voorzien. Het water wordt uiteindelijk in de waterlopen in het Almere geloosd. Het landschap heeft dan al een grootschalig karakter: beweide blokken en hooiweiden, van elkaar gescheiden door houtopstanden met wilg, els, es en iep. Noordoostelijk van de toenmalige IJssel tappen de heren Van Voorst op ingenieuze wijze ter hoogte van Schelle water af van de IJssel om er een deel van het Voorsterbroek (nu Mastenbroek) mee te bevoeien via een stelsel van kaden en wateringhen. Die wateringhen worden later de bekende weteringen.

Ridders op het veen

Er wordt met de veenbevloeiingen een goede boterham verdiend; de heren, representanten uit de Karolingse periode (feodale tijd of riddertijd) leven er goed van. Ze delen hun weelde nauwelijks met boer en burger en de ook de geestelijkheid komt er hier niet aan te pas. Dat gaat tegen het einde van de Middeleeuwen veranderen, een periode waarover we via geschriften weinig geïnformeerd zijn.

Wonen in de IJsseldelta

Noordwestelijk van Zwolle, richting Kampen, is er dan al veel bewoning en bedijking. De Lambertuskerk te Wilsum dateert van 1050; het is vermoedelijk de oudste kerk van Overijssel. Wilsum is in die tijd een belangrijk stadje aan de toenmalige IJssel. Zalk ('Zallik' of 'Sallik') is vermoedelijk wat jonger dan Wilsum. Veel wijst erop dat Zalk eertijds ten noorden van de huidige IJssel lag. Het water van de rivier wordt benut door de heren van Buckhorst om de westelijke venen te bevoeien, zoals de heren Van Voorst dat al vele decennia doen in noordelijke richting met het Voorsterbroek.

Dat het wonen aan de IJssel ongewis is weet men dan al vele generaties, want de slechts ten dele bedijkte rivier weet haar loop nog wel eens te verleggen. Iets wat meanderende rivieren nu eenmaal bij tijd en wijle doen en waarbij vaak grote schade geleden wordt. Zo valt het oudste kasteel van de heren Van Voorst ten prooi aan de grillen van de alsmaar groter wordende IJssel en gaat in 1444 het dorpje Katen (waar nu het Katerveer ligt) ten onder na een decennialang gevecht tegen deze rivier. Door een doorbraak in de toenmalige noordelijke IJsseldijk tussen Westenholte en Konijnenbelten komt Zalk aan de zuidkant van de IJssel te liggen. De rivier benut vermoedelijk een stukje van de toenmalige wateringhe in de polder Mastenbroek als tijdelijke rivierloop om die ter hoogte van het huidige Veecaten weer te verlaten. Deze oude wateringhe wordt later Bisschopswetering genoemd.

⁴ Niet zonder eigen belang uiteraard, omdat men hiermee de exploitatie kan laten toenemen (dus meer belasting c.q. inkomsten) .

Forse omwenteling en aanloop

De bedijking van Mastenbroek in 1364 is één van de meest ingrijpende gebeurtenissen in de geschiedenis van dit gebied. Tijdens de aanloop komt de bisschop van Utrecht in de gelegenheid zijn slag te slaan.....

Die gelegenheid wordt hem geboden door de Duitse Keizer, tot wiens gezag dit gebied behoort en die de oude vazalliteit wil oppoetsen. Daartoe worden aan 'keizervriendelijke' bisdommen lenen (gebieden) toegekend waarbij de bisschop naast kerkelijk leider ook wereldlijk leider wordt. Het Oversticht (Overijssel) is zo'n gouw (gewest) dat aan de Utrechtse bisschop toegekend (uitgeleend) wordt. De keizer is ermee in zijn nopjes, want uitlenen aan een bisschop betekent dat het uitgeleende goed niet vererfd kan raken, omdat een bisschop nu eenmaal geen nakomelingen heeft, en dat in zo'n bisschoppelijk goed de kerk gedienschtig geëerd wordt.

Daar staat natuurlijk wel een forse pacht tegenover. Bij de benoeming van bisschop Guy van Avesnes spelen de graven van Holland (uit het huis van Avesnes) en hun trawanten ook een rol. Zo gaan deze telgen, met een meer naar de Franse koning toegenegen houding, de grafelijke én bisschoppelijke lakens uitdelen. De graven zijn voornamelijk met het bestuur van het land bezig en de bisschoppen vooral met landontginning en waterbeheer. Omdat het nauwe familie van elkaar is, komen veel revenuen uiteindelijk in een steeds kleinere kliek van belanghebbenden terecht van lieden die elkaar de bal toespelen. Er zijn allerlei verborgen slangenkuilen. En de éne keer helt de macht meer over naar Engelse, dan weer naar Franse of Duitse invloed.

Een sluwe bisschop

De IJssel verwildert zodanig dat bedijking ervan tot aan Kampen een vereiste wordt. Door gekonkel achter de schermen met een belangrijke rol voor de bisschop, de heren stadsbestuurders van Kampen en Zwolle en andere partijen, ontstaat er een geschikt moment voor verandering van het gezag in de regio. Zwolle maakt ruzie met de heren Van Voorst en ze graaft spoorlags een kanaal naar de IJssel toe, dwars door de watertoevoerkanalen van de heren Van Voorst waardoor het IJsselwater naar het Voorsterbroek wordt geleid voor bevloeiing. In Zwolle is er een sterke tegenstroming tegen de kerk onder leiding van Geert Grote die soberheid leert en tegen al dat 'aardse gedoe van de kerk' is. Juist in de omgeving van Zwolle vindt hij veel weerklank. In Zwolle zelf is de gegoede burgerij (de elite en de handelaren) ontevreden over de kerk en de bisschop voorziet dat die gegoeden wel eens kunnen gaan sympathiseren met Geert. De bisschop vangt meer vliegen in één klap door Zwolle het Hanzerecht te verlenen, door Zwolle oorlog te laten voeren tegen de Van Voorsts met het kanaal naar de IJssel en door de Zwollenaren stukken van het Mastenbroek in het vooruitzicht te stellen, mits zij hem in het conflict over de hegemonie over Mastenbroek (toen nog Voorsterbroek) steunen. Hierdoor zijn de feodale heersers over het Voorsterbroek overwonnen en krijgt de bisschop zijn status (weer) terug. Door deze gang van zaken kan de bisschop ook zijn positie als kerkelijk leider handhaven tegenover Geert Grote en zijn volgelingen.

Dat loopt uit op een oorlog met de heren Van Voorst. De heren van Buckhorst (onder het gezag van de hertog van Gelre) krijgen er geen last mee. De oorlog wordt na veel gedoe uiteindelijk gewonnen door Zwolle en haar medestanders. De overwonnen heer Van Voorst wordt, zoals wel gebruikelijk is, niet gedood. Hij komt in dienst als 'dijkgraaf' om

het veengebied te bestieren inzake het landgebruik en het waterbeheer. Niet lang daarna volgen zijn beide zoons hem op als hij, vermoedelijk als gevolg van alle narigheid, overlijdt.

Omdijken of bedijken

De inpoldering, waarbij een dijk aangelegd wordt, moeten we in eerste instantie beschouwen als een omdijking. De binnensee is dan nog niet ontstaan en langs de rivieren de IJssel, de Aa en de Vecht zijn de uiterwaarden nog relatief laag. Als er al sprake is van overstroming, is die welkom en wordt het water zo ver mogelijk het veengebied ingevoerd. De aanleg van de dijk betekent dat er moet worden samengewerkt. De omdijking stelt de samenwerkende investeerders in staat om hun investering er weer uit te krijgen door dat vruchtbare polderland vanaf terpen te gaan benutten.

Het Voorsterbroek (nu Mastenbroek) wordt in blokken verdeeld onder de betrokkenen die de bisschop openlijk gesteund hebben. Naast de steden Zwolle en Kampen zijn dat ook de omliggende plaatsjes (nu opgegaan in de stad Zwolle). Ondanks dat de bewoners van Kamperzeedijk, Afsched, Veneriete en Genemuiden aan de noordkant van het gebied van ouds in dit gebied wonen en werken, delen zij hierin niet mee. Kennelijk hebben zij zich in de strijd van de bisschop afzijdig gehouden of waren ze zelfs tegen deze gang van zaken.

Na de omdijking komt het polderland steeds lager te liggen ten opzichte van de rivieren en moet men, betrouwbare bemalingen ontbreken nog, met uitvlieten (zielen of zijlen) van het overtollige water af zien te komen. Bij aanhoudende oostenwind lukt dat goed, maar in deze contreien overheersen de westenwinden. De omdijking wordt steeds meer ervaren als een bedijking die de exploitanten van de polder moet vrijwaren van te veel instromend rivierwater en een paar eeuwen later ook zeewater. De dijken worden na verloop van tijd winterdijken genoemd met veiligheid als belangrijkste functie. De benutting van de landerijen wordt er niet veel anders door, maar het duurt nog tot in het midden van de negentiende eeuw voor er bemaling komt die past bij de landbouwkundige gebiedsdoelstellingen.



Figuur 9. Historische terpboerderij, thans in gebruik als woonboerderij, in Polder Mastenbroek.

Boeren van af 100 terpen

Na diverse ruiming en bedijking ontstaat er een polder in het Voorsterbroekse veenlandschap met de naam Mastenbroek. Een bijna 10.000 hectare groot veengebied dat grotendeels door moedwillige inundaties ontdaan is van oerbos. Via de weteringen, op de oude plekken waar altijd al wateringhen gelopen hebben, wordt het poldergebied aanvankelijk bevoeid. Ter ontsluiting wordt een stelsel van interne bekadingen opgeworpen. Er is ruimte voor ongeveer honderd boerderijen, op terpen met gemiddeld honderd hectare. Hiervoor worden bedrijfsleiders (zetboeren) aangewezen. De bedrijven zijn uitzonderlijk groot in een tijd dat een gemiddeld boerenbedrijf nog relatief klein is met circa tien hectare en hooguit zo'n acht tot twaalf koeien. Dat men op terpen gaat wonen in dit iedere winter onder water staande veenland is logisch. Het verraadt tevens de Friese invloed aan het hof van de bisschop. Immers in heel Friesland weet men dan al eeuwen dat dit een noodzaak is: de ervaringen in de bakermat van ons polderstelsel wordt gretig door de leenheer omarmd. De grond wordt tot in de tweede helft van de negentiende eeuw vruchtbaar gehouden door er via bevoeiingen rivierslib te laten bezinken. Alle bedrijven zijn tot relatief recent dus biologische bedrijven. De polder wordt strak-geometrisch ingericht met rechte lijnen en open ruimten. Wie die eerste 'Mastenbroekers' zijn en waar ze vandaan komen, weten we niet. Zijn het pioniers en kinderen van boeren uit deze regio of lieden van elders zoals die zich ook in West-Nederlandse ontginningen vestigen. De investeerders hechten veel waarde aan hun deskundigheid, want men vertrouwt hen toe grote stukken grond te benutten. Wel tegen een flinke duit aan pacht natuurlijk!

Eigendom bepalen en beperken

De regio krijgt steeds meer de contouren zoals we die nu kennen. Staphorst wordt ontgonnen vanuit het Cisterciënzer-klooster te Zwartewater. Met veel geharrewar, waarbij een gezworen landmeter het veengebied in moet om de eigendomsgrenzen te bepalen. Dit gebeurt ook zuidelijk van de huidige Dedemsvaart (in Genne en Holten), in de kop van Overijssel, en in veel andere oostelijke en noordelijke veenstreken.

Uit die tijd dateert menig woord dat we nu veelvuldig gebruiken zonder ons de oorspronkelijke betekenis ervan te realiseren. Zo is 'bepalen' letterlijk afkomstig van 'het slaan van palen in te ontginnen gebieden, opdat de ontginners weten waar ze zich aan moeten houden qua richting en reikwijdte van de ontginning'. 'Beperken' betekent 'er een perk van maken', inhoudende dat je op een bepaald stuk grond kunt gaan wonen, hoewel je bij de bewoning van toen niet veel meer moet voorstellen dan het optrekken van een houten, en dus verplaatsbaar, kot. Waar op oude kaarten sprake is van 'zee(g)graven duidt dat op een 'gegraven kwelsloot', een sloot die parallel aan een dijk gegraven is en die het water dat onder die dijk doorsijpelt, kwelt of 'wegzijgt' opvangt; het woordje 'zeeg' duidt dan op 'zijgen', een woord dat we ook in de Angelsaksische taal tegen komen.

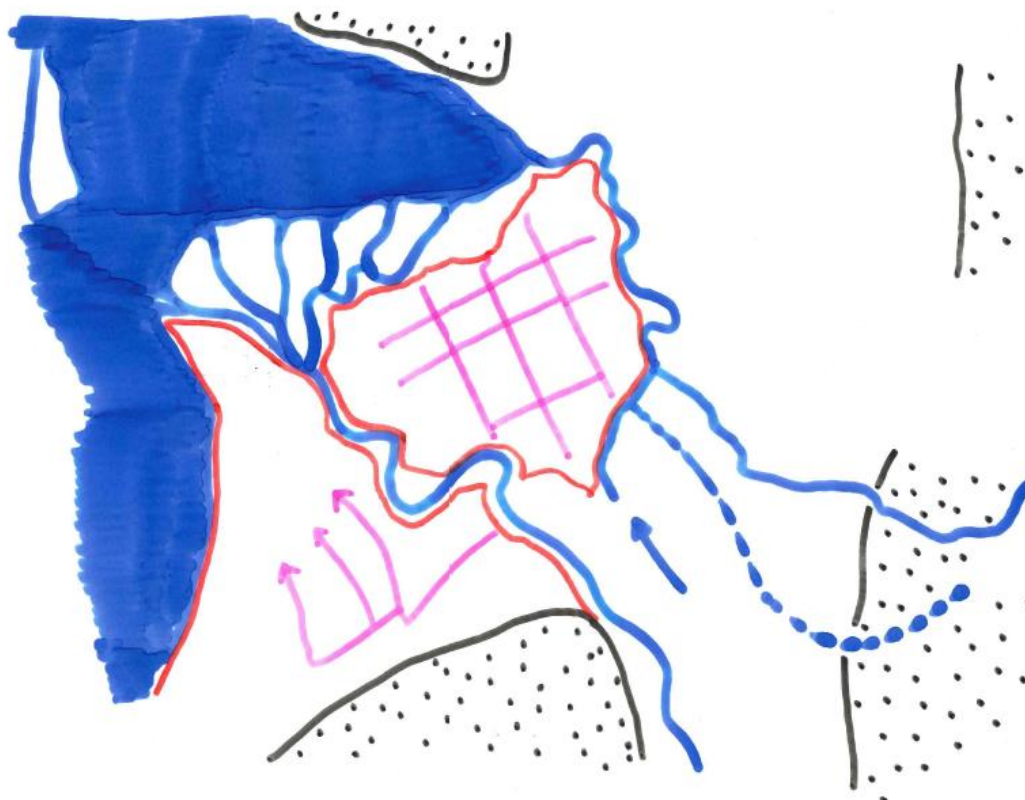
Dijkherstel met alle middelen

De Zuiderzee is nog een enorme bedreiging voor dit deel van Overijssel. Immers met noordwesterstormen loopt de waterstand vervaarlijk hoog op en beuken de golven ongenaakbaar op de ranke dijken. Zo eens per vijftig jaar gaat het mis en overstroomt het achterland tot voorbij Meppel, tot bij Dalfsen en Heino en kan men tot Wijhe de hoge waterstand ervaren. De terugtrekkende zee laat echter een vruchtbare laag slik achter en menig sloot is gevuld met vis als haring en bot. De ellende is dan al weer snel vergeten. Frequent breken de dijken door, gemiddeld een keer per 10 jaar. Met man en macht worden daarna dijken weer gedicht, met alles wat voorhanden is, vooral met takkenbossen, mest, grond, planken en palen. Hele dijkstukken bestaan enkel uit palenrijen met planken eraan gespijkerd.



Figuur 10. Dijkdoorbraken kosten veel levens en hebben grote materiële gevolgen.

DE GOUDEN EEUW

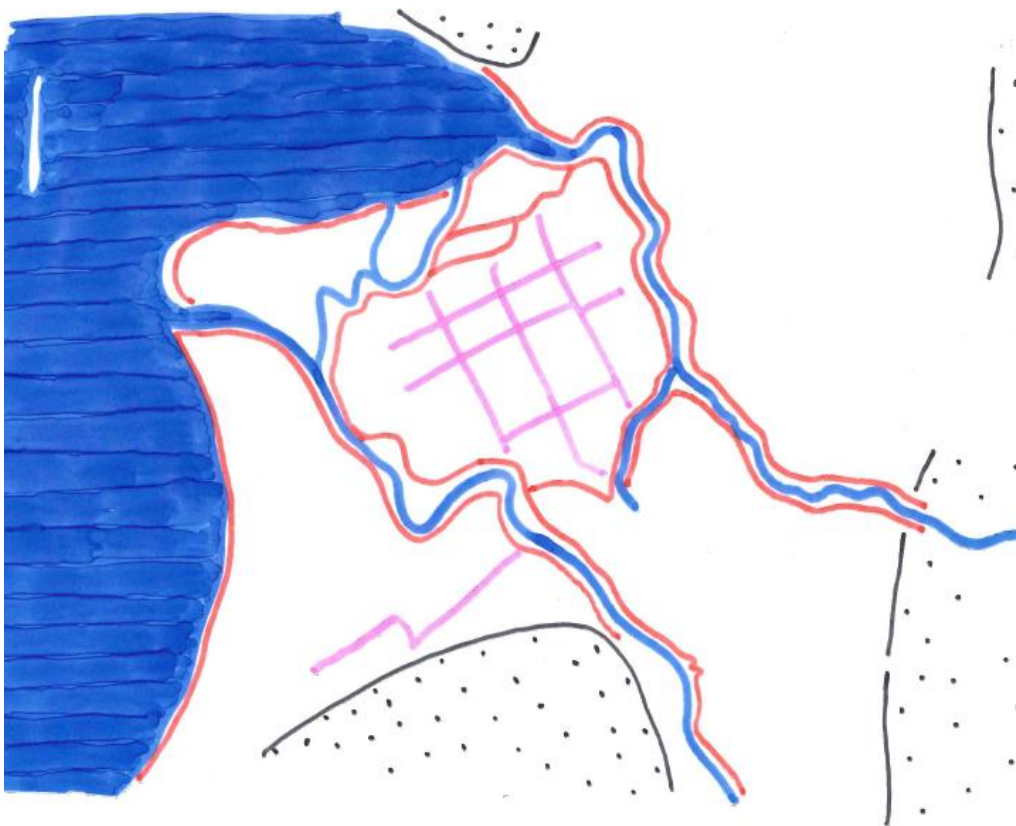


Figuur 11. De benedenloop van de IJssel is een delta die nog steeds in ontwikkeling is. Vanuit de bovenloop wordt zand en klei aangevoerd die in de midden- en benedenloop sedimenteert. Het ondiepe Boddenlandschap oostelijk van het Schokkerveen is zee geworden en wordt gevuld met brak tot zout water dat met westerstormen tot in de monding van het Zwarte Water opgestuwd wordt. Alleen op luwe, ondiepe plekken kan een begroeiing van zeebies en ruwe bies stand houden. De klifkust en strandjes onder Vollenhove zijn begroeid met kustplanten. Door bedijking zijn rivieren ingesnoerd en nagenoeg ieder jaar zijn er dijkdoorbraken, omdat het onderhoud, ondanks de ervaring, te wensen overlaat. Mastenbroek is nog steeds een bevoeiingspolder en ook het "Kamperveen" wordt met IJsselwater bevoeid. Het Zwolsche Diep (Zwarte Water) wordt met water uit Salland gevoed, omdat aanvoer vanuit de inmiddels oostwaarts verlegde Vecht niet meer mogelijk is.

Bijna-Zuiderzee stadjes

De zee komt steeds dichterbij en het scheelt maar een haar of ook Zwartsluis en Staphorst liggen in zee. En Hasselt en Zwolle worden ook bedreigd, want het veengebied in de delta blijkt geen veilige buffer. De dijken zijn plaatselijk te zwak. Perioden van voor- en tegenspoed, oorlogen en pestilenties wisselen elkaar af en maken de regio tot wat ze nu is: een zeer waterrijk gebied met een taaie bevolking die veel leed weet te (ver)dragen.

BATAAFSE TIJD

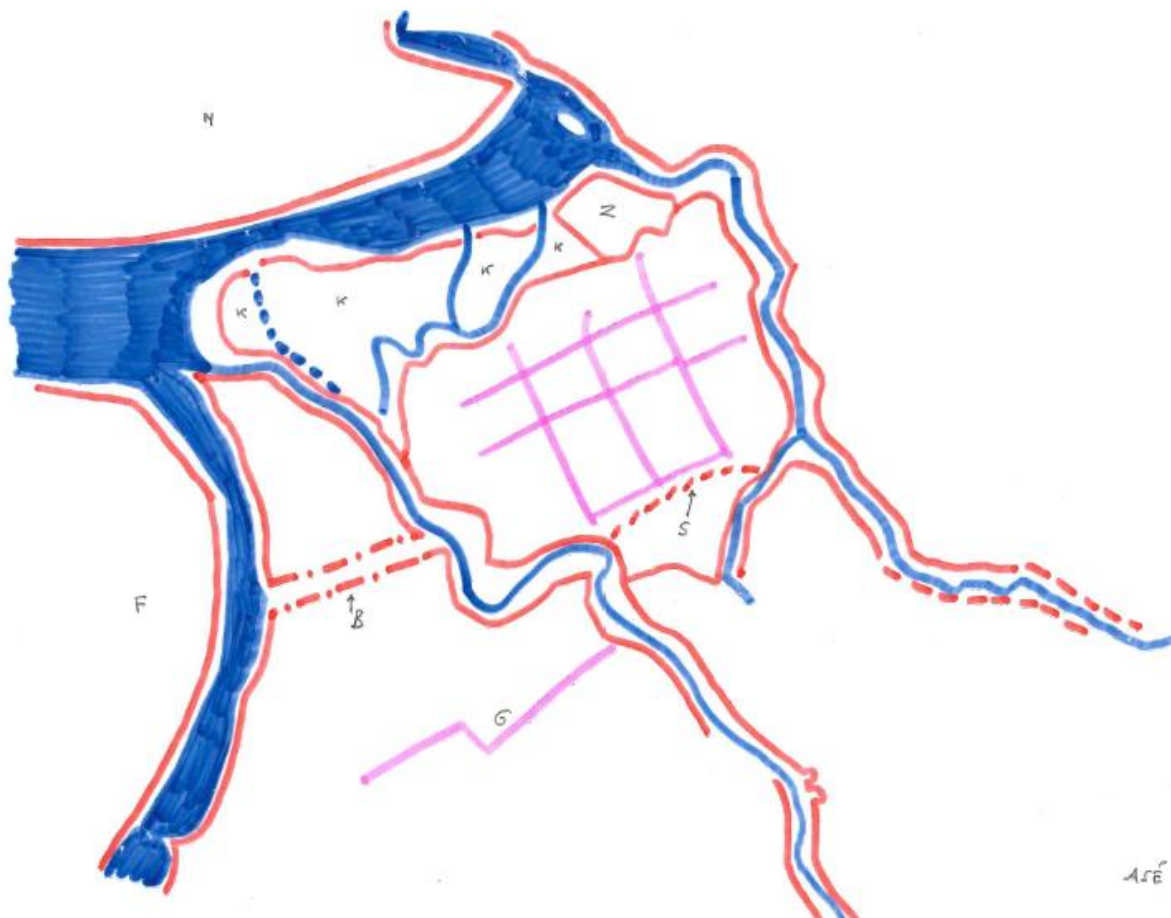


Figuur 12. De periode tussen de Gouden Eeuw en circa 1930 is de tijd dat de Zuiderzee zich maximaal ontwikkelt en het voormalige Schokkerveen en de andere venen slinken tot er van de Zuiderzee-eilanden alleen Marken, Urk en Schokland overblijven. Medio de

dertiger jaren van de vorige eeuw wordt de Afsluitdijk aangelegd en ontstaat er in korte tijd een volledig verzoet IJsselmeer van maximale grootte. Het 'oude land' is nog overal bedijkt, evenals de benedenloop van de rivieren IJssel en Zwarte Water/Vecht. Vanaf het midden van de 19^e eeuw wordt Polder Mastenbroek bemalen met een 'stoomgemaal' en verandert de op grote schaal beoefende biologische landbouw in en vorm van de moderne landbouw zoals we die nu kennen. Vanaf het midden van de negentiende eeuw zijn er, behalve bij Zalk, geen dijkdoorbraken meer.

DE MODERNE TIJD

Met de aanleg van de Afsluitdijk houdt Zuiderzee en de daarmee verbonden economie definitief op te bestaan. De laatste botters trekken hun kuil binnen en de laatste vracht paling wordt aan land gebracht. Na het droogmalen van de Noordoostpolder wordt de gebiedsinrichting en het grondgebruik wordt modern, rationeel opgezet. Afsluiting, drooglegging en landinrichting hebben grote gevolgen voor de biodiversiteit. Soorten sterven uit of raken in hun voorkomen geïsoleerd. Oude vormen van beheer raken in onbruik, zoals de bemesting van het land met stratendrek, krabbenscheer en koeienmest. Daarmee verdwijnt ook de rijke vogelbevolking en de bijzondere flora die de veengebieden zo lang gekenmerkt hebben. Vrijwel ieder hooiland dat paarsrood kleurt van de orchideeën of (op de kleiige delen) bedekt is met kievitsbloemen wordt gescheurd, bestrooid met kunstmest en opnieuw ingezaaid met een of enkele hoogproductieve gewassen.



Figuur 13. De Afsluitdijk is gerealiseerd waardoor de Zuiderzee is overgegaan in het IJsselmeer, dat in fasen wordt ingepolderd (Wieringermeerpolder, Noordoostpolder (N), de Flevolanden (F)). Tussen het oude land en deze polders ontstaan op de meeste plekken randmeren. In 2015-2016 wordt een 'Bypass' gerealiseerd ten westen van Kampen. Ten noorden van de wijk Stadshagen bij Zwolle liggen kades die Polder Mastenbroek visueel van deze stadswijk scheiden. De poldertjes van Kampereiland (K) hebben een lagere bescherming tegen hoogwater. Ten westen van Genemuiden ligt de Greente en de Zuiderzeepolder achter een hoge zeedijk (Z).

3. Dijkhistorie en piping-risico's

De geschiedenis van de dijken langs Polder Mastenbroek is nauwgezet in beeld gebracht. De eerste bedijking dateert van de jaren na de 'afkondiging' van de Dijkbrief in 1308. Er zijn goede aanwijzingen dat de bedijking langs de IJssel al een langere historie heeft, nl vanaf 1170.

Met bedijking vangt ook het risico van piping aan. Piping (kwel van water door of onderdoor een dijklichaam) is noodzakelijkerwijs verbonden met de aanwezigheid van hoog water tegen een dijk; hoe sterk de kwelstroom is, is voor de definitie minder relevant. Bij de aanleg van een dijk wordt meestal een grondlichaam van een andere grondsoort aangebracht op de oorspronkelijke ondergrond. Daardoor is soms sprake van een verschil in gelaagdheid en/of korrelgrootte van beide grondsoorten, waardoor er verschillen zijn in de doorlatendheid voor water. Bij een hoge waterdruk zal door het grondlichaam dat het meest permeabel is voor water het eerst lekkage optreden, wat binnendijks tot enige kwel kan leiden. In principe is dit een normaal verschijnsel dat niet verontrustend hoeft te zijn. Als echter de kwel (veel) sterker wordt doordat met het kwelwater ook gronddeeltje worden meegevoerd en de doorlatendheid groter wordt, spreken we van piping. Als dit proces zich voortzet kan de dijk ondermijnd worden of zelfs doorbreken.

Langs de IJssel ontstaan bij hoog water op diverse plekken zogenaamde 'wellen': binnendijkse plekken waar water zichtbaar opkwelt. Wanneer de afstand tot de winterdijk/uiterwaard-met-hoogwater niet groot is, is de relatie piping-hoogwater snel gelegd. Maar er kan ook kwel optreden langs de winterdijken in omgekeerde richting, waarbij de bron van het water op veel grotere afstand ligt. Zo kan een hoog zandmassief als de Veluwe tot op grote afstand nog kwel veroorzaken richting de IJssel en er zelfs onder door. Van uit het buitenland is bekend dat op plekken met hevige kwel doopvonten van kerken geplaatst zijn. Ook is uit de historie bekend dat bij aanhoudend hoog water op de rivier de grafzerken in de kerk omhoog kwamen ten gevolge van hevige kwel (rijke lieden werden toen nog in de kerk begraven).



Figuur 14. Plek met opkwellend water achter de dijk bij Zalk ten gevolge van piping tijdens hoog water op de IJssel. Soms zijn de wellen, die bij aanhoudend hoog buitendijks water opborrelen, beperkt van omvang, maar ze kunnen aanzwellen tot uiteindelijk een stuk dijk helemaal verzwakt raakt.

In principe is piping in Mastenbroek overal mogelijk waar een groot drukverschil aanwezig is tussen een overstroomde uiterwaard en de lager liggende polder. Tot de Late Middeleeuwen zal dat in dit gebied geen grote problemen gegeven hebben, omdat toen het veenpoldergebied toen nog vrij hoog in het landschap lag. Vanaf de Middeleeuwen neemt het piping-risico toe, vooral op plekken waar vlak bij de winterdijk kolken liggen die ontstaan zijn als gevolg van doorbraken. Dat geldt ook voor plekken waar ooit sluisjes lagen die later weer dichtgegooid zijn. Door dergelijke waterstaatswerken is de dijkstructuur beïnvloed. Bij grote structuurverschillen in grond kunnen daar dijkleggages optreden als het waterdrukverschil groot genoeg is en lang aanhoudt.

4. Overige bronnen

Er zijn tal van overige bronnen geraadpleegd om een goed beeld te krijgen van de historie van de dijken.

4.1 Het kleidek in Mastenbroek

Het gebied Mastenbroek, in de Middeleeuwen Voorsterbroec, bestaat uit een veen op een zandige ondergrond. De zandondergrond welft licht en de zandige koppen hebben een podzol-achtig bodemprofiel. De dikte van de veenlaag varieert van enkele centimeters tot ruim 2m. Onderin is het veen rijk aan boomstammen. De dikkere veenpakketten bestaan uit zeggeveen en met daarop lokaal veenmosveen. De veenmosdekens behoorden vegetatiekundig gezien tot de Atlantische sprei- of dekenhoogvenen die met het reliëf meegolven. Ze komen nu nog voor in Ierland en Schotland. Aan de oostzijde van de veenpolder is het veenpakket vrij dun (5-100 cm) en is het rijk aan fossiele boomstammen. Het maaiveld is sinds de Vroege Middeleeuwen behoorlijk gedaald door klink en vertering als gevolg van drooglegging. Het veenmosveen nabij het huidige Grafhorst heeft vermoedelijk wel twee meter hoger gelegen. Het bosveen is het resultaat van het uitgestrekte broekbos op het veen. Dit bos is aan het einde van de zesde eeuw vrij abrupt afgestorven en afgedekt met een kleidek.

Die afzetting van klei vond plaats tijdens een periode van aaneengesloten inundaties. In die quasi-lagunaire toestand⁵ is het bos afgestorven en is de zware klei als één laag direct op het veen afgezet. Die zware kleilaag dekt een zone af parallel aan de huidige Vecht en het Zwarte Water tussen Westenholte en Hasselt. Mineralogisch heeft deze klei een mariene oorsprong. De klei heeft twee mogelijke herkomstgebieden. De eerste mogelijkheid is dat het afkomstig is van het vanaf de Romeinse tijd tot in de Vroege Middeleeuwen ontboste noordelijke Münsterland. Een tweede mogelijkheid is dat de klei in het IJseldal opgewoeld geraakt is toen het water in de nog kleine IJsselgeulen door vernatting steeds sterker ging stromen en dit zijdelings en benedenstrooms in hun directe omgeving gingen afzetten. Ook die klei komt oorspronkelijk uit Münsterland maar dan uit het westen daarvan. Het is destijds o.a. via de Berkel afgevoerd en weer afgezet in de toen nog kleine IJsselgeulen.

Het toenmalige Voorsterbroec was in exploitatie bij de heren Van Voorst, representanten van de Karolingse periode, een periode die we ook wel als de feodale tijd of Riddertijd aanduiden. Deze heren hadden voor de bevoeiing (en slipafzetting) al een systeem aangelegd waarmee ze water van de toenmalige IJssel vanaf hun kasteel te Westenholte via watering en verbindingssloten naar het Voorsterbroec konden distribueren. Waarschijnlijk hebben ze daarvoor het tracé van de huidige Zandwetering benut die vanaf Schelle in noordelijke richting doorliep. Vervolgens splitsten ze het water en voerden ze het naar enerzijds 'het Nieuwe Land' tussen de IJssel en de Konijnenbelten en anderzijds naar wat we nu als het Zwarte Water aanduiden, uiteindelijk overgaand in de loop van de Nieuwe Wetering. Vanuit de Nieuwe Wetering lieten ze slibrijk rivierwater over veen in het door hen ontgonnen blok in het Voorsterbroec. Landbouwkundig leidde tot het interessante fenomeen, dat grasgroei op het kleidek-op-veen mogelijk werd.

⁵ Het gebied wordt hier quasi-lagunaire genoemd, omdat het niet een echte benedenlooppositie inneemt, maar een positie langs de volledige zoete loop van de rivier.



Figuur 15. Nieuw gegraven sloottalud bij Stadshagen. De bodemopbouw met klei op bosveen (met boomstam) is dan nog duidelijk te zien; enkele maanden later is het tralud weer overgroeid met grassen.

Boeren die het grasland exploiteerden, moesten daarvoor aan de Voorster heren belasting en pachten betalen, soms in natura. Aan de Gelderse kant van de IJssel betaalde men pacht aan de heren van Buckhorst. Het gebied Voorsterbroec was in zijn geheel onbedijkt. Om het IJsselwater optimaal te kunnen benutten, werd tussen Windesheim en Westenholte een kade aangelegd die vervolgens werd doorgetrokken naar Zalk en Wilsum. Behalve in het Voorsterbroec ontstonden ook beweidbare gebieden in wat we nu 's Heerenbroek noemen, bij de huidige Stuurmansweg/Millingersteeg.

De Vecht lag eertijds veel dichterbij het huidige Zwolle ligt dan nu, namelijk in de loop van de huidige Westerveldse Aa. Door menselijk ingrijpen is de Vecht later verlegd, maar in de eerste helft van de Middeleeuwen, toen bevoeiing ook in zwang was in gebieden in de Brinkhoek, de Maatgrave en de Marshoek, kon de Vecht nog vrijelijk uitvloeien in Mastenbroek en daar klei laten bezinken. Het resterende water van de Vecht stroomde vervolgens in noordelijke richting en kon via 'rieten' in de nabijheid van Hasselt via wat we nu het Zwarte Water noemen, wegstromen. Door de bedijking van Mastenbroek kwam er een einde aan de Vechtinvloed in oostelijk Mastenbroek. En door bedijkingen werd ook de invloed van de IJssel ingeperkt en kreeg het Zwolse diep (het Zwarte Water) door Zwolse graverijen haar loop zoals we die nu kennen. De Vecht moest om die reden



Figuur 16. De bovenkant van het bosveen verloopt grillig; er is een patroon van (boom)horsten en slenken te zien. De toplaag van de klei is kruimig en gerijpt; de onderste helft is relatief zwaar en structuurarm. De restanten van pijpenkoppen wijzen erop dat dit gebied met stratendrek is bemest om de vruchtbaarheid van de bodem op peil te houden.

wat naar het noorden verlegd worden en de IJssel werd definitief achter het tracé van IJsseldijken richting Zuiderzee geleid. Alleen bij dijkdoorbraken werd er daarna nog slib op het veen afgezet. Vanuit de IJssel was dat rivierklei, vanuit het Zwarte water met mix van fluviatiele en mariene klei en vanuit de Zuiderzee mariene en lagunaire klei. Wat wel goed geregeld bleef, was de polderbevoeiing op grote schaal met rivierwater vanuit de IJssel. Tot de komst van de eerste windmolenbemaling (in 1407) was het gebruikelijk om de polder met rivierwater te bevoeien, omdat men het rivierslib zeer waardeerde om haar bemestende werking. Nadien was het water iedere winter een gegeven, omdat de bemaling zeer te wensen overliet en het wel tot aan 1850 duurde voor de bemaling betrouwbaar genoeg bleek.



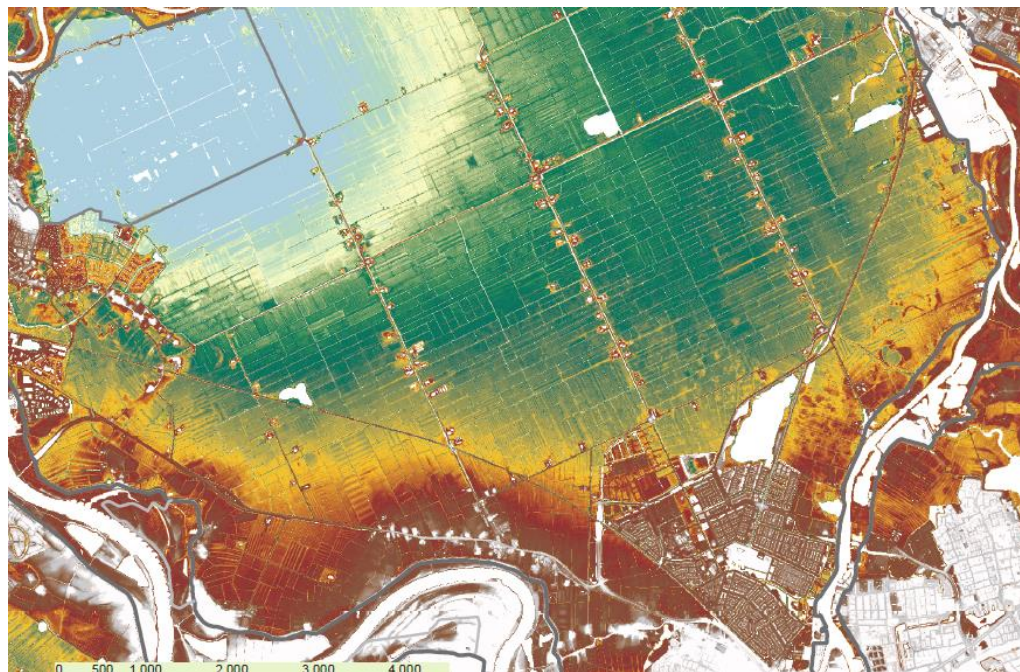
Figuur 17. Impressie van een 'levend' broekbos in Oost Polen. Kenmerkend voor deze bossen is dat de hoofdboomsoort (zwarte els) op verhoogde stoven staan, 's winters omgeven door niet afgevoerd regenwater en kwelwater.



Figuur 18. Het grillige scheidingvlak tussen veen en klei markeert het reliëf van het voormalige verdronken broekbos.

4.2

Een belangrijke informatiebron voor het begrijpen van de landschappelijke samenhang en de waterhuishouding is de Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN). Deze is vrij beschikbaar en kan met gedetailleerde uitsneden geanalyseerd worden. Veel op het oog onopvallende hoogteverschillen die kunnen helpen om een goed beeld van de gebiedsontwikkeling te vormen kunnen erop ontdekt worden.



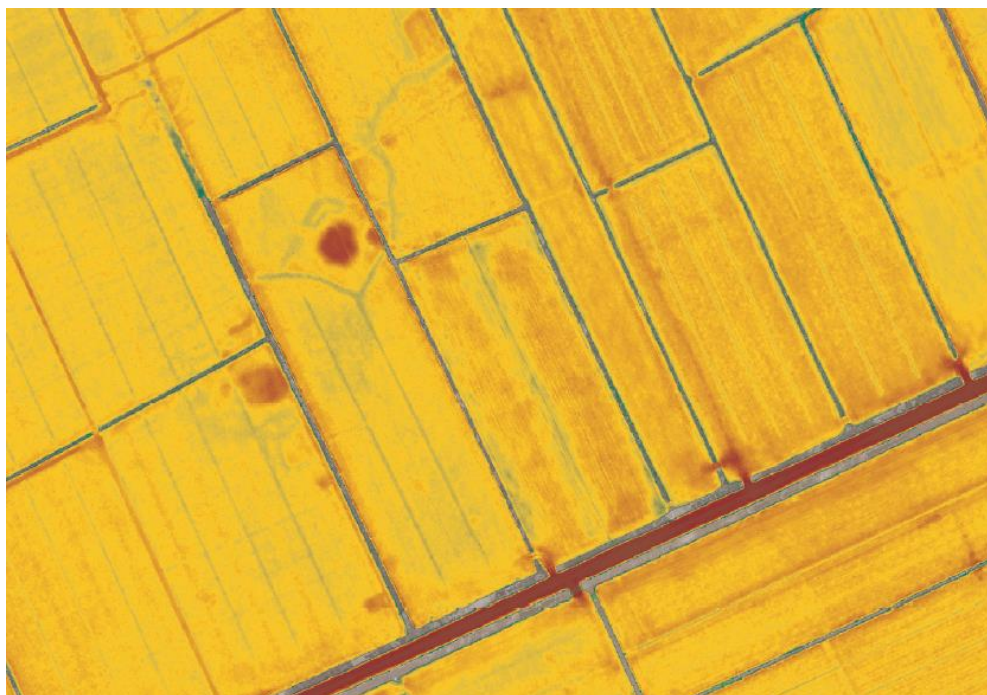
Figuur 19. Fragment van de AHN. Polder Mastenbroek (groen en blauw) ligt relatief laag ten opzichte van de aangrenzende rivieren (rood en oranje) het Zwarte Water (oost=rechterzijde) en de IJssel (zuid=onderzijde). In de polder zijn de 4 rijen met terpen goed te zien, alsmede de rij boerderijen die parallel aan de IJssel bij Veecaten horen. De Koekoek met directe omgeving zijn als een relatief diepliggende gebied afgebeeld (blauw). Toen hier nog hoogveen groeide was dit deel van de polder juist het hoogst.

De zone langs het Zwarte Water wordt gekenmerkt door het ontbreken van een 'stroomrug' met daarop of daaroverheen 'opstuivingen' (rivierduinen) of overslaggronden, die langs de IJssel veelvuldig aanwezig zijn. Langs het Zwarte Water zijn alleen een aantal overslaggronden zichtbaar op plekken waar van dijkdoorbraken bekend zijn, meestal bij bestaande doorbraakkolken.

4.3 Vroege bewoning bij Genemuiden

Ten zuidoosten van het huidige Genemuiden⁶ zijn bewoningssporen gevonden in het veenlandschap die dateren van vóór de Middeleeuwse percelering (figuur 20). De huidige omgeving bestaat uit vlak grasland met kaarsrechte sloten. Binnen de percelen is er slechts een gering hoogteverschil, maar er vallen direct enkele elementen op die verklaring behoeven. Op de kaart zijn twee iets hoger gelegen vlekken te zien. De rechtse wordt omsloten door een ruitvormig patroon dat aansluit op een kronkelige structuur dat het restant is van een greppel die richting Genemuiden loopt als

⁶ Op kaartblad "Schokland, Vollenhove, Genemuiden", getekend in 1853-1854, staat het water dat midden door Genemuiden loopt en in het Zwarte Water uitmondt, nog als 'genemuider Aa' opgenomen. Vrij kort daarna, in 1884, zo blijkt uit een wat later historische kaart, heet dat water officieel 'Nieuwe Wetering'.



Figuur 20. Fragment AHN van Polder Mastenbroek. Strak kavelpatroon van de huidige graslanden met twee donkere vlekken iets linksboven het midden met een iets hogere ligging. Dit zijn restanten van woonheuvels. De rechtse woonheuvel is omgeven door een ruitvormig patroon met iets lagere ligging. Dit zijn de restanten van een gracht die destijds veel breder was en die deze motte tegen de buitenwereld moest beschermen.

voormalige uitvliet om via het centrum van Genemuiden in het Zwarte Water uit te monden. We hebben hier naar alle waarschijnlijkheid van doen met twee voormalige woonheuvels, omgeven door een gracht. De woonheuvels zijn eertijds als motte (vluchtheuvels met een palissade) door de bewoners in het uitgestrekte veengebied opgeworpen. Met de AHN kunnen zo in ogenschijnlijk uniforme gebieden toch punten gevonden die tot nieuwe inzichten kunnen leiden.

4.4 Rond patroon

Opmerkelijk op de AHN is de aanwezigheid van een relatief ronde structuur tussen het gebied Ruimzicht (waar de Nieuwe Wetering loopt) en de Zwolse dijk, direct noordelijk van een oude aftakking van de Vecht, in het verlengde van de Westerveldse Aa. Dit ronde patroon wordt vooral in noordelijke richting omgeven door een overslagdek hetgeen wijst op zijn oorsprong, namelijk die van doorbraakkolk achter een kadeachtige voorziening. Dit patroon is in het veld nauwelijks waarneembaar. Ook in de literatuur vinden we geen informatie over deze plek.

4.5 Roodoranje zone



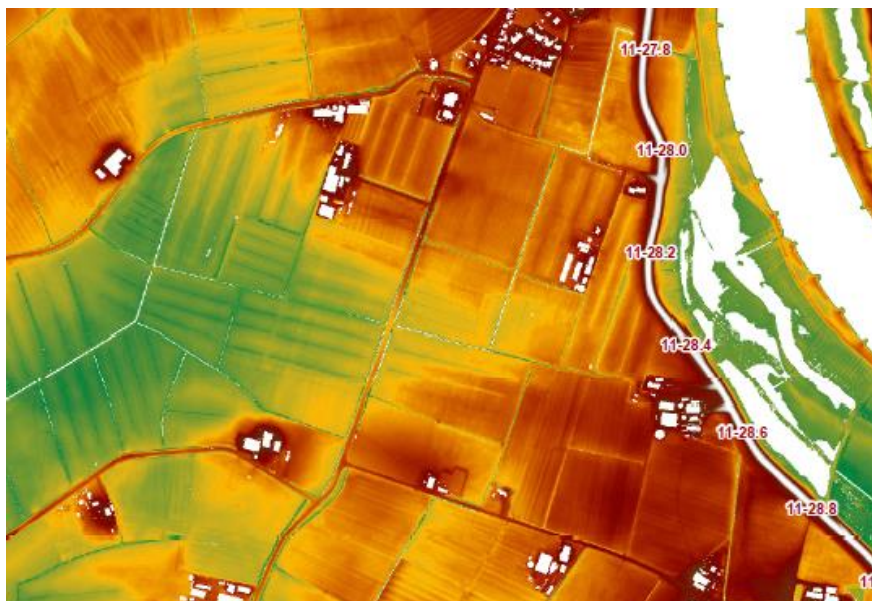
Figuur 21. Fragment van de AHN met links IJsselmuiden en het Ganzendiep, zich verderop splitsend in de Goot (links) en het Ganzendiep (rechts), uitmondend in het Zwarte Meer. Rechtsboven het Zwarte Water bij Genemuïden. Ten westen van de Goot ligt het Kampereiland en tussen de Goot en het Ganzendiep de Mandjeswaard. In beiden gebieden zijn de terpen duidelijk zichtbaar. Ten oosten van het Ganzendiep ligt polder de Pieper met ter hoogte van Kamperzeedijk-West de contouren van de loop van de "Oude IJssel" die daar in oost- tot noordelijke richting in de voormalige Genemuïder Baai uitmondt. De zeer laaggelegen polder de Koekoek valt op door de lichtblauwe kleur.

De rode zone ten noorden van de IJssel richting de polder betekent dat dit gebied relatief hoog ligt (figuur 21). Dit zijn zandige overslagdekken. Dat de oude boerderijen hier toch op hoogten (terpen) staan wijst erop dat hier toch af en toe wateroverlast van de IJssel was. De terpenrijen in polder Mastenbroek lopen alle noordwestwaarts. De gebieden tussen de terpen zijn niet volledig vlak. Het land op enige afstand ligt iets lager.

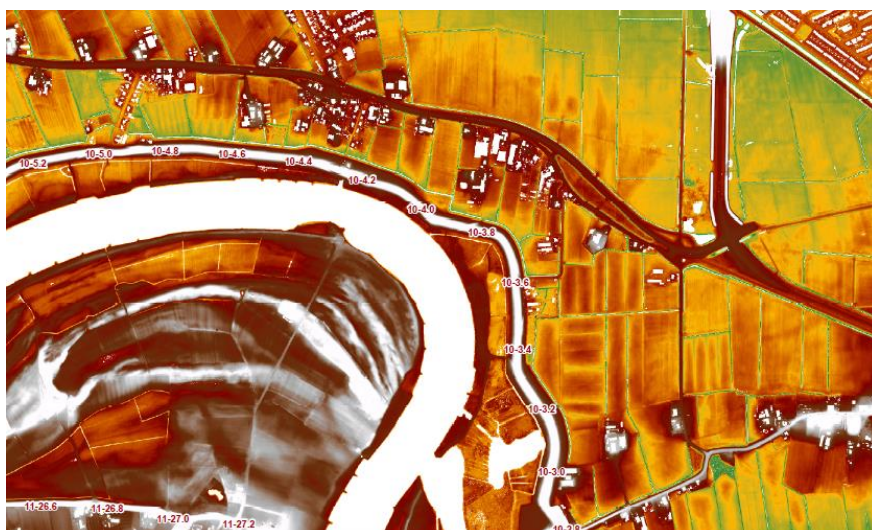
4.6 De IJssel verlegt zich.

Zoals in figuur 22 te zien is, ligt de zone westelijk van het gebiedje de Bentincks Welle en zuidelijk van Zalk lager dan haar directe omgeving. De laagte verenigt zich (buiten dit beeld) bij de Zande weer met de huidige loop van de IJssel. Hier heeft vermoedelijk tot het einde van de vijftiende eeuw de toenmalige hoofdstroom van de toen nog betrekkelijk kleine IJssel gelopen. Dijkdoorbraak van de stouwdijk (huidige Zalkerdijk), aan de noordoostkant van de rivier, heeft tot gevolg gehad dat de IJssel haar loop naar de noordoostkant van Zalk heeft verlegd. Vermoedelijk heeft ze daarbij eerst een aftappunt in die stouwdijk er volledig uitgespoeld, zoals dat bij overstromingen veel vaker op zulke plekken gebeurde. Dit aftappunt functioneerde voor de voeding van de toen nog Zalkerwetering hetende Bisschopswetering. De IJssel heeft toen waarschijnlijk

een stuk van die Zalkerwetering' tot rivierloop uitgebouwd en is pas later met veel menskracht zuidelijk van het huidige Veecaten naar het westen afgebogen.



Figuur 22. Direct ten zuiden van Zalk en ten westen van de IJssel Bentinck's Welle ligt een laagte (blauwgroene kleur) die in westelijke richting doorloopt. In deze laagte ligt een zavelig dek dat de voormalige loop van de IJssel van vóór de 15^e eeuw afdekt.



Figuur 23. Fragment van de AHN van de IJssel ten noorden van Zalk en ten zuiden van Veecaten met in de binnenbocht een fraaie kronkelwaard. De bandijk aan de noordkant grenst vrijwel direct aan de rivier.

4.7 Zand in de rivier in plaats van klei

Goed waarneembaar in figuur 23 zijn de vele hooggelegen zandige ruggen direct ten noorden van Zalk in de onbedijkte uiterwaard. Het zijn 4 op een rij liggende onderdelen (zandruggen) van de kronkelwaard waarvan de meest met bos bezet zijn en samen het

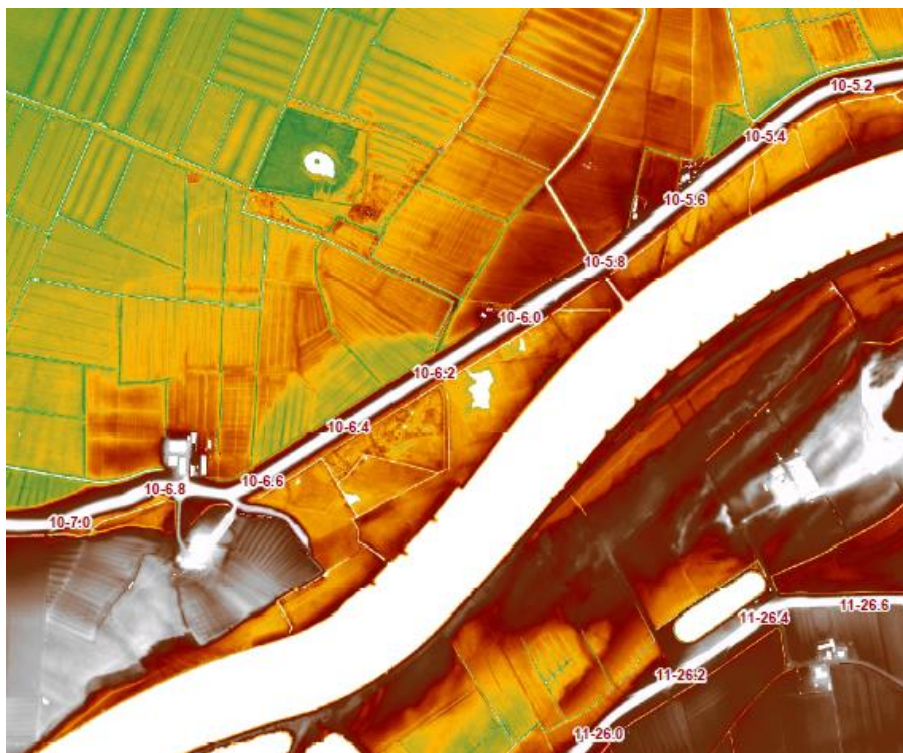
Zalkerbosch vormen⁷. Deze uiterwaardformatie is tussen de Middeleeuwen en eind 18^e eeuw gevormd (1500-1775), vermoedelijk gelijktijdig met de doorbraak van de stouwdijk die destijds de IJssel noordelijk afschermd van het gebied van het huidige Mastenbroek. De eerste sterke doorbraak heeft vermoedelijk al in 1384 plaats gevonden. De verzanding heeft de vorming van de ruggen in die kronkelwaard versterkt en in die periode zijn ook de meeste, hoger gelegen zandige delen langs de IJssel tussen Zwolle en Kampen gevormd. De eertijds kleine IJssel was uitgegroeid tot een respectabele rivier en het landschap waarin wilgenbossen domineerden werd allengs een landschap waarin er veel ruimte moest worden afgestaan voor erosie, sedimentatie, uitstuiving en opstuiving.



Figuur 24. Een sterk zandige, dynamische rivier is tegenwoordig in West-Europa een zeldzaam fenomeen. Tot circa 1850 was zo'n type rivier ook in ons land heel gewoon. Hier een foto van de Loire, benedenstreams van Nevers, waar deze rivier tot bij Nantes, met sediment verzadigd is en waar zij in bredere delen van haar overstromingsgebied omvangrijke pakketten zand afzet. Vanuit zulke zandafzettingen kunnen in droge perioden stuifduinen opwaaien. Tijdens de ruim 3 eeuwen durende zandfase van de IJssel (1450-1780), moet dat ook langs deze rivier het geval zijn geweest.

Droogvallende zandafzettingen kwamen steeds frequenter voor. In extreem droge jaren, wanneer de rivier zelfs doorwaadbaar was of nagenoeg droogviel (zie ook figuur 24), stoven belendende rivierduinen op. De dijken van toen hebben daar sterk onder te lijden

⁷ Het begin van de ruim drie eeuwen durende verzanding van de IJssel wordt toegeschreven aan midden- en bovenstroomse ontbossingen in het Rijnstroomgebied in Duitsland, die de spongiteit in het stroomgebied doen afnemen wat leidt tot plotseling optredende hoge waterstanden benedenstreams.



Figuur 25. Fragment van de AHN van de IJssel ten westen van Zalk. De banddijk aan de noordwestkant is zes keer compleet weggespoeld als gevolg van piping: ondergraven van de dijk door het hoge rivierwater via de grofzandige ondergrond. Noordelijk van de IJssel loopt de banddijk om boerderij Harsenhorst heen. Opvallend is de halvemaanvormige laagte aan de noordkant van de dijk met in het midden een naar het noorden wegkrommende waterloop die nog een eendenkooi aandoet. Of we hier nog te maken hebben met een natuurlijke 'uitvliet' vanuit Mastenboek van vóór de bedijking is moeilijk te zeggen, maar alles wijst wel op dat er in dit deel van de banddijk grote risico's op piping aanwezig zijn.

gehad, want de venige lagen waarop ze soms gebouwd waren, raakten uitgedroogd. Maar vermoedelijk heeft dat in dit gebied niet tot 'dijkval door droogte' geleid. De huidige Veecaterdijk die vanuit het westen van Westenholte richting Wilsum loopt, is in het verleden steeds iets meer landinwaarts verlegd, omdat de banddijk door de rivier dreigde te worden ondermijnd. Die verleggingen werden gerealiseerd door landinwaarts de dijk uit te bouwen, soms over al bestaande voorzieningen (zoals bekistingen) heen. Theoretisch is het goed mogelijk dat in de huidige dijk nog duidelijke sporen van oudere dijklichamen en diverse voorzieningen in zake beheer en onderhoud aanwezig zijn en daarmee risico's van piping. Gericht onderzoek van de opbouw van de dijk is hier wenselijk.



Figuur 26. In minder dynamische riviertrajecten, zoals de IJssel was voor 1500, wordt vooral klei afgezet en domineren ooibossen waarin diverse soorten wilgen overheersen. De ondergroei bestaat uit hoog opgroeiende kruiden die de kieming van de bomen bemoeilijken. Voor een succesvolle kieming zijn open plekken nodig, die bijvoorbeeld ontstaan door de vernielende werking van ijsschotsen. Ook bevers en de wilgenmerkziekte kunnen de boomgroei sterk onderdrukken.

4.8 Stadia en ontwikkeling

In de figuur 28 worden in 8 kolommen (a t/m h) de belangrijkste feiten weergegeven van de geschiedenis van het gebied gedurende de afgelopen 2000 jaar. De categorieën zijn: het klimaat (a), de fasen in de Zuiderzee (b), de aanwezigheid van oerbos (c), de globale rivierhistorie (d), de rivierdijkhistorie (e), de momenten met hevige overstromingen langs de IJssel (f), de periode waarin de IJssel sterk verzand was (g), schommelingen van het rivierpeil(h).

Hieronder volgt een korte toelichting.

- a) Het klimaat is over de laatste 2000 jaar in zes stadia te verdelen, alle onderdeel van het zgn. holoceen. Sommigen spreken al wel van het 'Anthropoceen' er op duidend dat de menselijke invloed op het klimaat (en de gebiedsvormen) groot was. De fasen zijn: I het klimaatoptimum uit de Romeinse tijd; II, de periode dat het klimaat werd overheerst door veel regen en lagere temperaturen; III de warmere periode; IV een overgangsfase met sterke weersverschillen; V de Kleine IJstijd waarin de winters streng waren, rivieren vaak dichtvroren met kruierend ijs in het voorjaar; VI de huidige warmere klimaatperiode, tenderend naar verdere opwarming.
- b) De Zuiderzee heeft zich na 1170 in fasen ontwikkeld en tegen het einde van de Hoge Middeleeuwen ontstond de basis van het huidige Kampereiland; tot het einde van de Gouden Eeuw was deze binnenzee grotendeels zoet en nadien werd

het een hoofdzakelijk brakke binnenzee. In 1932 werd het IJsselmeer ingepolderd.

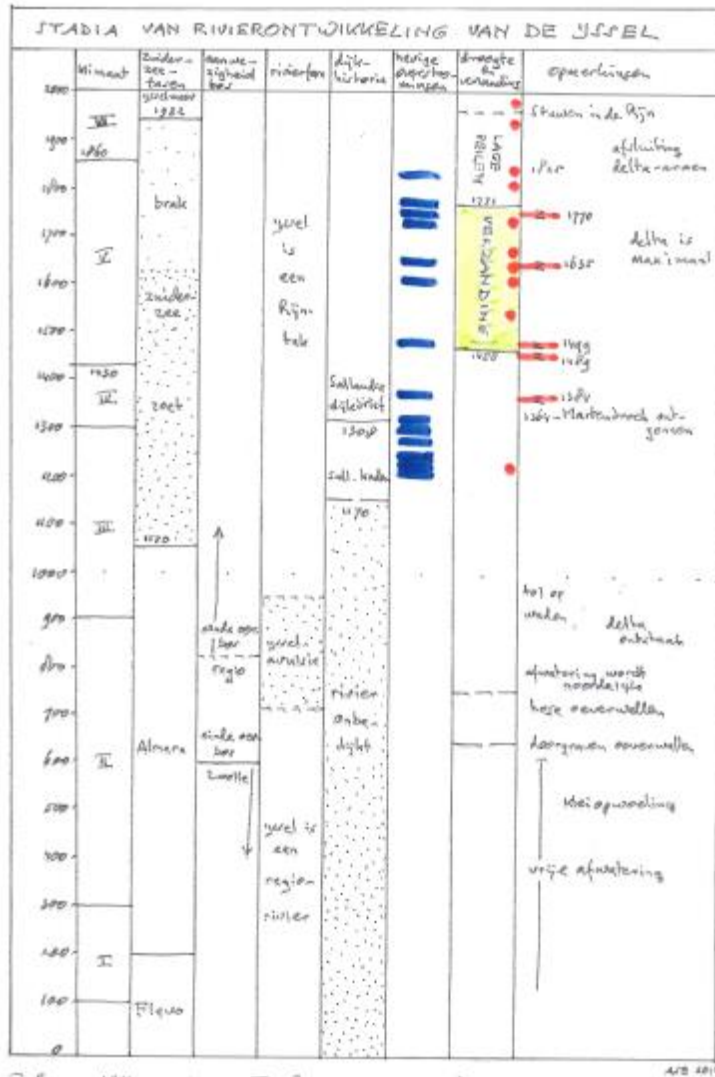
- c) De Zwolse oerbossen in het Voorsterbroec zijn medio de zevende eeuw bedolven onder een kleilaag en afgestorven. Wellicht was die klei afkomstig uit het IJsseldal, maar waarschijnlijker is dat het meegevoerd is door beken vanuit het Duitse Münsterland.
- d) De IJssel was tot circa 700 een regionale afwatering, gevoed door tal van kleine zijbeken uit de regio die we nu Salland en de Veluwe noemen. Verder werd ze gevoed door laaglandbeken uit de Achterhoek en aanpalende Duitsland (West Münsterland), maar nog niet door een verbinding met het Rijnstelsel. Door avulsie is in de periode tussen 700-950 de verbinding met de Rijn tot stand gekomen en ontstond er een continu stromende rivier
- e) De IJssel was vermoedelijk al van kaden en lage dijken voorzien rond 1169, maar een gezamenlijke dijkbrief in 1308 geeft zekerheid dat er aan de Sallandse kant al van af dat moment sprake is van een doorgaande en gezamenlijk onderhouden dijk langs de IJssel; de dijk aan de Gelderse kant wordt pas in 1370 aangelegd. Ondanks dat er zijlen in de dijken zitten watert vanaf de Hoge Middeleeuwen het hele Sallandse poldergebied al in noordelijke richting af. De dijken richting het huidige IJsselmuiden vallen onder een eigen dijkrecht. Hiervan vinden we aan de Gelderse kant het spiegelbeeld.
- f) De IJssel kent sinds de allereerste bedijking vanaf 1169 drie perioden waarin de rivierdijken zwaar op de proef gesteld werden door hoogwater. De eerste fase met veel overstromingen dateert uit de periode van vóór de bedijking. De lage dijken van toen werden door aanhoudende regen geheel doorweekt en braken op tal van plekken door. De tweede fase beslaat de periode van 1308 tot het begin van de achttiende eeuw (1700). In die periode zijn de IJsseldijken op diverse plekken doorgebroken. De derde fase van overstromingen en doorbraken waarbij het Veecaterdijkgebied betrokken was dateert uit de periode 1680-1775(-1825). De Veecaterdijk, die als bandijk noordelijk tegen de IJssel aanlag, werd voor de zoveelste keer verder landinwaarts verplaatst.
- g) De IJssel is in een vrijwel aaneengesloten periode erg verzand geweest (tussen 1450 en 1780). In deze 330 jaar lange periode was de rivier ondiep tot bijna droogvallend, zodat er van scheepvaart in het zomerhalfjaar geen sprake was. Kampen als belangrijke havenstad (Hanze) kon het niet bolwerken en kon amper de gewoonlijke tol aan de brug innen omdat er tal van alternatieve waden waren. Tegen het einde van deze zandfase was de delta in haar monding maximaal uitgegroeid. In de extreem droge jaren zal de droge IJsselbedding bron van menig stuifduin geweest zijn. Juist in deze fase zijn in de bocht van Zalk de meest heftige dijkproblemen geweest. Toen is bovenop de vele dijkdoorbraken van Mastenbroek ook nog eens op tal van plekken de Veecaterdijk doorgebroken. Bij de laatste doorbraak zijn ook diverse omvangrijke herstelwerken aan de Zalker kant van de rivier uitgevoerd. De veronderstelde bochtverlegging bij Zalk is vermoedelijk in 1384 geschied. In de extreem droge jaren is het veen onder de winterdijklichamen waarschijnlijk aangetast, waardoor het water niet richting de polder kwelde, maar omgekeerd in de richting van de rivier.
- h) In de periode van 1770-1973 schommelde het rivierpeil op de IJssel sterk van niet bevaarbaar tot zeer hoog water. In 1973 werd de noordelijke Rijntak verstuwd en werd het peil op de IJssel hoger en constanter. In de afgelopen 20 jaar echter heeft ook de IJssel weer gedurende extreem droog weer een zeer lage waterstand hetgeen opnieuw tot slechte bevaarbaarheid leidde. In deze na-1770-periode

werden verschillende delta-armen definitief afgesloten: er bleven alleen de IJssel zelve (met het Kattendiep) open en permanent stromend en zijn zowel Goot als Ganzendiep twee armen die op open peil staan.



Figuur 27. Sluizen bij Driel, aangelegd in 1973. Vanaf dat moment fluctueert het peil op de IJssel minder en is de rivier beter bevaarbaar. Verstuwde rivieren hebben alle het probleem dat ze zich insnijden en daardoor de wijde omgeving draineren, zodat er verdroging optreedt.

De IJssel is vanaf medio 900 een permanent stromende riviertak van de Rijn geweest. De alsmaar groter wordende rivier kende vanaf dat moment verschillende ontwikkelingsstadia: een onbedijkte rivier tot 1170 en een bedijkte rivier tot heden. De IJssel is maar liefst 330 jaar onafgebroken verzand geweest, waarbij ze in droge jaren zelfs geheel droogviel. Tussen 1770 en 1923 is het rivierpeil aan sterke schommeling onderhevig geweest. In de periode vanaf de Sallandse dijkbrief in 1308 zijn er hooguit een tiental ernstige dijkdoorbraken geweest die soms door oorlog tot wel meer dan 10-jaar achtereen niet hersteld konden worden. Van zes doorbraken (1384, 1489, 1499, 1635, 1770 en 1825) weten we dat de "Veecaterdijk", die al lang een bandijk was, er zeer ernstig aan toe was. Vermoedelijk hebben die historische gebeurtenissen ertoe geleid dat hier nu spraken kan zijn in een dijklichaam met een gelaagde opbouw, en daarmee met het risico van piping door de dijk en door de directe ondergrond.



I Romein Klimaatoptimum II Vroeg Middeleeuws Klimaatdepresi
 III Warmere Tijd III Afwijkelingsfase II Kleine IJstijd
 IV Moderne Warmere Tijd

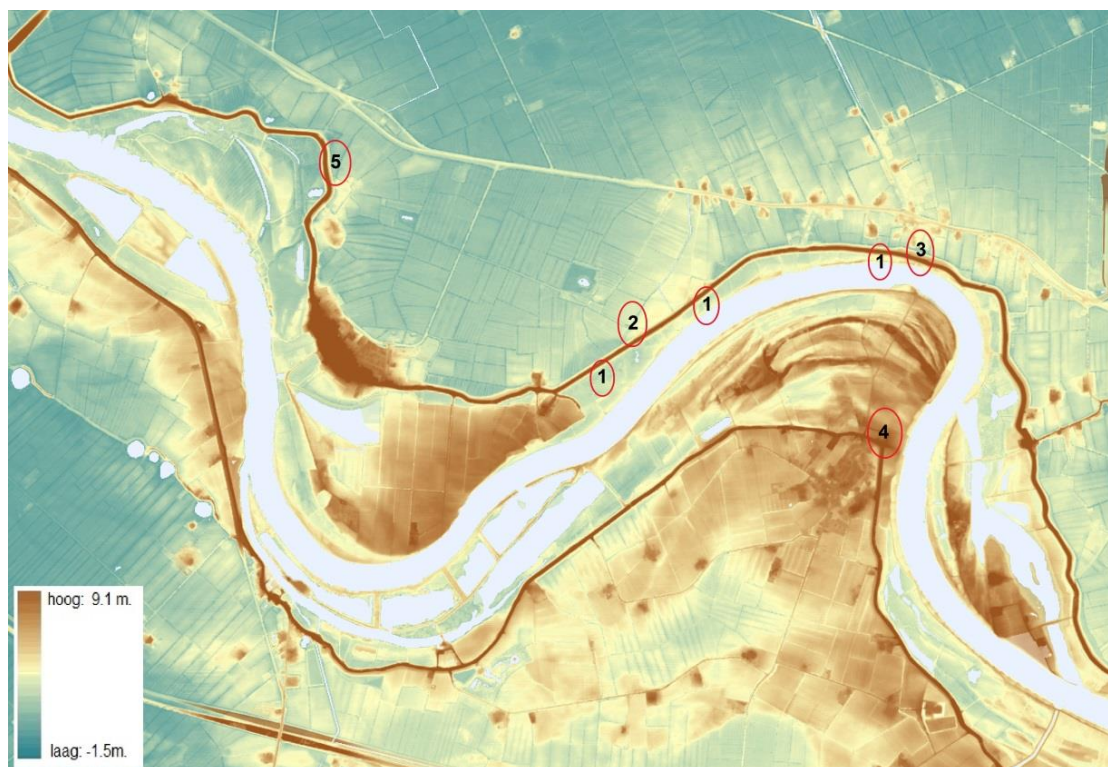
Figuur 28. Stadia van rivierontwikkeling van de IJssel. Opvallend zijn de ruim 3 eeuwen durende verzandingsfase en de periode waarin ernstige overstromingen in dit gebied tot in de verre omtrek huisgehouden hebben. De laatste ernstige overstroming dateert uit 1825.

5 Conclusies

De centrale vraag in dit onderzoek is waar, op basis van historische informatie, in het dijkvak Veecaterdijk (figuur 29) verhoogde risico's van piping aanwezig zijn. Ook elders langs en in de dijken rondom de polder Mastenbroek zijn plekken met een verhoogd risico op piping, maar deze maken geen deel uit van dit onderzoek.



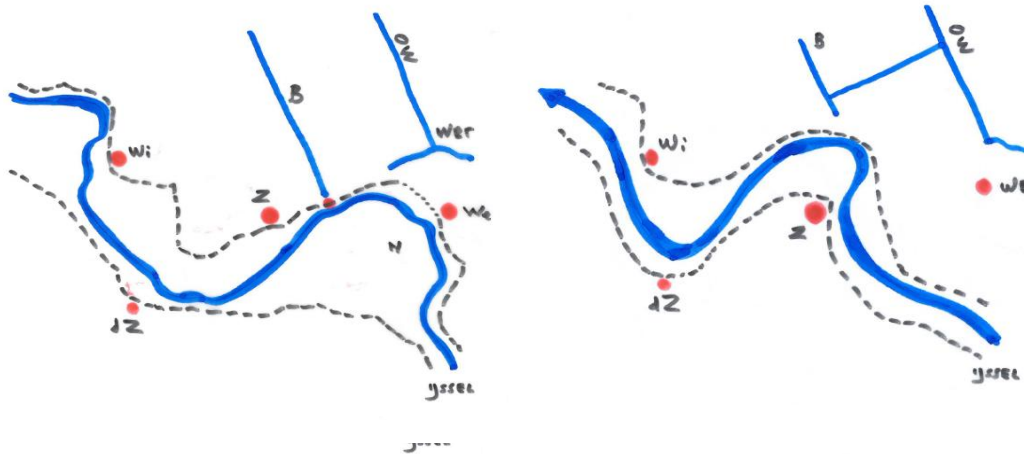
Figuur 29: Gedeelte van de bandijk bij Veecaten, waarop dit onderzoek betrekking heeft.



Figuur 30. Uitsnede van de Algemene Hoogtekaart Nederland (AHN) rond de Veecaterdijk, met daarop vijf locaties waar naar verwachting sprake is van verhoogde pipingrisico's.

Voor het dijkgedeelte langs de IJssel in figuur 30 worden 5 locaties met pipingrisico's aangegeven.

1. Voor het gehele stuk dijk tussen boerderij Harsenhorst (punt 10-6.8 op de kaart) en de oostzijde van Veecaten geldt dat het huidige dijklichaam is opgeworpen bovenop het destijds aanwezige maaiveld. Hierdoor is sprake van gelaagdheid, van verschillende typen bodemmateriaal (zand, klei en zelfs veen) waardoor pipingrisico's aanwezig zijn op het grensvlak van dijk en ondergrond. De latere dijken bestaan tot in de ondergrond uit één type materiaal waardoor deze veel veiliger zijn.
Bovendien geldt voor het hele dijkvak dat de IJssel sinds 1444 in deze buitenbocht de dijkvoet voortdurend tracht te ondermijnen. Dit zijn dan ook de gevaarlijkste dijktypen die we in ons land hebben.
2. In de banddijk tussen de punten 10-6.0 en 10-5.6 is eveneens sprake van een verhoogd risico van piping. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door het grotere hoogteverschil tussen de binnendijkse laagte en het buitendijkse gebied. Bij hoge waterstanden ontstaan er relatief grote drukverschillen die gepaard gaan met kwel. Anderzijds is het juist in dit gedeelte van de dijk waar provinsorische herstelwerkzaamheden plaats gevonden hebben met gebruikmaking van materialen als planken, palen en takkenbossen welke later weer afgedekt zijn met grond. Door de heterogene opbouw van het dijklichaam zijn de risico's op piping hier extra groot.
3. Op de plaats waar de vroegere Bisschopswetering in verbinding stond met de IJssel werd IJsselwater de polder via een sluisje ingelaten voor bevloeiing (zie figuur 31). Nadat de IJssel zich tijdens een heftige overstroming (rond 1440) had verlegd naar de noordkant van Zalk, is het zuidelijke deel van de Bisschopswetering verzand. Later werd hier overheen de nieuwe banddijk aangelegd.
De verzande Bisschopswetering onder de dijk heeft bij hoogwater minder weerstand voor kwelwater in vergelijking met de aangrenzende ondergrond van zand en klei-op-veen die er al lagen. Hierdoor is het risico op piping hier relatief groot.
4. Zalk ligt op een zandige oeverwal waarop na 1440 de nieuwe IJsseldijk gebouwd is. Door de zandige ondergrond van deze dijk treedt bij hoogwater kwel op die binnendijks te herkennen is aan de zandwellen (zoals in figuur 14 is afgebeeld). De zandwellen zijn goed te herkennen als hoopjes zand in het grasland, te vergelijken met grote kwallen, zoals die wel op het strand liggen. Ook hier is sprake van een verhoogd piping-*risico*.
5. Omstreeks 1390 werden het Sallands dijkrecht en het Mastenbroeker dijkrecht geïntegreerd. Bij Nieuwstad lag de grens. Stroomafwaarts van Nieuwstad gold het Mastenbroekse dijkrecht en stroomopwaarts het Sallands dijkrecht. De manier van dijkenbouwen verschilde nogal, zodat op het 'laspunt' waar de twee typen dijken samenkomen naar verwachting sprake is van een zwakke plek in de dijk omdat opbouw en de aard van het materiaal niet goed op elkaar aansluiten. Hierdoor is op deze plek een verhoogd risico op piping te verwachten.



Figuur 31. De IJssel bij Zalk: situatie vóór (31a, links) en ná (31b) de grote overstroming van 1444. Wi=Wilsum, dZ=de Zande, Z=Zalk, We=Westenholte, Wer=Werkeren, B=Bisschopswetering, OW=Oude Wetering, N=Nieuwland. Tot 1444 (31a) is de IJssel een vrij kleine, sterk kronkelende rivier die tamelijk dicht langs de terreinhoogte loopt waarop Westenholte en kasteel de Stins liggen om stroomafwaarts haar loop zuidelijk van het huidige Zalk te vervolgen naar het huidige gehucht de Zande. In het verlengde van de Bisschopswetering ligt een sluisje aan de noordzijde van de IJssel. Via dit sluisje kon rivierwater met slib de wetering instromen om het noordelijke veengebied te bevoeien. De IJsselbochtverlegging (31b) vond plaats als gevolg van de grote overstroming in 1444, waarbij de IJssel zich als rivier aanzienlijk vergrootte. Vermoedelijk was het sluisje de zwakste plek in de dijk en de oorzaak van de doorbraak. Zalk kwam door de bochtverlegging zuidelijk van de IJssel te liggen en de voorheen noordelijk van de rivier gelegen Zalkerdijk werd de zuidelijke IJsseldijk. Tijdens deze gebeurtenis verlegde de IJssel haar loop van nabij Westenholte naar westwaarts van de huidige Ruitenbergh (=Vreugdenrijkerwaard). Het gebied dat door aanwassen westelijk van Westenholte ontstond, heet het Nieuwland. Na de bochtverlegging volgde een periode met veel rivierdynamiek waarbij noordelijk van Zalk een aantal oeverwallen werden opgeworpen die nog steeds herkenbaar zijn als richels (kronkelwaard); elders werden rivierduinen gevormd.

6. Literatuur

Baarle, C. van (2009). Handel en Wandel op de Veluwe. Tussen prehistorie en historie. Zalsman Kampen.

Baaijens, G.J., E.B. Brinckmann, P. Dauvellier & P. van der Molen (2011). Stromend Landschap. Vloeiweidenstelsels in Nederland. KNNV Uitgeverij, Zeist.

Baaijens, G.J., F.H. Everts & A.P. Grootjans (2001). Traditionele bevoeiing van grasland. Een studie naar vroegere bevoeiing van reservaten in Pleistoceen Nederland, alsmede enkele boezemlanden. Expertisecentrum LNV. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Wageningen.

Bakker, A (1993). Lexicon van het Nederlandse Landschap (voorlopige versie; Google).

Bakker, H. de, en W.P.Locher (red.) (1990). Bodemkunde van Nederland. Deel 2, Bodemgeografie. Malmberg Den Bosch.

Beek, R. van (2009). Reliëf in Tijd en Ruimte. Interdisciplinair onderzoek naar bewoning en landschap van Oost-Nederland tussen vroege prehistorie en Middeleeuwen. Thesis. Sidestone Press. Leiden.

Beens, H (2003). Schakels in de tijd. Deel 1. Uitgave Henk Beens. Genemuiden.

Beens, H (2014). De Genemuiden fondsen, een glimlach van de tijd. Uitgave Stichting Stadswacht Genemuiden. Genemuiden.

Beernink, J.J.Ph. (1937). Waterbouwkundige werken der oudheid in Nederland. Uitgave van de N.V. Uitgeversmaatschappij Ae. E. Kluwer, Deventer.

Berendse, F. (2011). Natuur in Nederland. KNNV-Uitgeverij. Zeist.

Beukers, E. (eindred) (2011). Atlas van Nederland in het Holoceen. Landschap en bewoning vanaf de laatste IJstijd tot nu. Uitgeverij B.Bakker. Amsterdam.

Beyer, L. (1992). Die Baumberge. Landschaftsführer des Westfälischen Heimatbundes. Aschendorf Verlag. Münster.

Bieleman, J (2008). Boeren in Nederland. Geschiedenis van de landbouw in de periode 1500-2000. Uitgeverij Boom.

Boer, D.E.H. en E.H.P.Cordfunke, 2010. Graven van Holland. Middeleeuwse vorsten in woord en beeld (880 – 1580). Walburg Pers. Zutphen.

Brunsveld, M. & A. Corporaal (2008). Halfnatuurlijke graslanden: herkomst van de plantensoorten, ontstaan en ontwikkeling. In: J.H.J. Schaminée & E.J. Weeda (red.), Grenzen in beweging. Beschouwingen over vegetatiegeografie. KNNV Uitgeverij, Zeist, pg. 112-130.

Corporaal, A en A.H.F. Stortelder, 2014. Historische informatie dijktracé IJssel ter hoogte van Mastenbroek. Alterra-rapport.

Buisman, J. (2011). Extreem weer! Een canon van weergaloze winters & zinderende zomers, hagel & hozen, stormen & watersnoden. Van Wijnen, Franeker.

Corporaal, A., R. Koopmans & R.L. Kooman (2014, in druk). De HKG-methode, een nieuwe methode om het risico op piping beter beheersbaar te maken. Arnhem.

Clevis, H (2005). Verleden bossen. De opgraving van een moerasbos in Zwolle-Stadshagen. In: Clevis, H (red) (2005). Archeologie en Bouwhistorie in Zwolle 5. Gemeente Zwolle, afdeling Stad en Landschap.

Clevis, H. en M.Klomp (eindred.) (2005). Havezathe Werkeren. De heren van Werkeren en hun kasteel. Stichting Promotie Archeologie. Zwolle.

Clevis, H. en Th. Landau (red) (2004). Verleden bossen. De opgraving van een moerasbos in Zwolle-Stadshagen. Archeologische Rapporten Zwolle 16.

Darwin, C (1859). Het ontstaan van soorten (vertaling van: The Origin of Species by Means of Natural Selection). Uitg.: John Murray. London.

Eekhoorn, G.J. (1985). Natuur in de IJsseldelta, 1. Het Zalkerbos. Vereniging voor Natuurstudie en –bescherming “IJsseldelta”. Kampen.

Everard, M (2005). Water meadows. Living treasures in the English landscape. Forest Text. Ceredigion. UK.

Fockema Andreae, S.J. (1950). Studiën over waterschapsgeschiedenis. II Salland.

Groenhuijzen, M., 2009. Noordschil Westenholte. Archeologische Rapporten Zwolle 53. Zwolle.

Groenhuijzen, M., 2011. Een Gasselte B-Boerderij op “De Weide Steen”. Archeologische Rapporten Zwolle 59. Zwolle.

Gottschalk, M.K.E. (1971). Stormvloed en rivieroverstromingen in Nederland. Storm surges and river floods in the Netherlands. Deel I. De periode voor 1400. Assen.

Gottschalk, M.K.E. (1975). Stormvloed en rivieroverstromingen in Nederland. Storm surges and river floods in the Netherlands. Deel II. Periode 1400-1600. Assen.

Gottschalk, M.K.E. (1977). Stormvloed en rivieroverstromingen in Nederland. Storm surges and river floods in the Netherlands. Deel III. Periode 1600-1700. Assen.

Grutter, B. & A. Corporaal (2011). Kievitsbloemen en bondgenoten: samen succesvol. In: J.H.J. Schaminée et al. (red.), Gewapende vrede. Beschouwingen over plant-dierrelaties. KNNV Uitgeverij, Zeist, pg. 88-106.

Gulikers, J. en A. van Halem (2010). Buurtschap IJsselzone. De voortuin van Zwolle. Vereniging Buurtschap Zwolle. Zwolle.

Corporaal, A en A.H.F. Stortelder, 2014. Historische informatie dijktracé IJssel ter hoogte van Mastenbroek. Alterra-rapport.

Gulikers, J. & A. van Halem (2013). IJsseldelta. Nationaal Landschap in beeld. Uitgave IJsselakademie. Kampen.

Hamming, C. (2010). Tussen vecht en Schipbeek. Veranderingen in de waterafvoer in Salland door natuurlijke en door menselijke invloed, een historisch-geografische studie. In: Clevis, H. en S.Wentink (red.) (2010). Overijsselsche Erfgoed. Archeologische en Bouwhistorische Kroniek 2009. SPA Uitgevers. Zwolle.

Hamming, C., M. Knibbe & G.C. Maarleveld (1965). Afzettingen van de IJssel, nabij Zwolle. Inleiding. Boor en Spade 14: 88-102.

Hartmann, F.K. (1974). Mitteleuropäische Wälder. Ein Bildband mit 212 Abbildungen. GFV, Stuttgart.

Heidemijtijdschrift, 1964. Nederlandse bodem in kleur. In: Tijdschrift der Koninklijke Nederlandse Heidemij, 75^{ste} jaargang. Arnhem.

Huisman, K. (1995). De Drususgrachten: een nieuwe hypothese. Westerheem 44: 188-194.

Huizinga, J. (2008). Herfsttij der middeleeuwen. Studie over levens- en gedachtenvormen der veertiende en vijftiende eeuw in Frankrijk en de Nederlanden. Uitgeverij Contact. Amsterdam en Antwerpen.

Kers, M (1998). Holland. Land of water. Watermanagement in the Netherlands. Terra Publishing Warnsveld.

Kleuver, J (1990). Tussen Dinkel en IJssel. Natuurgebieden in Overijssel. Staatsbosbeheer. Zwolle, Driebergen.

Klomp, M., 2008. Stinsweg. Archeologische Rapporten Zwolle 46. Zwolle.

Klomp, M., 2009. Dijkverlegging Westenholte. Archeologische rapporten Zwolle 52. Zwolle.

Kooistra, M.J., 2002. Overstromingen oorzaak afsterven Zwols bos in zesde eeuw. Nieuwe archeologische methode heeft onvermoede gevolgen. Boomblad.

Kooistra, M.J., 2003. Woodland of the past: results of the excavation of Zwolle-Stadshagen (The Netherlands), II, Development of the paleo-landscape in its hydrological context. Wageningen.

Kooistra, M.J. (2004). Ontwikkeling van het paleo-landschap in zijn hydrologische context. In: Verleden bossen. De opgraving van moerasbos in Zwolle-Stadshagen. AR Zwolle.

Kroonenberg, S. (2010). De menselijke maat. De aarde over tienduizend jaar. Olympus non-fictie/Amstel Uitgevers BV.

Locher, W.P. en H. de Bakker (red.) (1990). Bodemkunde van Nederland. Deel 1, Algemene bodemkunde. Malmberg Den Bosch.

Corporaal, A en A.H.F. Stortelder, 2014. Historische informatie dijktracé IJssel ter hoogte van Mastenbroek. Alterra-rapport.

Makaske, B., G.J. Maas & D.G. van Smeerdijk (2008). The age and origin of the Gelderse IJssel. *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw* 87-4: 323-337.

Marsman, D.J., S. Visser & R. Immink (2006). Italiëreis 'waterbestuurders Rijn-West' op 20 en 21 oktober 2006 aan de Powlakte.

Mensema, A.J. (2007). Inventaris van het stadsarchief van Zwolle, periode 1230-1813. Deel III. HCO Zwolle (p 968-969).

Middelkoop, H. (1997). Embanked Floodplains in the Netherlands. Geomorphological evolution over various time scales. Thesis. RUN. Drukkerij Elinkwijk BV. Utrecht.

Mooiweer J. en W.Koster (2003). Uit den ash kolk der vergetelheid. Geschiedenis van de stad Hasselt 1252-2002. Uitgave IJsselakademie. Kampen.

Neefjes, J. et al. (2010). Cultuurhistorische Atlas van de Vecht, biografie van Nederlands grootste kleine rivier. Zwolle.

Otten, H (2005). *Klimaat in beweging*. Tition Uitgevers BV. Baarn.

Pons, L.J. (1957). Bodemkundige studies No. 3 - De Geologie, de bodemvorming en de waterstaatkundige ontwikkeling van het Land van Maas en Waal en een gedeelte van het rijk van Nijmegen. Stichting voor bodemkartering, Wageningen.

Schilt, A. en A.Corporaal (2012). Vossenstaartgraslanden in Salland door de eeuwen heen. In: Schaminée et al (2012). *Geboeid door het verleden*. Beschouwingen over historische ecologie. Uitgave KNNV-uitgeverij. Zeist.

Sebus, J.H. (1923). De oudste geschreven berichten over ons land. *Tijdschrift KNAG*, serie 2.

Spek, T., F.D. Zeiler & E. Raap (1996). Van de Hunnepe tot de zee. De geschiedenis van het Waterschap Salland. IJsselakademie, Kampen.

Steenbergen, C., W. Reh, S.Nijhuis en M.Pouderoijen (2009). De polderatlas van Nederland. *Pantheon der Lage Landen*. Bema-Graphics Wommelgem.

Stortelder, A.H.F., P.W.F.M.Hommel, R.W. de Waal, K.W. van Dort, J.G.Vrielink en R.J.A.M. Wolf (1998). *Broekbossen*. KNNV-Uitgeverij. Utrecht.

Succow, M (1988). *Landschaftökologische Moorkunde*. Gebrüder Borntraeger. Berlin & Stuttgart.

Succow, M. und L.Jeschke (1990). *Moore in der Landschaft*. Entstehung, Haushalt, Lebewelt, Verbreitung, Nutzung und Erhaltung der Moore. Urania-Verlag Leipzig. Jena und Berlin.

Corporaal, A en A.H.F. Stortelder, 2014. Historische informatie dijktracé IJssel ter hoogte van Mastenbroek. Alterra-rapport.

Van den Berg, J.P. & D.M. van der Schrier (1987). Windesheim. Studies over een Sallands dorp bij de IJssel. Hoofdstuk 'Het water in het historische landschap van Windesheim' Uitgave van de IJsselakademie, Kampen.

Van den Berg, J.P. (2000). Zichtbaar verleden. Landschappen in Salland. TGU Oldenzaal.

Van den Berg, J.A. & J.P. van den Berg (2011). De Horte, waterschakelaar. In: Jaarboek 2011. Landschap Overijssel. Dalfsen.

Van der Schrier, D.M. (2011). Overijsselsche waterstaat in de kaart gekeken. Uitgave IJsselakademie. Kampen.

Van Vliet, M. (1961). Het hoogheemraadschap van de Lekdijk bovendams. Van Gorcum & Comp. N.V., Assen.

Velde, H.M. van der (red) (2007). Germanen, Franken en saksen in salland. Archeologisch en landschappelijk onderzoek naar de geschiedenis van het landschap en nederzettingen uit de Romeinse tijd en Vroege Middeleeuwen in centraal Salland.

Ven, G.P. van de (red.) (1993). Leefbaar laagland. Geschiedenis van de waterbeheersing en landaanwinning in Nederland. Uitgeverij Matrijs. Utrecht.

Wassink, H., 2013. Een archeologisch onderzoek op het perceel Westenholtweg 70. Archeologische Rapporten Zwolle 70. Zwolle.

W. Books (2011). Moderne devotie. Terug naar de bron met Geert Grote en Thomas a Kempis. Zwolle.

Wieberdink, G.L. (1990). Historische Atlas Overijssel. Uitgeverij Robas Produkties. Zwolle.

Wolters-Noordhoff (1990). Grote Historische Atlas van Nederland. Deel 3, Oost-Nederland 1830-1855. Groningen.

Wikipedia, 2014a. Grote Ontginning, in Wikipedia, de vrije encyclopedie.
<http://nl.wikipedia.org/wiki>.

Wikipedia, 2014b. Priester Hendrik, in Wikipedia, de vrije encyclopedie.
<http://nl.wikipedia.org/wiki>.

Willemse, N. en E. Boshoven, 2011. Fysisch-geografische kaart van het stroomgebied van Vecht, Dinkel en Regge. Uit: Cultuurhistorische Atlas van de Vecht, biografie van Nederlands grootste kleine rivier. Stichting RAAP. Amersfoort.

Wolfert, H.P. (2001). Geomorphological Change and River Rehabilitation. Case Studies on Lowland Fluvial Systems in the Netherlands. Thesis. Alterra Scientific Contributions 6. Wageningen.

Corporaal, A en A.H.F. Stortelder, 2014. Historische informatie dijktracé IJssel ter hoogte van Mastenbroek. Alterra-rapport.

Zeiler, F.D. (1995). Omarmd door IJssel en Zwartewater. Zeven eeuwen Mastenbroek. Uitgave IJsselakademie. Kampen.

Zeiler, F.D. (2004). Het ongrijpbare water. In: Overijsselsche Historische Bijdragen 119. Zwolle.

Zuidervaart, H.J. (1998) De Hoge Heerlijkheid Vrijhoeven onder Ter Aar: een 'mini-ambacht' in Rijnland. Leids Jaarboekje. Leiden.

6. Bijlagen

Op basis van circa 30 literatuurbronnen zijn zogenaamde 'leesaantekeningen' (zie bijlage 1 hierna) gemaakt die voor de context van de dijk langs de IJssel van belang zijn. Op basis van deze leesaantekeningen is een verhaallijn opgezet.

Bijlage 5a: Leesaantekeningen

Bijlage 6.1 Leesaantekeningen Cor Hamming, Tussen Vecht en Schipbeek.

CH- TVS	p117 117- 164	<p>In West-Salland is het dekzand grotendeels ontstaan uit zuidelijk riviermateriaal, ooit door de oer-Rijn afgezet. Dekzanden naast of rond een stuwwal worden gordeldekzanden genoemd. Dekzanden die in het Holoceen gevormd zijn heten 'stuifzanden'.</p> <p>belangwekkend artikel over de (grond)waterhuishouding in Salland</p>
	p123	<p>onder Berkum liggen Vechtzanden en onder de Spoolderberg en Schellerberg liggen Ijsselzanden. De ruggen of zandhoogten gerekend van af De Dieze, Ittersum-Assendorperlure en Assendorp-Zwolle blijken dekzandruggen opgebouwd uit 'zuidelijk' materiaal en duiden erop dat het gebied eertijds op de IJssel heeft afgewaterd en dat het gebied noordoostelijk van de Dieze op de vecht afgewaterde (zie ook p128, krt 6).</p>
	p124	<p>in het Subboreaal werd de IJssel - vreemd genoeg - natter, afgeleid uit het feit dat er veengroei ontstond langs de IJssel. Maar wellicht zijn ook als oorzaken te noemen: ontbossingen (afname spongiteit) gevolgd door akkerbouw (alleen vochtopname in groeiseizoen). Ook door winning ijzeroer verdween veel bos voor het benodigde houtskool-hout. Door veengroei in het Ijsseldal werd de waterafvoer sterk beperkt (er ontstond een soort doorstroomveen zo we dat uit de subborelae regio nu nog kennen). De afzonderlijke gevolgen voor verhoging van de grondwaterstand zijn vermoedelijk beperkt, maar de gezamenlijke wel. Tegen het einde van de Romeinse tijd begon de IJssel uit haar oevers te treden en daar werd klei afgezet. De eerstaafgezette klei was zwaar en vlak bij de geulen ook kalkrijk (zwarte oeverwalklei) en verderop waren ze kalkloos.</p>
	p125	<p>In de Middeleeuwen verkozen de boeren intermediaire plekken voor hun boerderijen voor de hogere akkers en de lagere weidegronden en een versterkte waterafvoer dmv gegraven afwateringen verlengde de graasduur voor het vee. Zulke gegraven waterlopen heten 'graven of leidingen' maar ook 'wetering'.</p>

- Ca vanaf de 3e eeuw (einde Romeinse tijd) trad de IJssel steeds regelmatig buiten haar oevers en haar kleiafzetting kwam verder het landschap in. In de loop van de 11e eeuw krijgt de IJssel meer water te verwerken met/door meer piekafvoeren. Dat kon de zeer ondiep opgeslibde IJssel(hoofd)geul niet meer verwerken, waardoor oeverwaldoorbraken en geulverleggingen optraden. Hierbij werd et ondiepe (zuidelijke) zand gemakkelijk opgewoeld worden en worden afgezet in de oeverwallen, bestaande uit lichtere zavel of lichte klei. Zulke oeverwalopbouw treffen we veelal in het Sallandse aan: lichter materiaal dat kalkrijk boven met zware, kalkrijke(siltige) klei onderop. Deze massale oeverwalvorming bemoeilijkt de natuurlijke afwater naar de IJssel uit de kom(klei)gebieden die wel water bleven ontvangen uit de hogere dekzandgebieden.
- p130 Om de afwatering te verbeteren groef men door deze walen heen: Randerzijl, Windesheimerzijl, Scherpen (nabij Den Nul) en Zielhuis (bij Wijhe). Later groef men dergelijke watergang noordwaarts om op het Zwartewater te kunnen afwateren. Met 4 weteringen heeft men afgewaterd op de IJssel: de Oude Wetering, de Nieuwe wetering, de Soestwetering en de Zandwetering.
- p132 het grenspunt van het dijkonderhoud aan de dijken vanaf Grafhost/Uiterwijk in zuidelijke richting liep tot het Windesheimerzijl. Geconcludeerd wordt dat de IJsseldijk er zeer vermoedelijk al in 1169 lag, toen er ook al sprake was van een Randerzijl (waarmee impliciet ook een dijk verondersteld wordt).
- p133 men heeft op vrij grote schaal 'klei gedolven' en op de armere zandlaag gespit, o.a. in de omgeving van Harculo, in Schelle, Assendorper Lure en Spoolde.
- p133 op natuurlijke wijze, nl door de bemoeilijkt afwatering op de IJssel, was wateraanvoer in noordelijke richting in de hand gewerkt, naar het Zwarte Water en de Vecht toe en toedertijd ook nog naar Mastenbroek (toen nog het Voorsterbroec) toe. Die toevoer werd pas bij Frankhuis-Konijnenbelten verhinderd verder te stromen naar de van nature lagere gebieden die daar lagen. Het is heel goed mogelijk dat met dit water ook klei aangevoerd kon worden dat lokaal in het stroomgebied van de 4 Sallandse weteringen terecht gekomen was, om as zo noordelijk weer te kunnen bezinken.
- p133 de Sallandse dijkbrief stamt uit 1308 en de Veluwe dijkbrief pas uit 1370. De dijkbrieven regelen niet de bouw van een dijk, maar het (gezamenlijke) beheer ervan. Vermoedelijk dateren zowel de Sallandse als Veluwe dijk uit de 12e eeuw (11....).
- p134 het ontstaan van een dijk wordt als volgt veronderstelt: op hogere delen ontstonden akkerbouwperceeltjes die door veldweggetjes verbonden waren; bij naderend hoogwater werden die weggetjes opgehoogd en zo ontstond er (geleidelijk) een soort dijktracé om de veldgewassen veilig naar de hoger gelegen boerderijen te kunnen afvoeren. Zo'n dijk zal er ongeveer als een zomerdijk/kade uitgezien hebben. Dijkherstel werd alleen bij schade gedaan en die dijkes fungeerden alleen als zomerdijken aangezien men het winterse (bemestende) hoge water wel op hun landerijen wilden hebben.
- p140 voordat Zwolle er was waren er Vechtgeulen/-lopen waarin huidige waterlopen stromen, en sedert er sprake is van bewoning is er geen actief stromende Vecht meer. Nog in het Atlanticum heeft de oer-Vecht westwaarts gestroomd tot in de loop van het huidige Zwartewater, maar al niet meer in het Subboreaal. Kooistra et al bepaalden een stuifzandlaag onder het oerbos van Stadshagen op 1406-1571 v Chr, direct onder de laag bosveen die daarna gevormd werd in de vernattingsfase. Behalve dat er langs de toenmalige Vechtloop een dun (tot 20 cm dikke) stuifzandlaag werd afgezet, ontstonden er ook rivierduinen Dalfsen-Hoonhorst-Wythmen-Herfte-Berkum-Langenholtte-Hasselt. In die tijd heeft de vecht daarlangs gestroomd en al niet meer door het tracé van de Grote Aa, want dat zijn dekzandruggen. Vermoedelijk in het vroege Subboreaal heeft de Vecht haar moderne loop betrokken en heeft ze het veel rechtere tracé gevormd met terweerszijden jong/recent gevormde zanden.
- p144 Soes>>>>afgeleid van Soe(s), naam voor watertje dat daar destijds lag, niet van Soeslo; de naam "Zoes" komt ook voor.
- p145 langs de IJssel is de meeste komklei afgezet inde periode 200-800 n Chr
- p149 in 1308 geeft bisschop Guy van Avesnes opdracht om een plan te maken voor de verkaveling en verdeling van de woeste gronden in het Liederboroeck, en deze plannen waren in 1312 - 4 jaar later - klaar. Boerengemeenschappen hadden deze gronden echter al in gebruik voor weide en geriefhout.
- 1573 p153 Van Doorninck (1828) noemt een dijkdoorbraak bij Harculo, waarbij heel veel zand naar binnen gespoeld is

afwatering op de IJssel is geleidelijk, mn door allerlei gegraven bij Zwolle, overgegaan op afwatering op de Vecht (via het Zwartewater). Door handel werd de waterbehoefte voor de Grote Aa sterker en de bronnen werden hiervoor in Sekdoorn gevonden. Maar door het graven van de Nije Graven (u Thorbeckegracht-Almeloos Kanaal) werd het nodig om een aansluiting op de Zandwetering te realiseren in ca 1350. Die zandwetering is in 1573 bij een doorbraak dichtgespoeld.

Bijlage 1 b: Leesaantekeningen Archeologie Zwolle

ArchZw

opmerkingen uit data omtrent de Konijnenbelten (omvat Voorst en Westenholte). Situatie van rivierafwaarts een komkleigebied en nabij de rivier kalkrijke klei- en zandafzetting. In de Weichsel-ijstijd was de IJssel een lokale rivier, gevoed vanuit de Achterhoek (Berkel, Oude IJssel en tal van beken). Toen de IJssel een lokale rivier was, had deze veel zand- en grindbanken met tussenliggende stroomgeulen. Door verstuiving van die zandbanken werden oostelijk van de geulen rivierduinen opgeblazen en de Konijnenbelten is zo'n duincomplex. Een deel van die duinen ontstond nog in het Holoceen, zeg 9000-8000 v Chr. De bodems van deze duinen bestaan uit humuspodzolen, maar door allerlei vergravingen is daar weinig meer van over. Bewoning/menselijke activiteit is te dateren op 8254-7979 v Chr en vormen de oudste menselijke activiteit binnen Zwolle. Daarna, pas uit de 12e en 13e eeuw dateren 2 greppels en enkele paalkuilen, en een 3e concentratie vinden we hier uit de Late Middeleeuwen waarbij het gaat om sporen van een omheining of perceelsgrens.

Toen in het Subboreaal het IJsseldal natter werd ontstond op de eerder afgezette laag beekleem de veengroei te ontstaan (2120-1890 v Chr), die ergens rond het begin van de jaartelling eindigde. Op dat veen is weer zand en klei afgezet vanuit de IJssel. De eerste kleiafzetting (nu buitendijks) is te dateren op 564-666 n Chr.

na de 7e eeuw voert de IJssel meer water af met piekafvoeren in de 11e en 12e eeuw; het smalle IJsselbed raakt op verschillende plekken gebroken en er ontstaan vrij veel oeverwaldoorbraken>overslaggronden. Pas vanaf de 14e eeuw is er sprake van een doorgaande bedijking langs de IJssel, vermoedelijk voorafgegaan door (meer lokale) zomerkaden.

De 1e melding dat er een dijk is stamt uit 1169, wanneer er een dam met uitwateringssluis in de "nieuwe gracht"geplaatst wordt.

Een zeer beruchte overstroming is die van 1825, waarbij er maar liefst 65 gaten in de dijken van de IJssel, het Zwarte Water, Zuiderzee en Vecht geslagen worden.

In het overgangsgebied tussen Vecht en IJssel zijn dekzandruggen(Jonger Dekzand) gevormd die op de - eertijds bevroren ondergrond op een diepte van ca 4 m - NAP - zijn opgestoven. Deze ruggen (luren) liggen ongeveer zuidoost-noordwest.

Het eerste kasteel - gebouwd in de 12e eeuw - is in 1224 vernietigd door de bisschop van Utrecht (Otte II) en weer opgebouwd rond 1280 om daarna definitief vernietigd te worden in 1362 (door bisschop Jan van Arkel). Vermoedelijk is dit 1e kasteel een zgn mottokasteel, relatief eenvoudig en mn houten op een aarden heuvel. Het 2e kasteel is (vermoedelijk) uit tufsteen en baksteen (kloostermop-formaat) opgetrokken en was veel weerbaarder; de toenmalige kasteelheer was rijk.

Tijdens een reisbeschrijving in 1819 liep men o.a. over de Konijnenbelten waar een afwisselend landschap van weilanden en heidegronden. In 1832 is er sprake van bouwgrond en heide.

De dekzandrug in Westenholte ontstond in het Laat-Glaciaal (Jonger-Dekzand) in 13.000-10.000 v Chr.

Het oude (2e) kasteel Voorst is gevestigd op zo'n dekzandrug.

Bijlage 1 c: Leesaantekeningen Hoge Heerlijkheid "Vrij Hoeven"

HHV 11e/12e eeuw

ontginning:

de ontginning verliep volgens een vast plan en begon aan haar basis, bv een riviertje of een gegraven watergang, waarop 'ontginningshoeden' uitgezet werden, diep de wildernis in. De ontginning verliep in 'blokken'. Een standaard "Vrije Hoeve" heeft een breedte van 30 roeden = 103-113 m en - mn in het westen - moet aan zo'n hoeve een even groot stuk wildernis parallel hieraan lopen.

In hoeverre dit ontginningsmodel ten grondslag heeft gelegen aan de ontginning van de polder Mastenbroek is de vraag.

Bijlage 1 d: Leesaantekeningen Wikipedia Grote Ontginning

wiki- GO	periode 900-1200		De "Grote Ontginning" voltrok zich vooral in de Hollands-Utrechtse laagvlakte in een oorspronkelijke onontgonnen moerasgebied.
		800	eerste bewoning vanuit de duinstreek langs natuurlijke waterlopen.
	einde 900		De plundertochten van de Vikingen eindigden en de rust keerde terug; de koude-natte Karolingse tijd ging in een warmere periode over. Het Karolingse domeinstelsel verhinderde ontginningen doordat het een 'gesloten, sterk hiërarchische en planmatige organisatie was', waardoor er alleen mogelijkheden waren om door bedijkingen stukken kustgebied om te zetten tot weidegronden. herendiensten raakten afgebouwd en werden door 'cijns' (eerst in natura, later in geld) vervangen, want de horigen van een domein dreigden weg te trekken om elders 'kolonist' te worden. Het 3slag-stelsel kwam in zwang en de ploeg moderniseerde van houten haakploeg naar ijzeren keerploeg, en voor ossen kwamen paarden. Hongersnoden kwamen er steeds minder door betrouwbaardere teelten.
		1000	
		1100	de landsheer beschikte traditioneel over de woeste gronden, in casu vielen toe aan de graven van Holland en de bisschop(pen) van Utrecht.
	ruim 1000- tot einde 1100		Vloeden in de 12e eeuw (1163=St-Thomasvloed, 1170=AllerHeiligen Vloed en 1196=Stnicolaasvloed) maakten aan de eerste ontginningenreeks een einde, omdat uit het Almere de Zuiderzee ontstond, die van grote invloed was op de hydrologie van West-Nederland. Rivermondingen verzandden toen.
			Begin 1200 begon een 2e reeks ontginningen door de wat lagere stukken met bos aan te pakken: de wou of woude-ontginningen, gevolgd door ontginningen van de wat hoger gelegen veengebieden. Kolonisten hoopten vurig op betere tijden en stichten gebieden met namen als Kockengen (Cocagne = Luilekkerland). Je had natuurlijk wel ontginners nodig en daartoe werden nieuwe kolonisten aangetrokken wat zelfs een conflict veroorzaakte in 1018 tussen de keizer (van Duitsland) en Dirk III, graaf van Holland en wat geleid had tot de Slag bij Vlaardingen in 1018. In die periode werden met ontginners overeenkomsten gesloten tussen de graven&bisschoppen, de zgn copen. De ontginners kregen de grond in eigendom en ze kregen de status van vrije boeren. Omstreeks 1300 was het gehele hart van Holland ontgonnen en gaf de graaf het land rechtstreeks aan de kolonisten. Deze kolonisten betaalden er een recognitietijns (= ontginningsbelasting) voor. Dit bedrag werd steeds omvangrijker en ging meer en meer op een belasting lijken, de bede. Die cijns (belasting = bede) werd vaak omgezet in pacht die voor 3 jaar gold of voor een veelvoud er van. Ontgonnen veengebieden werden ontwaterd en het verdrogende veen werd gebrand. De ontginning verliep volgende de Fries-Hollandse ontginningmethode. hongersnood en pestuitbraken verorzaakten op het platteland een overschot aan arbeidskrachten en in de steden was er juist een tekort. Op de venen ging men meer en meer over van de verbouw van 'zware broodgranen' naar 'lichtere' granen als haver en gerst en handelsgewassen als vlas, hennep en kool- of raapzaad. Het werkte op den duur weer schaarste aan broodgraan in de hand, waardoor schippers dit graan tot uit de Oostzee gingen halen; deze handel werd moedernegotie genoemd en was omvangrijker dan de Hanzehandel.
		1315-1317	

Bijlage 1 e: Leesaantekeningen Graven van Holland, 880-1580.

	periode 9e eeuw-begin		
deBCo	80-jr oorlog	p9	Hollandse graven regeerden de Hollandse kustgewesten, beginnende in 885 met Gerulf en eindigend met Filips de II, in totaal meer dan 35.
	medio 9e eeuw	p16	kaartje van "Bert Stamkrot, Kartografisch bureau MAP, Amsterdam" toont zgn nederzettingenconcentraties en de Almere is nog van de zee gescheiden.
	ca 1050	p35	Floris I huwde de saksische Geertruid, dochter van de machtige Saksische hertog Bernhard II, een huwelijk met veel politieke betenis. Deze hertog keerde zich erg tegen de toenemende bisschoppelijke bemoeienis aan het Duitse (keizerlijke) hof, iets dat later steeds vaker tot conflicten zou leiden

			toenmalige bisschoppen lagen vaak met hun Utrechtse burgerij overhoopt, reden dat naburige graven zich met die interne zaken bemoeiden, zo ook met de bisschopskeuze. In 1159-1160 ging Floris III zelfs met een leger Utrecht belegeren, en hij werd op zijn beurt weer aangevallen door de hertog van Gelre. Door de Duitse keizer werd in dit conflict bemiddeld, maar zo conflicteerden vaker belangen, mn als het om gebieden ging. In 1165 werd een dergelijk geschil door keizer Frederik Barbarossa bijgelegd en moesten beide eisers tesamen het gewraakte gebied in Midden-Friesland het gebied bestieren (het zgn Condominium). En zo was er de ene keer land, dan weer een waterstaatsvoorzieningen, en na verloop van tijd leidde het tot het ontstaan, na zware schade door stormen, van een hoogheemraadschap (zeg waterschap).
1159-1160	p57-59		
1234-1256	p79-p83		Graaf Willem II zag het belang in van de emancipatie van steden, als tegenwicht tegen de macht van Duitse vorsten. Hij stond een bond van Saksische steden toe. Ook Utrecht werd door hem gesteund zich los te maken van de invloed van de bisschop.
1296	p89-90		Florus V, graaf van holland, wordt vermoord. De graaf had nl van zins om de 'hoge adel' te feodalisieren, dwz weer in zijn leenband te laten lopen en dat pikten zij - onder leiding van de heren Van Amstel en Van Woerden - niet. Hij wilde een nieuwe administratieve indeling maken met baljuwschappen, iets dat zij niet pikten. In die broeierige sfeer van zeer onduidelijk binnenlands bestuur was het maar de vraag wie het er voor het zeggen had. Florus kende dit 'spel' heel goed en het had hem zelfs de bijnaam van "der keerlen God" opgeleverd.
1296-1299	p93-95		Jan van Avesnes was op 29-9-1296 met open armen ontvangen als tijdelijk opvolger van Florus V en ook als 'wreker'. Zijn nog jongere neef en zoon van Florus V werd nog aan het hof van de koning van Engeland opgevoed en in 1296 mocht hij trouwen met de Engelse prinses Elisabeth. Toen Jan naar Holland ging om daar weer te gaan regeren mocht Elisabeth niet mee omdat hij er - twee Engelse raadheren hadden hem hierover geïnformeerd- een anti-Engelse stemming onder de edelen heerste. Pas in 1297 kon hij zijn vrouw ophalen uit Zeeland, iets waar de Zeeuwse edele Wolfert van Borselen de hand in had gehad. Die werd in 1299 te Delft vermoord. Deels uit nood werd Jan van Avesnes de regent van de graafschap overgedragen voor de duur van 4 jaar, omdat - zo werd als reden opgegeven - hij vanwege zijn jonge leeftijd de bestuurlijke verantwoordelijkheid nog niet kon dragen.....! Met zijn 16 jaar voldeed Jan ruimschoots aan de toendertijd gestelde eisen ! Niet lang daarna stierf Jan zonder nakomelingen aan dysenterie, op 10 november 1299.

Bijlage 1 f: Leesaantekeningen Handel en Wandel Veluwe

CvB	kaart(fragment met de ijssel)	16e eeuw	kaart get door geograaf Chr.'sGrooten. Op de ijssel net zuidoost van kampen ligt een riviereiland, de rivier loopt noordelijk van Zalk en Wilsum ligt al op enige afstand v d rivier; waar caten heeft gelegen is een kerkje afgebeeld met de naam "Catten" erbij; er lopen een paar 'beekjes' vanaf de Veluwerand in de ijssel; Zwolle wordt niet afgebeeld.
	middeleeuwen	p9	onderzoek toonde de grootschalige ijzerindustrie aan in het mi en oo'van Ned en de internationale handel
	750-900	p9	Frankische tijd, gezag door overmacht v d Franken
	100-1200	p9	op de Veluwe en langs de vecht is ruim 55.000 ton ruw ijzer geproduceerd
		p11	voor 165 ton smeedijzer is 1700 ton hout nodig, een verhouding die neerkomt op ca 1:10 dwz er is ruim 10 ton hout nodig om 1 ton smeedijzer te fabriceren.
	middeleeuwen	p47	Voor de eerder genoemde 55.000 ton ruw ijzer is dus ruim 10x zoveel hout nodig (= 550.000 ton hout); een doorsnee volwassen bos heeft een voorraad vanton, dus er is minstensha bos nodig om al dat ijzer te produceren.
			in de 10e eeuw pleegt men tol te heffen 'in' de rivier omdat men hier op doorwaadbare plaatsen pleegt over te steken
	1444	p50	Coten of Katen, een kerkdorp, wordt dan geheel door de rivier ondermijnd en weggevaagd; in 1385 vaart de toenmalige bisschop van utrecht nog een overtocht met het veer; degenen die het veer uitbaatte had daarmee veel overmacht op het achterland, bezat zgn "gerechtigheid"
			Het veer had ook het recht van Veerstal (dat toekwam aan de kerk), die het in 1417 weer terugeste.
	13e en 14e eeuw	p50	De Ijssel is in die tijd minstens o bevaren als de Rijn en daarom was Zwolle zo een belangrijke havenplaats, en reden om het veer helemaal in handen te krijgen, wat in 1460 uiteindelijk lukte.

1444	p51	<p>De kerk v h kerkdorp Caten stond op de Gaesberg (oud-Ned. Voor Godsberg), in het latijn Mons Dei; vlakbij ontstond na 1176 Hattum en die plek verviel toen Hattum steeds meer het centrum v d parochie werd. De Gaesberg wordt tegenwoordig Gaasberg genoemd.</p> <p>Naast deze vervalen kerk is de St.Antonie Kapel gebouwd. Overigens deed de heuvel waarop de kerk gebouwd was, in 891 al eeuwen denst als Godsberg.....</p>
------	-----	--

Bijlage 1 g: Leesaantekeningen Archeologie en Bouwkunde, Zwolle, deel 4 en 5

ABZ-4	1386-1400	p101 ev	<p>het blijkt dat zwolle met de biscchop regelmatig onmin heeft als dat betrekking heeft op het wel en wee van het klooster op de Agnietenberg, waarbij geld steeds de oorzaak is</p>
ABZ-5	>1500-1929	p141 ev	<p>de visafslag te Zwolle op de Oude Vismarkt en Vispoortenplein werd gedurende bijna 450 jaar volgehouden en ging daarna ter ziele</p>
	150vC- 600nChr	p171ev	<p>moerasbos aanwezig te Stadshagen, wrsch is het bos gaan groeien tussen 6 en 102 nChr door grondwaterstijging wat weer leidde tot stijging v d zeespiegel</p>
		p175	<p>laagjes klei in het veen wijzen op nieuwe actieve waterlopen die er de klei op afzetten</p>
	>530 nChr	p175	<p>de veengroei stopt en het moerasbos raakt overstromd en ca 586 stierf de laatste eik, waarna het veen met klei afgedekt werd; het was lacustrische klei wijzend op een zoetwatermeer over langere periode</p>
		p175	<p>in het bovenbedoelde bos zijn geen sporen van menselijke activiteit, van vee of van wilde dieren gevonden</p>
		p175	<p>het bos heeft de volgende ontwikkelingen: begin een halfopen tot open bos met els; er zijn kruiden die duiden op menselijke activiteit in de omgeving; het bos ontwikkelde zich tot een Filipendulo-Alnetum-type</p>
		p177	<p>eiken en essen in dit max 700 jr oude bos werden ong eik=343 en es=245 jr oud; het groeiritme komt overeen met dat elders in NWEuropa en duidt op klimaatdynamiek</p>

Bijlage 1 h: Leesaantekeningen van Voor de Voorst

VvV	1280	p143	<p>complex kasteel de Stins is te dateren rond 1280 en een gering aantal vondsten duidt op nog vroegere activiteit</p>
	>1150	p150	<p>vondsten zijn te dateren in de 2e helft v d 12e eeuw en de 3 waterputten duiden op vroege bewoning aldaar van (behoorlijke) omvang</p>
		p151	<p>vondst van tufsteen als secundair bouw materiaal v h kasteel duidt op (gesloopt) bouw materiaal van een voornaam gebouw dat terplekke al gestaan moet hebben</p>
	1224	p151	<p>aldaar moet een eerder kasteel van Herman v Voorst gestaan hebben dat door de toenmalige Bisschop v U met de grond gelijk gemaakt is !!!!!</p>
		p151	<p>zeer interessante tekst die aangehaald wordt: hoewel..overstroming...neemt burchten (beiden Van Voorst) in....steekt Bukhorst in brand</p>
		p152	<p>de Van Voorsten waren zeer bemiddeld en hadden grote rijkdom door eigen-geërfdheid (alloidaal) en door feodaaliteit (via het leenstelsel): in het sallandse alleen al hadden ze naar schatting meer dan 1000 ha in eigendom en gebruik of verpacht; met de abdij van Essen waren zij dé grootgrondbezitters van het Oversticht</p>
	1295	p152	<p>Sweder en Herman van Voorst verklaren hun huis tot open huis voor de Graaf Reinold van Gelre, verm als tegenprestatie omdat deze het kasteel ontzet heeft van een belegering door de steden Zwolle, Kampen en Deventer; deze belegering kan het voorspel zijn van het bijna 100 jaar later uitgevoerde succesvolle beleg en vernietingen van het kasteel in 1362-63.</p>

Bijlage 1 i: Leesaantekeningen Burcht en bezit

BB	14e eeuw	p145	<p>hun kasteel (van de Sallandse familie Van Voorst) was het sterkste in Sticht en Oversticht</p>
	ca 1200	p146	<p>een ongedeelde hoeve in het Sallandse was ca 20 ha groot (16 morgen) en de grond lag bij de boerderij</p>
		p147	<p>boeiende kaart uit Geschiedkundige Atlas v nederland door Engelen van de Veen</p>
		p148	<p>alloidaal = eigen, en feodaal = leen</p>
		p149	<p>ruiming = vaststelling van de/een lijst met rechthebbenden; deze wordt de schout en 12 gezworen erfgenamen voor akkoord uitgevoerd en door een (gezworen) landmeter qua verdeling (toedeling) waargemaakt.</p>
		p150	<p>door bedijking was het areaal grond dat in gebruik genomen kon worden aanzienlijk toegenomen, en de bisschop (die ook het dijkrecht ingesteld had) kon daardoor ook zijn voorslag waar maken, bij voorrang zelfs wat hem, vanwege de voortdurende geldnood, goed uitkwam</p>

	p151	na bedijking, zo blijkt in Mastenbroek, neemt de waarde van de gronden aanzienlijk toe en ze konden tegen aanzienlijke bedragen worden verpacht
	p152-153	Van Beek vermeldt over mastenbroek dat het "Aanvankelijk één grote moerassige wildernis was", die door bedijking en inpoldering geleidelijk zich ontwikkelde tot een gebied met uitstekende cultuurgronden"
<<1362	p153	geschillen omtrent keuren en boeteheffingen liepen uit op een ware oorlog tussen de Van Voorsten en de steden en er werd regelmatig geroofd en gemoord
1336-1346	p153	de bisschop geeft in deze periode Salland in pandschap aan de graaf van gelre (!), maar dit wordt in 1346 weer ongedaan gemaakt
1349	p153	Zweder v Voorst en de Bisschop komen overeen een regeling omtrent de verdeling van mastenbroek maar na het uitbreken van de oorlog in 1361 tussen Zweder v Voorst en de steden en de hertog v Gelre maakte hier een definitief einde aan
	p153	de ontginning van mastenbroek betrof een ca 6800 ha groot gebied en eigenlijk hadden Van Voorst recht op 25% vh oppervlak !
	p154	Zwollenaren ergenden zich zeer aan de zachtmoedigheid van de bisschop jegens Van Voorst(en)
1361	p155	de bisschop staat zwolle toe om een gracht te graven door de "Lure"
	p156	de Van Voorsten bleken ook hoge ambten te hebben bekleed, zoals raadsman van de bisschop(pen) van Utrecht en ook dat van Drost van Salland.
	p158	Ho(n)ni soit qui mal y pense = schande aan hem die er (hier) schande van spreekt" zijn de afsluitende woorden van Van Beek
2120-1890 BC	p5	de eerste veengroei op de beeklemafzettingen in geulen in het Ijsseldal zijn van Subborale tijd; in het vroeg-Holoceen zijn aan de oostzijde van de stroomgeuelen rivierduinen afgezet en zowel in Spoolde als Westenholtte liggen dergelijke complexen
400-200 BC	p5	de laatste veengroei aldaar vond op de hoogste delen plaats; vernatting in het Ijsseldal vond (dus) in het subboreaal plaats
564-666 AD	p5	de eerste (kom)kleiafzetting op het veen binnendijs zijn afgezet, wat goed aansluit op buitendijkse dateringen vna tussen de 630-675 AD.
>7e eeuw	p5	de Ijssel voert meer water af met toenemende piekafvoeren in de 11e en 12e eeuw en de Ijssel kon in haar relatief smalle stroombed niet alles verwerken>>>doorbraken volgen
	p5	doorbraken doen bodemwoeling ontstaan waardoor kalkrijke oeverwalafzetting volgen
	p5	vanaf de bedijking in de Middeleeuwen werd er alleen nog maar in de uiterwaarden gesedimenteerd (met kleiig materiaal); veel van deze kleien is afgegraven
1169	p11	er is sprake (vlg Zeiler) van een uitwateringsslus met dam in de nieuwe gracht, duidend op een dijkachtige voorziening die daar al was
	p12	kaartje, waaop ook het "Nieuwe land" staat, westelijk v d Spoolder Enk
1825	p12	deze stormramp gaat gepaard met maar liefst 65 gaten in dijken; dijken vóór 1850 kenden pover onderhoud, waren smal en steil; de dijk werd in stukken aanbesteed wat gote verschillen in dijkvakken betekende en veel oneffenheden
>1843	p13	boerderijen aan de Spoolderenkweg dateren alle van na 1843; vrij veel oude boerderijen zijn door overstromingen verdwenen of zelfs weggespoeld

Bijlage 1 j: Leesaantekeningen Kampereiland

KE	va 1500	p12	de verzilting v d Zuiderzee raakt versneld door opruimen van laatste veenresten
	1862/1884		Kampereilanddijken worden fors verhoogd
	1871 evj		Ijssel- en zeedijken krijgen basaltglooiingen
	1932		afsluiting Zuiderzee
	ca 1200	p20	in de ondergrond vh Kampereiland, boven op de Valvatalaag uit ca 1200, een laag grof zand 'Ramspolzand' genoemd
	vóór 1425	p20	het ramspolzand is door de rivier afgezet, dit zand is door rivierklei afgedekt uit de Ijssel
		p20	er is al vóór 1425 een kleilaag dit voor steenbakkerij afgegraven wordt
	1364	p21	kampen verkrijgt de 'Kampereilanden' met de deal inzake mastenbroek, met een opp van 600 ha, een gebied dat gemiddeld al 15 cm boven gemidd waterstand lag
		p23	kaartje met reconstructie van de eilanden en de oude rivierlopen
	vóór 1682	p27	kampereiland: bewoners woonden al permanent op 'belten' die in de loop der tijd opgehoogd werden; deze belten liggen zonder uitzondering op de hogere oeverwallen

	1412	p27	de Elisabethvloed (1421) waarbij de Biesbosch gevormd werd, veroorzaakte dat de IJssel minder water ontvingen ging, waardoor deze verzandde
	1480	p28	het Zuiderdiep en het Noorddiep worden afgedamd, waardoor het rechte diep open en bevaarbaar bleef; ook Goot en ganzediep bleven op, maar deze waren voor de scheepvaart van minder belang.
	1603		de Garste wordt ook afgedamd
16e eeuw		p28	de IJssel is zodanig verzand dat met met paard en wagen de IJssel kon oversteken, iets dat in 1614 door Kampen verboden werd
	1302	p366	west v Kampen is in 1302 de Zwartedijk aangelegd

Bijlage 1 k: Leesaantekeningen uit het landschap rond Genemuiden

HlrG	1800-1200vChr	p11	grote plassen ontstonden die tesamen het meer Flevo vormden de klei is, vanuit zuid gezien, het dikste tot de lijn Zwolle-'s Heerenbroek, daar noord van 20-40 cm, maar tussen Genemuiden-Cellemuiden weer 80 cm op veen ruggen van lichte zavel langs het ZwWater worden als zeeklei beschouwd rondom Koekoek is de kleilaag weer heel dun
		p12	Drok verbindt hieraan conclusies: het gebied is door een rivier vanuit het zuiden overstroomd (geweest) en via het ZwWater is de zee Mastenbroek binnengedrongen
		p12	er lag een ononderbroken keten van rivierduinen van 's heerenbroek tot aan Grafhorst (zie Engelen v d Veen, 1924) waardoor slechts 2 riviertjes heengebroken waren.
rond 1150		p13	de IJssel gaat meer water voeren en de zeeinvloed neemt af; een laag zoetwaterschelpjes (Valvata-laag) wordt in ca 15 slechts afgezet
	1150		Kampereiland begint gevormd te worden
kort na 1150 (1170)		p14	het veengebied tussen Schokland en Elburg raakt doorbroken bij de Allerheiligenvloed in 1170
		p14	door deze doorbraak daalde het peil aanzienlijk, waardoor de IJssel dieper in haar bedding kwam te liggen en de zandige delta begon zich te vormen
omstreeks na 1170			de betere regionale afwatering zorgde ook voor betere bewoonbaarheid van deze veenregio
	1277	p15	Kampen kwam ook meer tot bloei omdat de IJssel beter bevaarbaar werd Friezen en Hollanden willen, et toestemming v d BvU Mastenbroek al ontginnen, maar dit gaat niet door
1200-1400			de IJssel erodeert grote stukken veen in haar mondingsgebied
ca 1600		p17	kaart waarop "Oude IJssel(loop) staat aan de zo-zijde van de Pieper, een loop die in de loop v d 19e eeuw verdween en ingeploderd raakte
ca 1600		p15- p18	mooie serie schetsen met afbeeldingen v het nw-deel van Mastenbroek-Genemuiden

Bijlage 1 l: Leesaantekeningen "Water meadows"

Wmea		p8	Mark Everard suggereert dat er al in de Romeinse fae sprake was van WHH ingrepen ook bedoeld om 's lands vruchtbaarheid te vergroten Meverhard cs melden ook dat water&landbouw al zo oud is als de menselijke agrarische civilisatie, dus zelfs 1000-en jaren terug gaat in de tijd
------	--	----	---

Bijlage 1 m: Leesaantekeningen "Landbouwgeschiedenis uit Nederland".

LgN	1568-1648	p50	door de 'krijg' trokken gedeserteerde, ontslagen of onbetaalde soldaten vaak in bendes over het platteland en ze brandschatten daar alles wat ze konden gebruiken; er was in dorpen 'geen korrel graan' meer te vinden en hele gebieden waren verlaten en bouwland lag er onbebouwd bij.
	1300-2000	p53	afgelopen 700-800 jaar is het aanwezige veenpakket wel 2 - 3 meter gedaald en in West-Friesland zelfs meer dan 3 1/5 m

			vetweiderij: in Holland, de kustgewesten (en ook in Mastenbroek) wordt aan vetweiderij gedaan. Hiervoor werden ossen gebruikt die eerst voorgemest waren op stal (stalossen) om daarna een lange tocht naar de opgroeigebieden te maken, iets dat gewoonlijk al in februari geschiedde om terplekke al tijdens de vroege grasgroei aanwezig te zijn; na een volle zomer weiden werden ze in het najaar weer teruggehaald/verkocht. De ossen werden in kudde van 40-meer dan 100 over land gedreven.
1500-1650	p84-86		
1500-1650	p100-101		binnen het veel toegepaste bedrijfstype met een infield en outfield hanteerde met binnen het outfield nog een gebruikintensiteit van percelen dat met dries of driesland noemde; deze percelen werden niet bemest en slechts eens per twee of zelfs twintig jaar geploegd en met zomergraan (haver) bezaaid; enige bemesting dan was de omgeploegde zode dus groenbemesting. Men deed dat om de bodemstructuur te verbeteren en niet om mest uit te sparen. Veel ossen waren als gecasteerde stierkalfjes eerst op de Drentse heidesteppe opgefokt om pas daarna vetgemest te worden samen met bijv Deens 'magervee'. Zulk Drents vee verhandelde men tot op de Vlaamse markten.
>1650	p187		eerst had men nog kaden om zich vrij individueel tegen het wassende water te beschermen, maar vanaf de 14e eeuw werd dat (eerst in het westen) steeds meer een aaneengesloten dijk(je); paradoxaal leidde die systematisch bedijkingen tot steeds lager liggende binnendijkse gronden omdat de rivieren hun uiterwaarden ophoogden, dijkdoorbraken werden dan ook steeds catastrofaler. Binnen het rivierbereik kwam daar meer-en-meer de kwel bij en die kon op zgn 'heibanen' tot zeer veel overlast leiden in het boerenbedrijf; bouwland bleef tot lang in het voorjaar 'koud' (= nat) en was het onkruid steeds sneller tot wasdom. Zo waren Neder-Betuwsche bouwlanden bekend (berucht) om hun ware bloementuinen van klaprozen, korenbloemen, kamille en herik; deze laatste is vooral tot veel last en kleurt de velden soms helemaal geel met een tapijt van bloemen. Dergelijke akkers kon men niet meer wieden en men verwijderde slechts de disters met een zgn 'wiedijzer'; de strijds tegen onkruid was veelal hopeloos en was erger dan de bestrijding van de kwel, die ook menig grasland in haar productie beperpte.
>1650	p188		akkerbouw op stroomruggen bestond uit eenzijdige korenbouw: tarwe, gerst en haver en op de hoogste stukken ook rogge ('eeuwige rogge'), soms met rotatie van bonen en erwten. De bonen werden voor de schapen gebruikt en samen gemengd met haver voor de paarden. De verhouding winter/zomergranen wisselde sterk door toedoen van de sterk wisselende hydrologische omstandigheden; op de beste stroomruggen werd ook koolzaad geteeld, nadat het land eerst gebraakt en gemest was (niet in deze regio); op de wat lagere gronden teelde men raapzaak (ook wel aveelzaad genoemd) en dat gewas kon beter natheid en vorst verdragen; bouwland was in deze streken überhaupt weinig aanwezig. Misschien beteelde men slechts kort en individueel de hogere stukken en noem men ze als 'meentegrond' wel tot tien jaar land voor de beweiding in gebruik.
>1650	p189		typisch voor het rivierengebied was de winning van 'handelshooi'; ook had men op de wat hogere stukken boomgaarden, soms was die gaard verpacht aan 'boomgaardlieden' die slechts de vruchten voor de verkoop plukten. Binnen het bedrijf speelden paarden uiteraard een grote rol maar er werd vrij veel aan paarden gefokt, maar ook varkens. Kortom, er was veel landbouwbedrijvigheid met een breed scala aan inkomsten.
1648-1650	p212		zeer natte jaren met massale diersterfte onder vee en paarden
1816-1817	p212		Idem
>1650	p218		door de dalende rentabiliteit in de landbouw in de weidestroken kwam ook de drang om in te polderen geheel tot stilstand: de grond- en pachtprizen daalden aanzienlijk en abrupt
>1650	p219		verslechtering van de (landbouw)economie werkte in de hand dat veel landerijen 'geabandonneerd' raakten (verlaten), wat door de symbolische spadesteking werd aangegeven; allerlei onderhoud (bv begreppeling) werd gestopt of geëxtensiverd was veronkruiding in de hand werkte; vooral de Moeraspaardestaart (giftig) stak veel de kop op.

Bijlage 1 n: Leesaantekeningen Moderne Devotie

MD	einde 14e E 1340-1384	p23	moreel verval in de RK met verschillende tegenbeweging, waarvan de Moderne Devotie er een was op initiatief van Geert Grote geboorte- en sterfjaar Geert Grote hij streefde verschillende dingen na, nadat hij aanvankelijk ook de geëigende weg naar voorspoed had gekozen hij wilde: geen persoonlijk bezit, gediensstigheid, armoe en kuisheid en hij betrok hier latijnse scholen bij in Zwolle en Deventer
----	--------------------------	-----	--

		in zekere zin voorbode v d Reformatie, maar er waren principiële verschillen: de potifcale structuur bleef hij aanhangen
1347	p23	de Pest kwam in Sicilië "aan land" en binnen enkele decennia ca 30% Europeanen dood: voedselschaarste, hoge prijzen voor arbiëd en boerenopstanden volgden en misoogsten volgden, waardoor ME-feodale structuren niet meer vanzelfsprekend waren
1378	p24	politiek verdeelde kardinale kozen kort na elkaar 2 pausen (Rome en Avignon) en werd het "westers Schisma" genoemd
1409		op een in 1409 gehouden concilie werd een 3e paus gekozen die zich in Bologna zetelde en die de eerdere 2 opvolgde, maar gedurende bepaalde tijd waren er dus 3 wat veel verwarring en uitholling v h gezag betekende
1355	p25	De "kerk" werd steeds meer symbool van machtspolitiek, corruptie, zelfverrijking, juist in een tijd van schaarste
1379 evj		op 15jarige leeftijd ging GG studeren in Parijs, om zich daar "langdurig en op onbeschaamde wijze over te geven" aan het rijkeluis-leven
		GG koos er uiteindelijk voor om kerkelijk recht te verkiezen, en om verder te komen was dit een logische keuze: universiteiten waren kerkelijke instellingen
		GG ging succesvol prediken en de regio en daarbuiten en de kerken puilden uit als hij dat deed en deze verkondigingen legden de basis voor de MD
		Thomas a kempis was één v d belangrijkste volgelingen van GG
		GG heeft veel nagelaten: traktaten, verdediging van het celibataire leven v priesters, tegen de bouw v d Domtoren (overbodig om de hoogste kerk v ned te willen hebben nen geldverslindend)
1383	p77	GG was diaken en hen werd een preekverbod opgelegd speciaal om het boetepreken onmogelijk te maken
1387		als eerste mannenklooster van reguliere kanunniken werd Windesheim gesticht, een klooster dat snel opbloede en veel navolging kreeg met de stichting van nieuwe mannen- en vrouwenklooster, maar ook door hervormingen in bestaande klostern
1377	p46	Joh Cele werd rector v d stadsschool in Zwolle en voerde met GG, met wie hij in 1377 naar Parijs was gereisd, veel gesprekken
		leerlingen werden oa ingezet om geschriften met opvattingen v GG "af te schrijven" en de onderwijsvorm raakte beken om niet te zeggen beroemd; op het hoogtepunt gingen er 800-1000 leerlingen daar naar school.....; zowel arme als rijke leerlingen leerden schrijven en lezen en kregen daarmee toegang tot de tot-die-tijd-ontoegankelijke bronnen van wetenschap, religie enz.
		sommige leerlingen werden zelf later ook weer bekend
		buitenlandse kinderen werden ondergebracht bij rijke Zwollenaren
		het exclusieve Latijn/latijnse teksten werden in de gewone taal vertaald !
1398	p50	met hulp van de rijke patriciër Egbertus Mulert, werd er op de (Sint-)Agnietenberg een klooster gesticht in lijn met de MD, en veel rijke burgers en edellieden deden hieraan mee; de eerste prior was Johannes van Kempen, broer van Thomas van Kempen (Th a Kempis)
einde 16e E	p58	de MD nam in betekenis inmiddels sterk af en de Reformatie
in de 14e E	p83	in de IJsselstreek kwam de economie (geleidelijk) tot bloei en Deventer was al tot de Hanze toetreden want kennelijk was de IJssel al bevaarbaar geworden
15e Eeuw		Zwolle vernieuwde en bekrachtigde haar lidmaatschap m d Hanze; de 15e E was de "Gouden Eeuw" voor Deventer en Zwolle
1407	p85	Zwolle wordt volwaardig lid v d Hanze en het prestige-object Sassenpoort was in volle aanleg
einde 15e eeuw		hoogtepunt van de MD viel samen met het econ hoogtepunt in de regio
		in de steden ontstond nieuwe goeude burgerij die een zelfbewuste rol opeiste, de feodale plattelandssamenleving maakt plaats voor de stedelijke samenleving
		rijke burgers gingen zelf op onderzoek uit en gingen zelf dure boeken lezen ipv afhankelijk te zijn van de mondelinge uitleg door geestelijken

Bijlage 1 0: Leesaantekeningen Windesheim

Wi	p17	omdat Mastenbroek onder de omliggende buurschappen en steden verdeeld werd, kreeg (ook) Windesheim haar deel, nl 5 (5 hoeven) x 4 morgen = ca 40 ha per hoeve, in totaal 5 x 60 = 200 ha.
----	-----	---

			Geert Grote leeft van 1340-1384, nadat hij besmet door de pest te Deventer; hij predikte soberheid en wenste op zijn sterfbed dat er een klooster te Windesheim gesticht zou worden wat in 1387 gerealiseerd werd
	p25		
		p274	de dijk ligt tussen 1573-1613 (40 jr) open !
winterbevoeiing			gemeld wordt dat in de kamper Ordinarius uit de 15e eeuw vermeld wordt dat per 11 nov (St Maarten) de weiden voor het IJsselwater dienden te worden geopend opdat ze weer vruchtbaar gemaakt zouden worden; in het dijkrecht van kamperveen van 1478 blijkt iets overeenkomstigs
	p280		
		p282	gemeld wordt dat met het dijkrecht in 1308 vooral de regeling van verdediging tegen de late voorjaarswater (glaciaal) bedoeld zal zijn, de eerdere inundaties immers waren gewenst.....!

Bijlage 1 p: Leesaantekening Dijkverlegging Westenholtte

DijW	564-666 nChr	p5	op het veenpakket, dat ontstaan is in het subboreaal op pleistoceen zand, is een kleidek van zware klei gevormd, komklei- en oeverwalklei door de IJssel
			na de 7e eeuw voert de IJssel meer water af met piekafvoeren in de 11e en 12e eeuw; het smalle IJsselbed raakt op verschillende plekken gebroken en er ontstaan vrij veel oeverwaldoorbraken>overslaggronden
	>7e eeuw		
		p11	Zeiler noemt een dijk aan de sallandse zijde, uit 1169, als in dit jaar een uitwateringssluis in de dam van de 'nieuwe gracht' wordt aangebracht; de dijk zal een lokale dijk geweest zijn

Bijlage 1 q: Leesaantekeningen Uit de Ash Kolk

UDA	1252	p 11	Hasselt verkrijgt stadsrechten en er breken nieuwe tijden aan voor "de kleine nederzetting op een rivierduin aan de Aa"
		p12	diverse gronden zijn dan al in bezit van 'kerk en klooster', zoals van een abdij, kapittels en vermv d bisschop zelve.
		p13	men bouwde dijken (stouwen) om het water vast te houden, maar als het land te laag kwam te liggen dan gebruikte men de dijken om het te hoge buitenwater te keren
		p19	de auteurs hebben opvatting dat er tegen 1330 veel behoefte was aan meer landbouwgrond omdat er economische voorspoed was
	1364	p21	de toren van de oude StStephanuskerk in Hasselt deed dienst als oriëntatiepunt voor het uitzetten van een hoofdlijn voor de blokverdeling
			er werd in Hasselt een begin gemaakt met regelgeving tegen ongeordend deponeren of laten liggen van mest en vanuit varkenscotten mocht niet vrijelijk mest op de grachten geloosd worden; pas in 1520 werd het mestprobleem buiten de stad gereguleerd; wie van z'n mest afwilde moest hiervoor de Aa op en het aldaar midden op de rivier maar deponeren.
	1472	p41	
loop 15e eeuw		p46	de IJssel was minder goed bevaarbaar geworden en de opvaart van schepen verlegde zich van de IJssel naar het ZWWater; Kmapen ging daardoor in die monding tolheffen wat leidde tot grote problemen met Zwolle; tussenkomst door Hasselt in 1520 liep op niets uit.
	1480	p47	het zaad van hierboven genoemde onrust dateerde al van 1480, maar pas in 1521, met hulp van de Hertog van Gelre, komt Zwolle in beweging
	1572	p71	de auteurs noemen naast de Allerheiligervloed in 1570 in totaal 3 stormvloeden die desastreus zijn: 1565, 1570 (Ahvloed) en 1573.
	1657	p102	kaartje niet erg getrouw, met regio waarop nog de "Cooter Schans", en "Versecooten" ter hoogte van wat nu Veecaten is; bij Zallik splitst de rivier zich in 2 lopen en is het buitendijkse een soort eiland.
	1714 evj	p129	hoornvee werd jaren achtereen getroffen door veepest: 1714-1716, 1719, 1721, 1731 en 1753: boeren konden hun pachten niet meer opbrengen en er werden geen markten gehouden
	>1750	p129	watersnoden tijsderen deze streken: 1754, 1756, 1775 en 1776
		p130	wade = doorbraakkolk sleepdijk =
	1772	p130	hongersnood door / met extreme hoge voedselprijzen
	1804	p139	op de betreffende kaart is ter plekke of ter hoogte van de "Bosjesstee", zo ongeveer tussen Veecoten en Sonnenberg, ook een blokgrans aangeduid die maakt dat Mastenbroek als polder 3 gelijkelijke lange blokken heeft. Hoe die blokgrans er uitgezien heeft is niet op te maken uit die kaart.

1750 p141
ev het vervoer van ossen in oostelijke richting stelde niet zo veel meer voor

Bijlage 1 r: Leesaantekeningen Polder Atlas Nederland

PAvN	p25	polder: definitie (waterstaatkundige): gebied dat door een waterkering wordt beschermd tegen water van buiten en waarbinnen de whh kunstmatig beheerst wordt
	p27	polders zijn als landschappelijke eenheid ontstaan binnen een context v e groter landschap en ze staan niet op zich zelf.....en deze omvat vaak polders ontstaan in verschillende perioden. lage kustgebieden krijgen enorme overstroming om daarna langere periode van 'rust' te krijgen polderfasen: <1550 (de grote ontginning); 1550-1830, windmolenbemalingen; 1830-1918 stoomgemalen en aaneg grotere/diepe polders, en 1918 evj met oa zuiderzeepolders. natuurlijke vormenkenmerken.....de poldervloer (= bodem +....) polders zijn vanouds het product van afspraken en overleg, eigen aan een ondernemersgewijze aanpak
	p43	sporen van de eerste 'echte' sloten dateren uit de IJzertijd om kreekruggronden te vrijwaren van overlast v water; proces van 3 fasen (misschien ook voor irrigatie !) al in de romeinse tijd bestonden er al afwateringsstelsels op bovenlokale schaal (2e en 3e fase) en wijst vermoedelijk al op gezamenlijkheid in de aanpak
240-ME	p46	tussen 240 nChr en in de loop der ME worden er geen ontginningen meer ter hand genomen met inzet van sloten omdat het regionale waterpeil kennelijk steeds hoger kwam te liggen
	p46	er ontstonden zandige kwelderwallen in Nned in het grensgebied met de Wadden
va 500 nChr		er ontstonden nederzettingen in Frs en Gron op de gevormde kwelderwallen door bewonersgroepen uit de regio v d Eems, Weser en Elbe na verloop van tijd werden die bewoningsplekken op terpen opgehoogd en ze worden 'huispodia' genoemd; wanneer ze aan elkaar groeien worden het terpen, het fries voor dorp(en) met het steeds verder uitgroeien en ontstaan van nieuwe kwelderwallen werden er ook meer terpen opgeworpen: 500 vChr, 200 vChr en 700nChr de grond rondom terpen was aanvankelijk gemeenschappelijk bezit in NNed werden er al vóór de romeinse tijd dijken opgeworpen
>800 NChr	p47	toen na 800 nChr de zee agressiever werd werden de gebieden met ringdijken tegen het water beschermd; de eerste ringdijken lijken alleen kleine gebiedjes beschermd te hebben, één of hooguit enkele terpen
750-900 nChr		in deze periode kwamen de eerste 'moederpolders' tot stand in het Westergo maar ook in NWGrongingen; men bleef evenwel binnen dit bedijkte land toch op terpen wonen (opm: iets dat men ook in Mastenbroek doet) in ZWNed stonden kreekruggen en kreek-afdammingen centraal en niet als in Nned de kwelders en hun ruggen
175 vChr		de oudste duiker (klepduiker) dateert uit 175 vChr; latere primitieve duikers dateren uit de eerste eeuwen nChr
100-12-- nChr	p47	in het Nned-kustgebied wordt tamelijk offensief land aangewonnen en allerlei dijktechnische verbetering kwamen tot ontwikkeling
	p51	men hanteerde een afwateringstechniek om een zgn dorpspolder via een wetering op een relatief laaggelegen water te laten lozen (opm: bijv Zwolle op het ZWWater), een techniek die in de karolingse periode op opgang kwam
	p51	er kwamen grotere afdammingen voor in een aantal rivieren: Kromme Rijn (1122), Oude Rijn (1165) en Holl IJssel 1285
1e helft 12e Eeuw		de eerste doorgaande rivierdijk werd in de 1e helft v d 12e eeuw gerealiseerd, waardoor er uiterwaarden en binnendijkse waarden gingen ontstaan; in de uiterwaarden nam dientengevolge de dynamiek (morfo én hydro) toe, nogeens versterkt door ontbssingen en ontginningen meer bovenstrooms de toenemende sedimentatie nam inversie toe (groter wordend verschil tussen binnen- en buitendijks qua maaiveldhoogten

		kenmerkend zijn ook de langgerekte weteringen, parallel aan de rivierlopen, bedoeld - vlg de schrijvers - om het water zover mogelijk stroomafwaarts te lozen (opm: Beernink merkt dergelijke parallellen ook al op en brengt die in verband met eertijds waterbeheer met 'loopvelden en bewuste bevoeiing/water-bemesting van gebieden vóór de grote bedijkingen)
	p51	
		in de loop v d 13e Eeuw werden dijken aangelegd om verdere vernietiging van veengebied te verhinderen; in de late(re) ME werden ook dijkkringen aangelegd die bestaande (geïsoleerde) bedijkte gebieden aanéénsmeden; aan het einde v d 13e Eeuw werden natuurlijke uitwateringen afgedamd, die soms nog voorzien waren van spuisluizen oid
	p53	
1220	p57	in 1220 kwamen de bscichop v utr en de graaf v Holl overeen dat er (mede door een uitgekiend polder-boezensysteem) en een lozing in de Spaanedam te realiseren teneinde de whh te optimaliseren
	p63	bij het ontstaan v e polder ontstond (proefondervindelijk....) het agrarische productielandschap dat niet alleen de whh omvatte, maar ook cultuurtechn werken in de aanvankelijke polder overheersen nog de (natuurlijke) patronen die krekend ed volgen, maar in de latere polder worden geometrische figuren aangelegd
		het geometrische patroon was eerst: blokvormig, daarna opstrekend en weer later v e latent rasterpatroon
ca 1300	p63	rond 1300 was heel het utr-holl veengebied, mn vanwege de vele 'cope-ontginningen' inmiddels ontgonnen
		bisschop Willem (1054-1076) heeft de (ontginnings)standaardisatie ingevoerd en kreeg de veenkavel daarna een maat
		maatvoering van een standaard veenperceel: breedte 112 m (30 roeden) en 1250 m lang (6 voorling); deze maatvoering geldt evenwel vooral voor de latere ontginningen en droogmakerijen
		een 'slag' vormde de basis (een bundel veenkavels)
waterschap ontstaat	p69	in de bisschopelijke regio gold als regel dat - bv aangaande whh-zaken (bedijkingen, waterbeheer, ed) - een overeenkomst bezegeld werd of bevestigd werd door een door de bisschop aangewezen 'heer', veelal een landadelijke; deze zgn dijkgraaf zag erop toe dat alle ingelanden zich dan aan die gezamenlijke afspraak gingen houden.....het waterschap in spé dus
	p71	de hedendaagse polders laten nog immer sporen zien van hun wordingsgeschiedenis: je heb kwelderlandpolders, veenontginningspolders, droogmakerijen, rivierenlandpolders, veenkolonieën, ed
		omstreeks 1850 kwam er een fundamentele omwenteling v d periode waarin polders nog aan het spel der natuur blootstonden tot de fase waarin door allerlei technieken de natuur/geweld steeds meer op de achtergrond geraakte
	p84	moie krt waarop 'alle' Nede polders aangegeven staan, waarbij de grootte van sommige polders opvalt: oa haarlemmermeer en andere droogmakerijen, maar ook mastenbroek
	p299	de naam Mastenbroek wordt hier simpelweg verklaart door de stellen dat 'broek' komt van 'laaggelegen moerassig land' en 'mast' van vetgemest vee
1364		Mastenbroek wordt (verder) ontgonnen na een periode van gezamenlijk gebruik en in 1384 wordt een begin gemaakt met de bedijking
	p299	al voor Frederik Stoyveken zijn werk gaat doen zijn er al waterstaatsobjecten (als dijken, weteringen en wegen) in krt gebracht; de oudste dijken zijn al in ca 1100 aangelegd; in 1390 was de hele dijkkring gesloten
1633	p300/301	oudste krt van mastenbroek !
	p305	de polder werd in 4 evenwijdige stroken verdeeld, ieder ca 2250 m breed, en die weer in 'blokken'; binnen de blokken werd een opstrekende kavelvorm gehanteerd
	p309	Mastenbroekerpolder is uniek vanwege zijn morfologische rijkdom vanwege haar overgangen naar het zandlandschap, het rivierenlandschap, de veenontginning, het krekengebied, het rivierenlandschap, incl zeedijk(en) en buitendijks land
	p491	tijdens het episcopaat van bisschop Willem (zie ook eerder) formaliseerde hij de wildernisontginningen en werden er overeenkomsten (overeenkomst = cope) gesloten met de kolonisten die er tijns of cijns voor betaalden; de kolonisten kwamen soms van heinde en ver, waar Kockengen één van de vele voorbeelden van was (denk aan Luilekkerland en dergelijke op kul gebaseerde zaken)
		omstreeks 1190 was een standaardhoeve ca 14 ha groot (16-17 morgen) met afmetingen van 110 x 1250 m

cope-ontginning/ideaal !

de hoeve, een landschapsideaal opzich in die tijd, gold als het mooiste wat men (als horige of lijfeigene) kon wensen, men leefde immers gewoonlijk in een benarde situatie met veel soorten bedreigingen

in de cope was de positie van de potentiële hoeve-bewoner goed geregeld, nl publiekrechtelijk te midden van de wildernis en daardoor ook maatschappelijk omdat de rechten gewaarborcht werden door "centraal" gezag v d bisschop

met inzet van 'kolonisten' werd de cope overeengekomen (temidden van de oud-gerechtigden) en kon et gebied boven de schaal van de buurschap worden ontgonnen

de cope was het begin van de bewustwording over de inrichting v h (platte)land en er ontstond een 'geritmeerd planmatig landschap'

in een cope-matig ontwikkeld landschap ontstond ook voor het eerst een eigen gemeenschappelijke landschapsruimte, de eerste ruimtelijk en sociaal georganiseerde polderlandschap en hiermee de basis voor het (lokale) waterschap

polder Kockengen was in eerste opzicht de projectie van verlangen naar een menswaardig bestaan en door de cope kreeg het een collectief en sociaal gereguleerd karakter

latere polderontwerpen probeerden steeds dicht bij het ideaal te komen: 1 Kockegen, 2 de Zijpe, 3 polder Borsele, 4 Beemster, 5 Haarlemmermeerpolder, 6 Noordoostpolder en 7 Z Flevoland

7 poldervormen

opm: de vraag is waar deze reeks naar toe evolueert ! Spelen we in de Lage landen in op wat Peter Smeets ons voor houdt (principe v d Ruimtepomp ?)

Bijlage 1 t: Leesaantekeningen Verzamelde werken van Van der Schrier

VdS(chrier)	p21	<p>het flevomeer duurde van 1200 vChr - 200 nChr</p> <p>op het Flevomeer loosden de Gelderse IJssel (Oude IJssel) en de Utr vecht</p> <p>De romeinen konden nog i h beginn v d jaartelling via de Utr Vecht naar het oerij en de oervlie varen om zo op zee te komen, niet via de IJssel</p> <p>het flevomeer dateert al uit de periode 1800-1250 vChr en had uitlopers die tot dichtbij de Ov Vecht en de IJssel lipen</p> <p>in het flevomeer is geen omvangrijke zee- noch rivierkleiafzetting gekomen, was het dus een (relatief) geïsoleerd, zoet meer</p>
	p22	waterstanden op de IJssel -.4 NAP in 800 vChr en +0.1 NAP 200 nChr, waterstanden op zee zijn -1.9 NAP in 800 vChr en -1.0 in 200 nChr.
<1200	p22/23	<p>voor 1200 nChr</p> <p>veel van het vroege IJssel-klei-sediment kwam in het Almere terecht en vormde daar de sloefafzettingen</p> <p>in 745 (+/-50) eindigde de veengroei te schokland en in 645 (+/-35) te blankenham; de eerste ijsselaafzettingen in de IJsseldelta zijn wat ouder, nl 520 (+/-50) nChr; terplekke v h bos bij Zwolle is de veengroei gestopt in 506 (+/- 32) nChr.</p>
	p23	<p>het bos bij zwolle stond op een dunne veenlaag (15-50 cm) op pleistoceen (Eiken, elzen, essen); dit bos heeft er gegroeid van 50-530 nChr, toen er zandarme-kalkarme klei werd afgezet</p>
	p27	<p>de waterstand op het ZwarteWater ligt en lag ca een meter lager dan op de IJssel.....</p> <p>pas 250nChr brak de rijn door zijn oeverwal en kwam er een zijtak naar Doesburg (door een oud dal) en begonnen de kleiafzettingen;</p>
subb/subatla	p26	<p>een versnelde zeespiegelstijging is er omstreeks 850-800 vChr, overgang late bronstijd/vroege ijzertijd, door klimaatverandering, waardoor ook het peil van meer flevo omhoog ging</p>
	p27	<p>de ijssel raakte vergroot en er ontstond na 1100 een onderwaterdelta, het ramspolzend, die doorgroeide tot in 1500; toen de ijssel veel minder water aangevoerd kreeg begon met met vaarproblemen te kamepn; in 1480 werd dit al heel erg en ging men over om ijsselarmen te gaan afdammen (oa zuider en noorderdiep. deze dammen gingen met stormen weer verloren</p>
1672/1709(-1776)	p27	<p>in dit rampjaar (droogte, weinig water in de IJssel) trok een deel v h franse leger door het ijseldal en in 1694 blijkt, tijdens een verkenning, dat de ijssel in 1694 bij het splitsingspunt droog ligt; pas na de aanleg v h pannerdenskanaal (1701-1709) kwam er weer meer water op de ijssel, en pas na de realisatie v e andere monding werd dat allemaal effectiever v a 1776.</p>
	p35	<p>in het algemeen geldt dat de kleiafzettingen hier in deze streek pas va 300nChr begonnen zijn</p>

	p42/228	kennelijk komt hier en daar in mastenbroek beekklei voor: zie RGD, Onderzoek voor het structuurplan Zwolle (1970), bodemkaart nrs 53-54-57-58.
	p44/45	vdSchr komt tot de conclusie tot het ZwWater haar (erg)ruime afmetingen niet aan de Vecht (als oude loop van een vechtrace) heeft te danken maar moet zijn ontstaan door eroderende retourstromingen (uitschuringen) al in het daar aanwezige estuarium (oostdeel van meer flevo i d cardium-fase), hierbij boodt het veen v d Westerveldse Aa wél weerstand, maar het zand v d Grote Ae niet
	p45	hij zegt ook dat het ontstaan v h Zwarte water een misterie is
komklei	p165	"De komklei-op-veen van mastenbroek sluit aan op die in de dalen van de Aa's en de laagten tussen Zwolle en de IJssel; deze gebieden waterden af op/via de Aa
	id p165	tussen vdSchr&vdberg versus Zeiler is verschil in opvatting: Zeiler meent in Zwolle ook een "damstad" te zien vanwege een (veronderstelde) dam in de Aa.....maar deze is niet aangetoond
		p165 boeren waardeerden de winteroverstromingen om bemestend effect, ongediertebestrijding en temperatureffecten (gunstig)
!		De ijssel, als glaciële rivier, bracht wel klei mee, maar vaak te laat in het jaar terwijl de vecht als regenwaterrivier het water juist net voor het groeiseizoen bracht en minder gevaar betekende; winteroverstromingen door beide typen rivieren is weer niet problematisch (EK) (EK = eigen kanttekening)

Bijlage 1 u: Leesaantekeningen Extreem Weer van J.Buisman

EW	838	lage kustgebieden krijgen enorme overstroming om daarna langere periode van 'rust' te krijgen
Zuiderzee, 1170	p72	enorme zee-doorbraak bij Enkhuizen-Stavoren en de Zuiderzee begint al op een echte binnenboezem te lijken
ca 1220-1250		droge en warme tijd, warmste (dan) in de afgelopen 1000 jr
1220-1270		sterke vloedten teisterden de kusten
1312-1316		aaneengesloten regenperiode, wat leidt tot zeer ernstige hongersnoden
1291, 1301, 1310, 1321, 1322	p90	rampjaren als het om overstromingen gaat en deze stimuleren ten eerste samenwerking aan de dijken en te vorming v d waterschappen
		de kern van veel rampen is ontbossing zo stelt Buisman (p90)
	1342	hoogwater laten veel zand en grind achter, wat wijst op veel (bovenstroomse) erosie
	p90	zeer ernstige wateroverlast, mogelijk de ernstigste in 1000 jr, gevolgd door de pest in de rampjaren 1348 en 1349
#####	p93	een zgn Elisabethsvloed teisterde de lage gewesten (dus niet één, men keek bij de vernoeming vaak niet op een paar dagen)
		de Kleine IJstijd wordt zeer manifest en zal tot ver in de 19e eeuw duren; dit heeft gevolgen voor de (aan)groei v d gletschers en hun afsmeltingsritmiek; langs de grote rivieren treden inundaties relatief laat in het voorjaar op en heeft een sterk selectief effect op de vegetatie
vanaf 1540	p101	in deze tijd doen zich ook relatief veel godsdienstoorlogen voor, komt het tot heksenvervolging en viert het Calvinisme hoogtij
	1490	de winter is zo extreem dat men in de herfst door de Rijn kan lopen bij Keulen; de dooi is nadien zo ernstig dat de schopbruggen in de IJssel vernield worden, maar gelukkig iets minder erg dan in 1342
	p104	kaart van Sgroten bekijken !
1669, 1670	p370	!)
		extreem droge jaren
	1684	p337 ! extreme droogte
		de Haarlemmermeer (voorheen het (oude) Leidse meer) wordt per 1853 drooggemalen wat 18.500 ha verkoopbare grond op levert; de waterhuishouding gaat dan overigens in die regio tot aan de Vollenhoofse kust ook veranderen; de opwaaiing neemt relatief wat af (minder aanvoer) wat tot wat geringere waterbezwaren leidde aan de oostoever v d Zuiderzee
	1839	p267
	1858	extreem droge zomer
	1911	p291 extreme droogte
	1921	p301 extreme droogte
	1947	p333 extreme droogte

	p370	
1974	!)	extreem droog
1976	p366	extreem droog

Bijlage 1 v: Leesaantekeningen, KNNV deeltje 4, Geboeid door het verleden

GdhV	p38	tabel met goede vergelijkingsmogelijkheden
		100-300: 1e of romeinse klimaatoptimum; 300-900: vroeg-ME klimaatpessimum of catastrofentijd 1;
	p38	900-1300: 2e klimaatoptimum/warmere tijd; 1300-1430: catastrofentijd 2; 1430-1860: kleine ijstijd;
klimaatfasen	ev	1860-1965: overgangsfase naar de opwarmingsperiode in de moderne tijd.

Bijlage 1 w: Leesaantekeningen Atlas van de Vecht

AvdV	200-1300	p47	er wordt gesteld dat ergens tussen 200-1300 nChr de vecht bij dalfsen haar huidige loop gekregen heeft, waarbij de oeverwal aldaar door de rivier verbroken werd.
			Swifterbandcultuur in het mondingsgebied van de Vecht&IJssel tussen 5000-3400 vChr waren vooral op zoek naar wild en vis; de trechterbekercultuur ontwikkelt zich in N-nederland en omvat meer gesettleden (boeren) die gingen verbouwen tussen 3400-2750 vChr
	<3400 vChr en <2750 vChr	p60 ev	blijkbaar zijn bepaalde (hoge) zandruggen vanaf de romeinse tijd tot in de middeleeuwen bewoont gebleven (bewoningscontinuïteit)
		p87	de friezen verloren hun macht tov de franken omdat in 719 hun koning radboud het leven verloor tgv Karel martel (Fr hofmeier), de latere grootvader van K de grote
		719 p88	de Saksische koning Widukind geeft zich over en de franken worden heer-en-meester over ook het Vechtdal
		785	met de komst v d franken ging ook de kerstening hand in hand en de bisschop v Utr kon missionarissen den lande insturen voor de kerstening
		765	bisschop gregorius stuurt Lebuinus naar de IJsselstreek, waar hij na veel tegenwerking, uiteindelijk in deventer overlijdt in 773
			K d Grote mocht, indien men het dopen weigerde, de betreffende persoon doden....., en zijn bezittingen werden geconfisqueerd; de bisschop v Utrecht maakte hier geregeld gebruik van
			K de Grote deelde zijn gebied op in gouwen, bestuurd door een gouwgraaf, iets dat tot vererving overging waardoor adellijke families in het zadel kwamen
	1086-1528	p95	de bisschop v U is formeel landsheer in het Oversticht, N-ned en Utrecht, landsheer namens de Duitse keizers/koningen en bisschop namens de paus
		p95ev	vrije boeren schonken (vermoedelijk vrijelijk) hun boederijen aan de bisschop om daarna 'horig' te worden met als tegenprestatie bescherming door de bisschop(en diens vazallen)
			horige boeren waren geen eigenaar v d boerrderij maar hadden wel hun leven lang recht erop/op het gebruik en dit recht ging over op de nazaten; hiertoe was de bisschop verplicht; ze stonden een deel v d oogst (tafelgoederen = voedsel) en diensten aan de bisschop af; de horigen mochten deze boerderijen niet zomaar verlaten, iets dat ook voor hun kunderen gold; de schatplicht werd afgeleverd aan de hofboederij, later werd van daaruit ook bestuurd
	800-1300	p95	hoogtijperiode van het hofstelsel, waarbij horigen (boeren) schatplichtig waren aan de bisschop via een stelsel van plichten, betalingen in nature, ed
		p96	naast horigen waren er ook leengoederen, in leen gegeven aan personen met macht&aanzien
			horige boeren kochten zich later veelal af en gingen dan een de bisschop (die eigenaar v d boerderij bleef) pacht of tijns; door deze verpachtingen werd de relatie ook flexibeler wat ook betekende dat de pacht kon worden opgezegd !
			boeren moesten verschillende pachten betalen: tijnsen, tienden, mei- en herfstbeden, betalingen in natura als dienstverleningen, enz.
			buurschappen zijn kleine bewoningseenheden; deze buurschappen gaan op in marke(gennotschappen)/marken ook bewoningseenheden die gezamenlijk rechten/plichten en zorg gaan hanteren
			horigheid komt tegen het einde v d ME in deze contreien tot een einde, maar grootgrondbezit zeker niet !
	periode 800-1100	p98	opmerkelijke groei bevolking i h Vechtdal

>1400	p111	de steden hadden een groeiende invloed doordat ze deelgingennemen aan de statenvergadering, adviesorgaan v d bisschop in het Oversticht waren er toen nog verschillende statenvergaderingen: sallant, drenthe, vollenhove en twente te spoolde (spoolderberg) werd jaarlijkse Landdagen gehouden; na 1500 werden de afzonderlijke statenvergadering teruggedrongen
	1701 p163	interessante kaart !
	p333	bruikbare tijdsindelingen

Bijlage 1 x: Leesaantekeningen IJsseldelta

Ijdelta	p21	kaart met overzicht v d Hanze
---------	-----	-------------------------------

Bijlage 1 z: Leesaantekeningen Gottschalk, deel I

Gott-1		de IJssel wordt pas na 1308 geheel conform het Sallands dijkrecht bedijkt en die worden daarna onderhouden
	p8	vermoedelijk legendarisch wordt verhaald over een grote 'boomstorting' ten gevolge van een zware storm, geen overstroming
	p14	vermoedelijk zijn er in dit jaar grote rivieroverstromingen, met zekerheid in België
	p15	id
	p15-16	id
	p16	id
	p30-31	mogelijk dat in deze tijd er overstromingen waren, maar bronnen zijn onduidelijk
	p33	door smeltwater is de kans groot geweest op overstromingen
	p33	het peil op de Rijn was zo hoog dat veldvruchten wegspeelden
	896 p34-35	zeer vermoedelijk rivieroverstromingen
	900 p36	onzeker, maar zeer vermoedelijk zijn onbedijkte gebieden langs rivieren overstroomd
	904 p36	id
9e en 10e eeuw	p40 en p54	er zijn geen betrouwbare bronnen die wijzen op relevante rivieroverstromingen in deze periode)
	1121 p57	mogelijk dat (ook) in Nederland rivieren buiten hun oevers traden
	1122 p57	id
	1129 id	
	1135 p67	smeltwateroverlast
(>>1308)	p74	periode met verhoogde rivieroverstromingsactiviteiten die aanleiding was om in het westelijke stroomgebied maatregelen te treffen (dammen)
ca 700	p67	ijsgang
	809 p68	zwaar weer, hagel
	815 p68	zware winter
	820 p68	veel sneeuw
	822 p69	streng winter
838-864	p69	buitengewoon hoog rivierwater
	873 p69	riveroverstromingen
	886 p71	id
	1164 p79-80	id
	1170 p80-81	overstromingen die Texel en Wieringen losmaken van het vaste land en die bij Staveren tot veel overlast lijdt; veel bos (het zgn Kreilerbos) gaat verloren in dat gebied
	1183 p120	riveroverstromingen
1183-1199	p121	id
	1219 p146	vermoedelijk overstromingen

		door zeedoorbraken raakten waddeneilanden los van het vasteland, en in dit jaar ontstond de Middellzee en de monding v d Lauwers; de IJssel splitste zich in takken waarvan er enkele in Friesland (van toen) stroomden, nl vanaf kampen naar de Kuinder, naar Sloten en Staverder naar de Vlie en een andere tak naar de Middellstroom (A.Cormelius 1597)
1222	p153	
1233	p166	riveroverstromingen
1236	p168	riveroverstromingen
1237	p169	riveroverstromingen
1245	p173	mogelijk rivieroverstromingen
1248	p182	de Zuiderzee breidt zich stek uit en grote stukken veenland tussen Staveren, Kampen en Enkhuis verdwijnen, gebieden die eertijds nog aaneengesloten stukken land waren
periode 1150-1250	p194	de invloed op dit gebied is ongetwijfeld groot Pons en Wiggers 1960 zijn van mening dat de Hollandse Purmer, Beemster en Schermer in dit tijdval ontstaan, eerder door catastrofes dan gradueel
1262	p205-206	zeer waarschijnlijk rivieroverstromingen
1265	p207	id
1271	p215	id
1274	p217	id
1277	p219	Graaf Floris V geeft de dijkbrief af voor de Alblasserwaard en de graaf werd zelf 'nuncius noster' (zeg dijkgraaf); de Alblasserwaard was toen al bedijkt, de dijk werd toen Zijdwende genoemd (zie term in de fig. van VdSchrier over Staphorst)
1280	p227	hevige regens leidden tot zeer naate omstandigheden en wellicht overstromingen
ca 1280	p231-232	de Hollandse IJssel wordt, onder gezag van Floris V gedamd; deze rivier is dan al van onbeduidende betekenis. Floris vaardigt een 2e dijkbrief uit ten teken dat het een zeer 'natte' toestand met riveroverlast is
1287-1288	p240	ernstige overstroming ook in Zuiderzeegebied met veel ellende in West-Friesland tot Staveren, een situatie die Florus aangreep om zijn overmacht op de Friezen met nieuwe sterktes te bezegelen; veel veen werd weggeslagen en verm ook veel overlast op de 'riviermonding en in de delta'
	p253	het land tussen Staveren en Enkhuisen zou hierdoor verdrongen zijn, maar zeer vermoedelijk is dit gebied al eerder door de zee overgenomen
1290	p265	overvloedige regens veroorzaken overstromingen langs de IJssel (bij Deventer), ze veroorzaken overstromingen langs de oostkant van de IJssel en veroorzaken de "reddeloze staat van de dijk" van toen, wat aanleiding in 1308 werd voor de Sallandse dijkbrief
1290-1308	p267-279	riveroverstromingen langs de IJssel zijn zeer waarschijnlijk
1305-06-07-08	p279	ijsgang en rivieroverstromingen>>dijkbrief en op orde stellen van waterstaatszaken in dit gebied door bissch Guy v Avesnes
1308	279	Dijkbrief
1314	p282	riveroverstroming
1314-1315	p285	zeer regenrijke jaren
1342	p338-339	zeer vermoedelijk rivieroverstromingen
1354	p353	riveroverstroming langs de IJssel
1356	p355	id
1357	p362	id
1358	p364	id
1359	p366	id
1362	p376	vermoedelijk geen rivieroverstromingen door de StMarcellusvloed, wel aan de zeekusten
1364/65	p379/380	id
1366/67	p392	id
1371	p397	id
1372	p398	id
1373	p403/405	id
1374	p407	id

1377	p439	vermoedelijk leiden de eilanden Urk en Schokland zware verliezen; ongetwijfeld heeft dit ook gevolgen voor de monding van de huidige IJssel
1378/79	p469	rivieroverstromingen door ijsgang
1380/81	p472	id
1381/82	p473	id
1382/83	p473/474	id
1384	Mastenbroek wordt geheel bedijkt	
1384/85	p476	vermoedelijk overstromingen door ijsgang
1385	p477/478 p480	overstromingen; "Ook bij mastenbroek zijn er overstromingen geweest en op 18-4-1385 wordt vernomen dat Zwolle een dijk "vor mastenbroec" wil aanleggen(a.w.) en dat er bij Zalk een inlaagdijk tot stand komt; de IJsseldijk bij Olst is zwaar beschadigd p480 er is met zekerheid nog sprake van een Dronterdijk die het toenmalige Dronten doet liggen in "t'eynden Rodenslach"
1387		Rodenslach"
1388	p483	wellicht rivieroverstromingen
1390	p485	id
1392	p487	Elburg wordt naar een wat hoger liggend gebied verplaatst iov de hertog Van Gelre
1396	p505/506	overstromingen door ijsgang
1398	p514	rivieroverstromingen

Bijlage 1 aa: Leesaantekeningen Gottschalk, deel II

Gott-2 periode 1400-1600

1402	p2	langs de IJssel hoogwaterschade
	p18 en	
1404	18	hoogwaterschades door ijsgang
1406	p20	door zeer hoge, late hoogwater zwommen de koeien weg
		zowel hoogwaters en schade aan de rivier- als in het gebied van de delta (Gottschalk noemt het Zuiderzeekust, maar die bestaat nog niet !)
1409	p26-29	
	p51-	
1421	100	de beruchte St Elisabethsvloed: hele dorpen verdwijnen, zeer veel materiele schade;
	p104-	
1423	105	op de IJssel schade door hoogwater
	p127-	
1428	130	onbetrouwbare opgave van schade in dijken alhier/afvoeren
	p134-	
1432	139	schade door ijsgang
	p139-	
1433	141	id; er werden 'bijna levenloze mensen met bevroren ledematen van de daken werden gehaald'
	p152-	
1437	155	id
	p158-	
1438	159	grote watervloed in Overijssel met veel schade aan IJsseldijken
	p171-	er worden door Gottschalk geen rivieroverstromingen gemeld, maar andere bronnen doen dat
1444	175	wel zie het verlies van Caten (Coten) bij Zwolle
1445	p175	aangegeven wordt dat in 1445 er diverse rivieroverstroming zijn geweest
		de hoge rivierwaterstanden brak de mastenbroekerdijk tussen Wilsum en Kampen door met veel veeverdrinking in Mastenbroek
1446	p180	in die periode zijn er vrij veel "vloeden of watervloeden", genoemd worden 1423, 1427,1432, 1433, 1437, 1438 en 1445, aar ook worden 1424, 1426 en 1436 genoemd.
1448	p193	door ijsgang zware schade aan de Kamperbrug over de IJssel
1452	p195	veel schade aan de 'kustdijken' in deze regio
		er wordt gerept over de StGallenvloed waardoor de betreffende dijkverdeling kennelijk niet meer voldeed; zulke conflicten konden echter lang voortstlepen
1458	p202	
1472	p232	vermoedelijk is er hoog water op de IJssel
		vermoedelijk ontstaan in dit jaar diverse doorbraakkolken in de zgn Enckdijk, die ligt tussen de Zwartendijk en de Hogenweg
1477	p246	

	1480	p251	Kampen deelt de Koning van Denemarken mee dat men de 'verdroogde' IJssel moet uitdiepen, iets dat kennelijk nog jaren aanhield (zie ook verder op)
	1481	p252	schade door dooiend ijs in de monding met dijkdoorbraken aldaar en men groef één geul opdat met dieper water Kampen beter te bereiken zou worden uit zee
	1483	p255	in het NH Westfriesland heeft een gebied wel 10 jaar onder water gestaan, waardoor veel vee gestorven was
	1485	p259	de hertog van Kleef schrijft er over dat de IJssel "ledich van water" dreigt te worden en dat er veel water afstroomt naar de Waal
		p259 p261- 262	de steden Zwolle, Zutphen en Kampen stonden er afwijzend tegenover uit 'handelsnauwer' veel overstromingsschade door dijkbreuken
	1486		
	1489	p266	overstromingsschade bij Zalk, Kamperveen en Oosterwolde
			zeer hoog water op de IJssel (schade in de 'bovenloop') met overlast in benedenloop bij de IJsselsteden.
	1491	p269	
periode 1477- 1495		p276- 277 p300- 301	veel boeren verlieten het platteland en trokken naar de steden en de dijklasten liepen voor de achterblijvers op wat uiteindelijk tot verwaarlozing van de dijken leidde
	1499		veel dijkschade door hoogwater en overstromingen van de IJssel
			in Mastenbroek was 's Bisschopsslag onbezaaid gebleven, vermoedelijk door de overstromingen; er werd veel binnendijks met een 'holtvoet' gerepareerd en er werd buitendijks aarde gestoken; ook de Bisschopsdijk bij Veekaten en Kamperveerstal onderging binnen- en buitendijkse herstellingen
		idem p314- 315	
	1505		bij Vollenhove slaat een buitendijks deels af in de zee (omg Wendelo)
	1507	p322	Zuiderzee veroorzaakt veel schade
		p333- 358	
	1509		wellicht rivieroverstromingen
		p366- 368	
	1510		wellicht rivieroverstromingen door ijsgang
	1511	p368	idem
			hoogwaterschade aan de IJsseldijken die herstel van de dijken en waden in Mastenbroek noodzaakt
	1524	p418	
	1538	p512 p514- 515	...kennelijk waren de dijken doorgebroken, want men bracht vele karrevrachten mest erheen.....
	1539		waarschijnlijk door hoogwaters dijkdoorbraken/dijkschaden
	1540	p517	...de gehele gemeenschap van Wieringen werd verplicht om een wierdijk te maken, die.....
			Engelen v d Veen meldt dat er in de Enckdijk bij Kamperveen onherstelbare doorbraakkolken ontstonden
	1550	p538	
	1551	p541	hoogwater met wellicht schade aan de dijken
			door hoogwater ontstaat er een wade in de Zwartendijk (bij Kampen); langs de IJssel veel schade door overstromingen; de rivierkracht is gegroeid en Doesburg heeft moeite om aan de rivier te blijven liggen zoals dat in het verleden steeds het geval was
	1552	p568	
	1554	p576	zeer droog jaar, gevolgd door een zeer strenge winter
	1557	p582	door kruidend ijs is er bij Mastenboek en Kampen veel dijkschade
	1565	p609	door ijsgang grote schade aan de rivierdijken (IJssel, ZW-Water)
	1566	p616	nieuwe doorbraken, bij Rademakerszijl, stroomafwaarts van Wilsum en bij Genemuiden
		p622- 708 p709- 710	
	1570		Allerheiligenvloed. Extreem zware schades en overstromingen, zowel langs de IJssel als in het Zuiderzeegebied; sterke overstromingen waardoor landerijen enkele jaren niks opbrachten.
	1571		allerlei dijken en waden raken doorbroken door het hoge water
			o.a. dijken van Mastenbroek, Kamperveen, Oosterwolde en delen van salland waren doorgebroken, alsmede de Zomerdijk, de Zwartendijk en de Mastenbroekerdijk tussen Kampen en Genemuiden (= Kamperzeedijk)
	1573	p723	
	1573	p726	men voer met karren mest aan om de dijk op te hogen....
			in de IJsseldijken waren diverse waden ontstaan;aangrenzende landerijen werden door zandafzettingen bedorven dijken waren uitgespoeld, en.....
	1573	p727	
	1581	p760	bij Zwartsluis breekt (zeer vermoedelijk) een dijk door.

1586	p774	vermoedelijk wel schade door ijsgang
1590	p786-787	vermoedelijk door storm overlast in het Zuiderzeebereik; bij Hasselt wordt een doorgebroken (Zwarte Water-)dijk herstelt
1593	p793	door zware storm schade, maar of er dijkdoorbraken waren is niet duidelijk; bij de Oude IJssel (Doesburg) is er wel dijkschade door doorbraken; in 1594 worden Sallandse dijken wel gerepareerd wat wijst op hoogwaterschade
1595	p804	langs de hele IJssel door aanhoudend hoogwater doorbraken en veel schade oa aan dijken van Mastenbroek, bij Veekaten; met hulpdijken kon erger voorkomen worden; ook bij Zalk en Kampen aan de 'overzijde' van de IJssel werden doorbraken gemeld; daarna zakte het water zo extreem dat de IJssel nagenoeg droog viel en er in het Diep zeewaarts van Kampen slechts 1 1/2 voet water stond (max. 0.5 m)

Bijlage 1 bb: Leesaantekeningen Gottschalk, deel III

Gott-3 periode 1600-1700

1602	p7-9	door opstuwing veel schade aan dijken in de delta en herstel van kolken en waden
1603	p11	vermoedelijk overstroming door dijkdoorbraken tgv zeer natte zomer
1608	p19	de Drost van Salland wil te Zwolle vergaderen over het dijkbreukrisico van Mastenbroek
1610	p31	langs de Zuiderzeekust zeer veel schade en overlast (St Emerentia's vloed)
	p36	Kampen vroeg aan Zwolle om hulp, maar kreeg dat niet direct: er was aanhoudend hoogwater op de rivier tgv opstuwing; Kampen meldt dat veel Mastenbroekerdijken geraseerd en doorgebroken waren en men vreesde voor 'algehele desolatie'; de slechte dijken toestand hield aan tot in 1611
	p39	de IJsseldijken worden tgv het hoogwater iov de Staten verhoogd
1621	p65	de delta, mn Kampereiland en omgeving Kampen, lijden erg van storm op de Zuiderzee en dito loopt Ens op Schokland gevaar; het Kapereiland lijdt er zeer onder
1622		het Kampereiland lijdt erg onder de Zuiderzee en veel pachter hoeven geen pacht te betalen
1623	p70/71	door een door ijs verstopt toevloed op de IJssel, raakte deze geheel verstopt en verlandde; de verdroging hield aan en scheepvaart was niet mogelijk
1624	p76/77	langs de IJssel en in de delta is door ijsgang veel schade aangericht en in die staat misbruikt de vijand de situatie ook nog eens om toe te slaan; verdroging in de zomer houdt aan; er zijn veel dijken weggeslagen langs de IJssel in Mastenbroek
1625	p77	verdroging houdt aan
	p97	Overijssel (de delta mn) wordt wel als getroffen gebied genoemd en er zijn waden in Mastenbroek, maar men specificceerd het eea niet
1627	p103	dijken nabij Hasselt aan het Zwartewater hebben veel te lijden gehad en de Vuilvoetswade (kolken bij Ruimzicht) ontstaat
1628	p105	vermoedelijk dat bovengenoemde wade opnieuw doorbreekt
1629	p109	Kampen veroorzaakt oorlogsinundaties door de dijk door te steken bij de Koeburg en de Keulvoetsluis
1633	p117/118	hoogwater op zowel de rivieren als door de natte zomer in polders veroorzaakte zeer veel overlast
1634	p120/121	overstromingen door de IJssel en het Zwarte Water; niet veel vervolgschade overigens; ook overlast bij Rouveen en Staphorst
1635	p124-125	door aanhoudend hoogwater spoelde een sluis bij Hasselt weg en was er zware schade in Mastenbroek door IJssel- en zeewater; men moest het dringend herstellen maar moest het slib van het IJsselwater vast houden ! Geheel Mastenbroek was via een grote wade bij Veecaten overstroomd ! Zwolle had een zijl in de westelijke Zwarte Waterdijk laten graven om scheepvaart op Genemuiden mogelijk te maken (in het verlengde van de Nieuwe Wetering) maar die was weggespeeld en dat had tot verstopping van het zwarte Water geleid.
1638	p136	vermoedelijk door kruierend ijs trad er landverlies op aan Schokland
1647	p153	door sterke oostenwinden was er veel afwaaiing en op tal van plekken veel overlast van stuivend zand (vermoedelijk ook aan de rivieroeveren en 'randmeren')
1648	p155	door zeer nat jaar stonden de velden blank en rotte veel veldgewas
1650	p160	weer veel wegspoelen van stukken van Schokland, een aanhoudend proces

		deze vloed wordt soms de St Pietersvloed genoemd; door extreem smeltende sneeuw was er zeer veel overlast op onze rivieren (het was een vroeg afsmelten van de Alpeneeuw, iets dat gewoonlijk pas vanaf mei plaatsvond; de Malburgse dijk (bij Arnhem) spoelde geheel weg en verstopte de IJssel wat weer tot extreem laag water leidde met alle gevolgen van dien (vrees voor 'algehele verlanding, wat tot groote verswackinge van de frontieren' zou kunnen leiden). In en om Zwolle was er zeer veel gevolg door overstroming en veel kweloverlast (losrakende grafzerken in de Broerenkerk). Ook de Vechtdijken kunnen het niet meer aan.
1651	p161-176	
1658	p191	zonder bronvermelding worden 3 jaren genoemd waarin de IJssel nog nooit zo hoog gestaan heeft: 1595, 1635 en 1658. Veel sallandse dorpen zouden onderwater gestaan hebben. Bij Deventer is er veel schade aan de landerijen omdat ze bedolven waren onder het zand en dus bedorven waren
1665	p219-220	op de Zuiderzee zeer hoog water dat ongetwijfeld ook tot overlast op de rivieren geleid heeft; er ontstond een wade bij de Venepoort in Hasselt
1672	p238-239	de IJssellinie faalde in haar opzet, maar er werd allerlei laagliggende land wel geïnundeerd; door aanhoudende droogte werd aanvoer van voldoende water ook bemoeilijkt, wat er toe leidde dat er ook zeewater ingelaten moest worden (mn in Friesland)
1675	p272	bij Zwartsluis en Hasselt ontstonden er gaten in de dijk langs het Zwarte Water, maar of Mastenbroek hierdoor ook getroffen werd is niet bekend
1682	p293-365	of er in dit jaar, warin elders heel veel ellende door hoogwaters optreedt, ook problemen langs de IJssel zijn is niet bekend, wel waarschijnlijk
1684	p368	door extreme vorst was binnen- en zeewater (bij Normandie tot 1 mijl uit de kust) bevroren en ook de Zuiderzee; zelfs Genua en Venetië in Italië werden door vorst geplaagd ! Door ijsgang ontstond er veel schade, maar doorbraken deden zich vermoedelijk niet voor.
1689	p388	In Deventer breekt een dijk door, wat verderop langs de IJssel vermoedelijk ook hoogwater(schade ?) betekend heeft
1693	p396	riveroverstromingen deden zich in Westeuropa hoofdzakelijk in de zomer van 1693 voor'; vermoedelijk waren de rivieren eertijds nog erg 'reactief' en leidde een versterkte aanvoer (van wat voor water dan ook) al snel tot 'overvloed' en ongewenste inundaties.
1694 /95	p401	rivieren zijn dichtgevroren wat vermoedelijk later tot ijsgang en schade leidt
1696/97	p405-407	de winter was zeer streng en na de dooi kwam er veel ijsgang op de rivieren, met ijsdamvorming en ongetwijfeld ook aan de IJssel veel overlast; schade en doorbraken worden niet gemeld
1697/98 tot in 1699	p408-409	zeer strenge winter met veel watersnood door dijkdoorbraken in het midden van Nederland; had groot gevolg voor tekorten aan graan, hooi en stro, zodat mensen en vee van honger omkwamen, iets dat zich nog een jaar langer doorzette. Door een zware hagelstorm in de zomer gingen ook nog eens alle zomer- en wintervruchten verloren !

Bijlage 1 cc: Leesaantekeningen Schakels in de tijd, deel I

SidT	,1364	p37	Grondonderzoek heeft aangetoond dat "de zee tijdens stormen" via dit laag gedeelte Mastenbroek binnenstroomde (nabij Zele- of Zenemuden); mooi kaartfragment op p39 (1783) met hierop de 'kuststrook
		"p41	de "zee" voerde vanaf 1700 vrijwel constant slib aan, voldoende voor de (grootschalige) biezeenteelt; in de periode daarvoor worden uit Mastenbroek ook russen gebruikt voor vlechtwerk er is in de 18e eeuw zo'n vraag naar biezen dat de eigen regio er niet aan kon voldoen, waardoor er friese biezen aangevoerd werden en biezen uit de Biesbosch; ook werden er rond 1800 al grote hoeveelheden russen uit Friesland naar Genemuiden verscheept
		p43	begin 19e eeuw lig er zo'n 300 ha biezenland in het grensgebied kampen-genemuiden
1364-1597		p99	Mastenbroek heeft alleen (uit)vlieten, zijlen (drechten) om water te lossen, geen molens
1597-1660		p99	de 4 molens voldeden niet en verdwenen weer
1660-1817		p99	het zou nog 150 jr duren voor er weer molens kwamen (schepradmolens)
1675-1817		p99	Mastenbroek krijgt na deze molenloze periode 3 schepradmolens, maar deze molens komen (veel) te laag te staan en zijn daardoor weinig effectief
>1817			maar, zo schreef veehouder Roetman, dat bij langdurige regen deze molens het land niet boven water/droog konden houden; mn de jaren 1828-29-30 tot aan 53 waren zeer zorgwekkend en het land stond lang onder water

1364-1856		per saldo is mastenbroek na de bedijking 492 jaar (zeg 500 jr) onbemalen geweest en er is sedert de bedijking naast droogte zeer veel wateroverlast geweest in het winterhalfjaar en soms ook langer
>1856	p102	het eerste, goede en betrouwbare gemaal wordt in gebruik genomen, waardoor een periode van maar liefst ruim 250 jaar Mastenbroek bemalen kan worden
<1856 versus >1856		op 38 ha konden 18 koeien en 2 paarden gehouden worden en nadien 27 koeien en 2 paarden
<1347		Zwolle bracht al bakens en tonnen aan in de monding van de Aa, Zwarte Water, Zwolsche diep
1850-1879		periode met goede zaken voor boeren omdat de export gestimuleerd werd
	p140	hooi van buitendijkse gronden was van uitstekende kwaliteit en bracht een goede prijs op
		hooi werd geëxporteerd naar Engeland, Schotland en Scandinavië; hooi was vaak retourvracht voor katoen en kolen uit Engeland bestemd voor twentse textielfabrieken
ca 1860	p141	er waren 4 hooipersen in bedrijf (door paarden aangedreven)
	p143	foto(s) van uitspreiden van mest en uitrijden van gier (aalt)
1866 en 1867		tijdens de zeer natte winters stond de polder lange tijd onder water en door het hoge buitenwater werd het malen vaak gestaakt
	p169	kaart met perceelsrichtingen in Mastenbroek
	p219	na 1893 neemt de weidegang toe ten koste van de hooibouw
	p222	er werd grote hoeveelheden hooi geleverd aan het Engelse leger (1899); de eigenaar exploiteerde ook een hooiperserij en een klaverperserij
		door de gunstige ligging konden de balen hooi gemakkelijk ingescheept worden naar Engeland

Bijlage 1 dd: Leesaantekeningen Relief in Tijd en Ruimte

RTR	tijdsindeling	p46	handige tijdsindeling
		p64	al omstreeks 2000vChr (late bronstijd) is er sprake van bewoning in Ittersumerbroek-Zwolle(zuid), maar er zijn twijfels omtrent de permanentie ervan
		p68	ruim 1000 jaar later (late bronstijd-vroege ijzertijd) er er al meer sprake van (verspreide) bewoning die kenmerkende urnen achter laten (hoog-karspel-cultuur)
		p69	te Deventer worden van de ijzertijd (500 vChr) en (wat) eerder worden ook bewoningen gemeld
		p71	in de late brontijd zijn zandkoppen in "zuidelijk zwolle" wel bewoond geraakt
			boeren verbouwden in die tijd: emmertarwe, bedekte gierst en pluimgierst en hierbij kwam Spelt bij in de vroege ijzertijd; in de omgeving werd appel, peer, hazelnoten, bramen en frambozen verzameld
		p80	zuidelijk nabij Deventer is er verm ook huttentut en vlas verbouwd en er werden eikels vefrzameld vanaf de late ijzertijd wordt er voor het eerst rogge verbouwd, een graansoort doe sinds de romeinse tijd tot de vaste landbouwgewassen gaat behoren
			in de midden- en late romeinse tijd wordt ook maanzaad, koriander en biet verbouwd en worden naast de bekende soorten ook vlierbessen verzameld
		p89	in de vroege middeleeuwen vindt een switch plaats waarbij de romeinse tijd vervangen wordt door één waarin de saksische cultuur manifest gaat worden tot uitdrukking komend in archeologische resten
		p90	al snel volgt de Frankische cultuur de romeinse/saksische op en in de 2e helft v d 8ste eeuw begint dat te domineren
			na de val v h romeinse rijk blijft de bevolkingsdichtheid ca constant maar is er weinig sprake van vaste bewoningskernen, vaak meer van een zekere mobiliteit ervan
9e-10e eeuw			overall' worden ijzerslakken gevonden, duidend op lokaal bewerken (en verzamelen) er van
			in de vroege middeleeuwen al wordt ook haver verbouwd en al eerder is er ook sprake van 'wilde haver' niet te onderscheiden van geteelde haver
			aangenomen wordt dat in deze periode - de deels merovingse periode- kerstening plaats vond en dat er kerken, kapittels en kloosters gesticht worden, en er worden nederzettingen gesticht en komen ontginningen op gang
750-800	p95		
9e/begin 10e eeuw			vondsten van grootschalige houtkoolkuilen (Zutphen)

12-13e eeuw		urbanisatiegolf' in oostelijk Nederland, gestimuleerd door bv Gelre
ca 700	p121	bewoning was georganiseerd in 'kerngewesten'
	p145	Ijsselavulsie, reactivering van de IJssel als Rijntak door extreem hoog rijnwater in de nog onbedijkte situatie, heeft afzetting van klei tot gevolg en het verdrinken van moerasbos west van Zwolle
600-900	p146	Maas&Makaske melden dat de IJssel pas na 600 nChr verbonden werd met de Rijn, ook door IJsselavulsie, een proces dat pas einde 950 voltooid raakte
<600	p477	het ijsseldal is een laagveengebied met lokale stroompjes en een stroom ter grootte van de Regge, gevoed vanuit de flanken en het Dortherbeekstelsel al ruim voor de ME raakte het Nrd-Ned landschap haar bossen kwijt en in de ME bestond ons landschap uit 'een moving mosaic'; of dit ook voor O-Ned landschap gold is niet bekend
>1500 vChr	p478	Vanaf de 2e helft van de midden-bronstijd tot in de vroege ME zijn rivierduinen en dekzandruggen ononderbroken bewoond geweest met daarop ook een open landschap met veel cultuurgrond; verder zal het vooral wildernis geweest zijn met daarin grote bossen, vennen en hoogvenen in de Romeinse tijd neemt het bosareaal steeds meer toe en gaat de omgeving van de nederzettingen steeds meer uit open bos bestaan en struikheide gaat toenemen tot zelfs vrij sterk in de 7e en 8ste eeuw
	p498-499	afzetting van een komkleidek op oude, reeds vanaf het laat-neolithicum bewoonde gebieden langs 'de IJssel' ging door tot de aanleg van de eerste dijken in de ME op die komkleien ontstonden soms weer overslagdekken die soms ook in verstuiwing gingen en daar dan kleinere stuifduinen vormden (op komklei) op oud dekzand in het Ijsseldal (zuid van Zwolle) komen stuifzand voor bij Harculo, Fortmond en bij Rande
>late ME	p503evp	na de ME ontstonden de essen/engen/enken/kampen door plaggenbemesting
	p506	bruine plaggen--grasplaggen/beekdalen; zwarte plaggen--heide plaggen/velden vanaf de Late ME ontstond er een gestructureerd en verkaveld landschap, met infields en outfielden en werd er een basis gelegd voor settling/buurt- en bewoningskernen die lang op dezelfde plek gingen wonen/leven
Laat- en Post_ME		er volgen versterkte huizen, vaak adelijk, omgracht (spikers, burchten of kastelen, verdedigingswerken), ook ook direct aan het lage deel v h landschap vanaf de 12e vlg kloosters en kapellen op het platteland en op vrij grote schaal verandert de waterhuishouding (aanleg wetering, dijken, beekverleggingen, watermolens, uitvlieten, enz) tegen einde ME ook de eerste veenwinningen die hun hoogtepunt in de Gouden Eeuw en later vinden in grote wildernissen als het Steenreewald, Synwede en Berlewald werden runderen en varkens geweid, was er houtskoolproductie en werd brand en constructiehout gewonnen
	p509	

Bijlage 1 ee: Leesaantekeningen Leefbaar Laagland

LL	periode 1170-1248	noordenederland wordt regelmatig getroffen door overstromingen en de Zuiderzee ontstaat uit de Almere; veel Nederlandse en Friese meren worden sterk vergroot; wellicht dat het 'boddenlandschap' zich dan max heeft uitgebreid
	vanaf 1100	door ontginningen in het gehele rijnstroomgebied worden de rivierafvoeren grilliger

Bijlage 1 ff: Leesaantekeningen Havezathe Werkeren

HW	925	vanaf deze tijd werd Zwolle opgenomen onder de wereldlijke macht van het oostfrankische of Duitse rijk en kwam de kerkelijke macht bij de bisschop v Utrecht
	1026	de Bisschop v Utrecht wordt vazal (leenheer) v h IJsselgouw en wordt daarmee ook landheer
	1230	Zwolle wordt stadsrechten verleent, waardoor haar positie aanzienlijk versterkt raakt (tov andere steden en v d adel)
	1822	kaartfragment met daarop gedetailleerd Werkeren e o
	50-500	50vChr-530 nChr stond er een groot bos in een dunne veenlaag net west v d Milligerplas; daarna is het gebied vrij plots verdrongen onder een dikke kleilaag en een zoetwatermeer; de kleilaag (vlg auteurs) is van belang geweest voor de ontwikkeling v M
	944	de naam Voorst zou ontleent zijn aan 'pagus forestis' een onherbergzaam bos- en veengebied in ZWDrenthe tot Vollenhove en M

	p37	De boerderijen worden gebouwd op huisterpen, odat de bewoners...."
		Zwolle kreeg binnen circa een eeuw inkomsten van goede kleirijke gronden van wege ontginningen ten zuiden van Zwolle en hun participatie in M
	p39	kaartfragment met de blokken erop laat 2 zaken goed zien: hoe verhouden de blokken van Zwolle en van Van Voorst zich, en waar ligt Werkeren ?
1368		op de plek van Werkeren is een verdedigbaar, stenen huis verschenen, en is vermoedelijk door/in opdracht van Van Voorst verschenen; zowel het Zwolse als het VanVoorstblok is 'onregelmatig verkaveld zo blijkt uit de kaart
		mogelijk heeft Werkeren als aternatief voor de van Voorsten gediend nadat hun kasteel (stamslot) vernietigd was
1853		informatieve kaart waarop de percelering goed te zien is (regelmatige versus de onregelmatige)
	p43	Wat precies met "de Vekoter Weterine achter Werkeren" bedoeld wordt is onduidelijk
	p48	tekening uit ca 1690 waaruit de weidsheid/boomloosheid van het gebied, zuidoostelijk Mastenbroek, blijkt
1e helft 15e eeuw		in Zwolle melding van grote sterfte in de zomermaanden: 1421-1422, 1440, 1450 en 1458 (zwarte dood en andere geveerde ziektes)
medio 17e eeuw		schilderij met op achtergrond een weids (boomloos) landschap van mastenbroek
		de grootte v e boer wordt (in de begin v d 18e eeuw) afgemeten aan: >10 koeien = groot, klein = 4-9 en keuter <3 koeien
150-600nChr		H.Clevis meldt over moerasbos dat alleen in deze periode in Mastenbroek gestaan kan hebben, daarna komt de klei(afzetting) en is dat niet mogelijk, de novale tienden wijzen er ook op dat er al tegen het einde van de 12e eeuw cultuurgrond in Mastenbroek lag en dat bepaale delen al een simpele afwatering hadden

Bijlage 1 gg: Leesaantekeningen Stromend landschap

StrL	p14	klepduikers had men in de IJzertijd () al uitgevonden en men kon ze inzetten om ingezet in getijdereken achterliggende gebieden te ontwateren
	p16	vloeiweidenstelsel: het gaat om systemen---belangrijkste doel....vorstvrij houden....te bemesten met sib of humus
1e helft 16e eeuw of eerder al	p19	mest uit (bevoeide) hooilanden was rijk aan fosfaat en via de stalrest ging dat weer naar het land; oostnederlandse akkerkers (eenmansessen ed) liggen alle aan een waterloop(je) ! opsomming van voordelen van bevoeiing voor de boer (!); bovendien wordt de gebruiksduur vervroegd en ook verlengd en de opbrengst aanzienlijk verhoogd tov die op de heidegronden
	p32	bevoeiingssystemen werden toen in een groot deel van nederland gebruikt auteurs melden dat 'sek' (mergrijke grote zeggen) nog tot lang in de 19e eeuw als veevoer gewild was
>15e eeuw	p35	id melden ze grootschalige bevoeiing langs de ijssel in zowel Overijssel en gelderland, via de parallelle weteringen ook hebben 'broeders des gemenen levens' in de 15e en 16e eeuw zich in dat gelderse deel met waterbeheer en landbouw beziggehouden
1870 evj		wetering = water = verdelen van opgeleid water er is een chaotische waterstaatstoestand doordat allerlei beken water aan elkaar verliezen en omdat er onderweg steeds water wordt gestuwd en of afgetapt
1000-1700	p37	auteurs noemen JPhBeernink (1937), die wijst op de taltijke vloei-systemen (loopvelden ed) die er al zijn met water uit het IJ werden via inlaten nabije polder bevoeid om er vruchtbaar slib op te krijgen, de Zuideinders lieten het in en de Noordeinder er weer uit
1600		ene HLSpiegel rept erover dat "....het gaat immers om bewaterd gras, onder winters ijs, dat echter in het voorjaar koeien voedt...."
1399		in een aktie die handelt in de Reggevallei wordt in een koopakte het 'recht op water' expliciet genoemd en Hijzeler (1966 en 1970) vond in oude geschriften dat dit recht een onroerend goed is bevoeid grasland brengt in pacht 3x zoveel op al niet-beveoid land M.Kramer, 1924 Onze weidegrassen, rept nog over waterharde grassen

Bijlage 1 hh: Leesaantekeningen Van Hunnepe tot aan de zee.

vH- deZ	1308	p83	het sallands dijkrecht is bekrachtigd in 1308 bij brief door bisschop Guy van Henegouwen (guy van Avesnes), een brief die in 1400 als afschrift gemaakt door bisschop Frederik v Blankenheim op verzoek van het Zwolsche stadsbestuur
		p106	FDZeiler meldt hier dat M'bij omwonenden als zomerweide in gebruik is (tot de bedijking) in de loop van de 14e eeuw evolueert in M'het recht op grondgebruik tot een eigendomsrecht van de grond maar Stegeman meldt nog dat er in 1675 68% en in 1751 56% en nu ongeveer 0% aan pachtboeren in M scharen omvatten weiderechten (inscharen) en waren andere gebruiksrechten cedul is register, willekeur is keur op uitdrukkelijk verzoek van de rechthebbende een wetering op maken is een wetering op diepte en breedte brengen in het 'nielant'(wildernis) wordt omstreeks 1310 nog landerijen onder Wengelo en Lierderbroek ontgonnen en verdere ontginning gaan planmatig en hanteren ook in de periode daarna nog de maat van 2250 m
	1346	p127	de ontginningswerken en waterstaatkundige veranderingen zuid van Zwolle zouden wel eens toe bijgedragen kunnen hebben dat ook bij en noord van Zwolle het oude loopveldenstelsel gewijzigd moest worden en dat daarom de stoudijk bij Frankhuis een andere (kerende) rol kreeg; het water werd op het Zwarte water geloost
einde 14 e		p128	de ijssel had veel zandplaten en ondieptes
17e en 18e eeuw			de ijssel staat nagenoeg zo droog dat een koets met de vorst aan 'boord' gemakkelijk naar de overkant kon rijden
	1672		
	1771		de ijssel is regelmatig zeer ernstig laag in peil, scheepvaart zeer bemoeilijkt
>1973			met 3 stuwen in de Nederrijn is het ijsselpaas weer gegarandeerd

Bijlage 1 ii: Leesaantekeningen uit "Zeiler, "

OIJ		1	Zeiler veronderstelt dat door de late ontginning (pas in de 2e helft v d 14e eeuw) er iets bijzonders met dit gebied was
12e eeuw		2	Zeiler merkt op dat in de 12e eeuw veengebieden te Hasselt en Vollehove reeds ontgonnen waren
13e eeuw		3	Zeiler merkt op dat Kamperveen al in de 13e eeuw ontgonnen is Kampen is al tot boven de 10.000 inwoners gegroeid
<1364			Al vóór 1364 heeft men gepoogd het gebied te ontginnen, wat mislukte door politiek gekrakeel
1650, krt		4	Zeiler geeft mooi kaartje van omstreeks 1650 kaart van Nicolaas ten Have, waarop de strakke weteringen alle staan
		5	p 15 over drechten: hij noemt Drecht (gedempte wetering bij Genemuiden), Damdrecht, Gheysendrecht, Stickeldrecht, Watersteniger, Westendrecht en Wolfesdrecht; vdSchrier meent dat het een kunstmatige passage ve natuurlijk water is.
1437	p16		in 1437 wordt over een dijk langs het Zwwater gesproken bij Frankhuis hij noemt het woord broek, ook holt: merkwaardig dat het kleidek westelijk van Hasselt een vrij sterk reliëfrijke overgang vertoont met het direct er onderliggende veen; kan dit een nat elzen-essen-broek geweest zijn waarop na bosafsterving klei is afgezet ?
	p16		
	p17		gebied bevindt zich staatkundig in marginale positie tussen Salland, Vollehove en Drenthe
15e eeuw			Schokland zit met brede landstrook aan "de Veluwe" vast tot in de 15e eeuw Kampen treedt pas in 1277 voor het voetlicht en het zou een 'dochter' van Katen zijn (Katerveer, Veecaten), en het zou een vrijstaat zijn van de heren van Buckhorst
	1277		
<1e deel ME			Brunnepe en Wilsum hebben al vroeg-middeleeuwse wortels
12e eeuw	p18		het land achter het kasteel Voorst noemde het volk "Voersterbroec" en in de 12e eeuw werd ook de naam "Mastbrueke" vermeld, het land lag buiten Zalland en buiten de parochie Zwolle de Heren van kasteel Voorst wensten vermoedelijk eenzelfde territoriale vrijheid als hun collega's van de Bukhorst
			in de periode 1329-1331 is er sprake van een "sallandermarc" en in één van deze oorkonden (die van 1331) worden afspraken gemaakt tussen de Bissch v utrecht en de graaf van Gelre over de verdeling v d opbrengst v h gebied (vooronderzoek ivm definitieve verdeling)
	1329	p19	

<1329		<p>In het 'omstreden' gebied dat we Mastebroek noemen verbleven al voor 1329 luden die onder het gezag v d landsheer vielen</p>
		<p>Belangrijk is en blijft de vraag waaraan ontleenden omringende steden/dorpen hun aanspraak/hun recht om in de verdeling van 1364 te participeren, immers er was geen markerecht van toepassing</p> <p>traditioneel mochten bewoners uit Voorst, Westenholte, Veecaten, Wilsum, Oosterholt, Ijsselmuiden, Grafhorst, Afschet, genemuiden en Haasleerdijk hier turf steken, riet en rijshout oogsten en vee laten grazen</p> <p>zo'n recht werd alom in ere gehouden</p> <p>Deventer had zakelijke belangen om deel te nemen aan de ontginning van Mastebroek omdat het inhoud zou geven aan de al lang verwachte nieuwe tieninkomsten</p>
1000-1300	p21	
	p29	<p>de namen met drecht hebben hun hoogtepunten tussen 1000-1300 en zijn alle verbonden met de plek waar een kreek, plek onder invloed van eb en vloed, in een groter water uitmondde; het kan geen doorwaadbare plek zijn</p> <p>alle drechtnamen komen voor tussen Kampen en Genemuiden en Hasselt en Genemuiden</p> <p>drecht duidt vlg VdSchrier op een plek waar een waterstaatkundig werk voorhanden is om een schip/vaartuig over een dam te doen gaan (overtoom)</p> <p>met bovenstaande verklaring van drecht is vlg VdSchrier echter het verschijnsel drecht in Mastenbroek niet opgelost</p> <p>VdSchrier vermoedt dat met drechten (wellicht een palenrij) de bevaarbaarheid op de (achterliggende) kreek bevorderd werd zoals we dat in het Meppelerdiep kenden als (houten) wambas en nabij de vecht als pinanten.</p> <p>VdSchrier duidt op het voordeel van et behoud v h ijsdek voor het snijden/transporteren van riet en voor het vangen van vis in (ijs)wakken</p>
	p30	<p>VdSchrier meldt dat drechten door zijlen vervangen zijn</p>
	p31	<p>VdPas meldt dat mastenbroek tot aan de ontginning en opsplitsing van de gronden vrijwel geheel uit woeste gronden bestond die extensief gebruikt werden (hij noemt geen bron hiervoor)</p> <p>idem meldt hij dat er een lange voorgeschiedenis aan voorafging voor men het gebied kon ontginnen</p>
1362		<p>pas nadat kasteel Voorst in 1362 viel kon de ontginning ter hand genomen worden en kon de verdelingsakte opgemaakt worden</p> <p>in het voortraject werden regelmatig de wapens erbij gehaald</p> <p>de strijd om Mastenbroek vooral bezien in de context van politiek machtspeel tussen drie groeperingen: Bisschop v Utrecht (=landsheer die het voor het zeggen heeft in het Oversticht), de machtige Overstichtse adel en de opkomende steden</p> <p>er waren wisselende belangencoalities tussen de 3 groeperingen, waarin belangen samenvielen danwel contrasteerden</p> <p>VdPas meldt dat de landsheer regelmatig geldgebrek had en dan weer met één van de opposanten dealde om weer middelen te krijgen, waarbij de opposanten dan op hun beurt ook weer voordelen verkregen</p> <p>VdPas meldt ook dat de voorgeschiedenis van belang is uit oogpunt van rechtshistorie: omwonenden hadden een omschreven aandeel in de gebruiksrechten in de onverdeelde wildernissen van Mastenbroek waardoor ze plaggen mochten steken, turf graven, schapen en varkens weiden, hout sprokkelen en - kappen</p> <p>de landsheer deed bovendien beroep op de wildernisregaal(het uitgeven van rechten op wildernis behoorde oorspronkelijk tot de vorst) en dat was de basis voor het opleggen van cijns</p> <p>om onduidelijkheden in de belangen te vermijden wilden de omwonende rechthebbenden tot verdeling en toeling overgaan zodat men wist waarop men kon rekenen; immers de landsheer deed nogal eens afbreuk door zelfstandig die wildernisregaal te hanteren</p> <p>de bisschop kon diit accepteren, mits hij een lucratief aandeel in die verdeling zou krijgen; maar dit was de basis in het conflict van belangen: bisschop versus omwonende gerechtigden</p> <p>De Heer Van Voorst steunde de 'localo's' in de verwachting/hoop dat hij dan een groter deel kon opeisen</p>
1329	p33	<p>de graaf van Holland roept de 'strijdende partijen' op in 1329 om hun conflict (binnen 3 weken) bij te leggen en na 2 mnd wordt het conflict beslecht en wordt duidelijk wat eraan ten grondslag lag</p> <p>de 'gerechtigden' hadden nl zich al teveel toegeeeigend en waren te ver gegaan om te komen tot een meer winstgevende exploitatie (wat die dan ook geweest moge zijn)</p>

		de bisschop beschouwde het gebied echter als wildernis dus bevattelijk voor de wildernisregaal, waardoor alleen hij de ruiming (met alle voordelen van dien) mocht uitoefenen
		de bisschop zal daarbij een orde van eentiende in gedachte gehad hebben als voorslag
1331		de bisschop dealde met de graaf van Gelre (in 1331) om hem - ongetwijfeld vanwege zijn steun - daarvoor te belonen met een deel van de ruiming en de later te heffen cijns.
1330		in 1330 is er opnieuw een strijd als de heer van Voorst niet akkoord gaat met gedane uitspraak, maar uiteindelijk wint de bisschop en Van Voorst moet de schade betalen
1330	p35	in 1330 verloor de bisschop vanwege geldgebrek macht ten gunste van Gelre en in 1336 verloor hij het Oversticht helemaal aan Gelre, iets dat tot 1346 heeft geduurd en toen loste JJ v Arkel de schulden in
		met de komst van een nieuwe belanghebbende, nl het kapittel van Deventer, werd de 'novale tienden' geïntroduceerd, nl het recht om inkomsten (belasting) te heffen op nieuw ontgonnen land en met een verdeling van het te ontginnen Mastenbroek werd tevens een belangrijke inkomstenbron aangeboord
1349		de bisschop kreeg een deel van de tienden in erfpacht en bovendien was zijn voorslag tiendvrij alles wees erop dat het gebied in 1349 verdeeld zou gaan worden
1352	p36	zo rond 1352 hervond de bisschop een nieuwe en betere machtsbasis door o.a. een goede deling te maken met de (opkomende) steden versus de belangen van de adel en Gelre.
1361		rond 1361 gaat de stad Zwolle een kanaal aanleggen naar de IJssel op de grens met het gebied met Van Voorst hetgeen natuurlijk tot een ernstig conflict aanleiding was; vermoedelijk kon hierdoor ingelaten rivierwater definitief niet meer zuid van Zwolle doorstromen naar noordwest van Zwolle
1362		in 1362 werd de strijd beslecht, gaf Van Voorst zich over en werd zijn kasteel met de grond gelijk gemaakt, kwam hiermee de Overstichte feodale tijd ten einde en werd het mogelijk om Mastenbroek te verdelen (tussen minder machtige gerechtigden)
1364	p39	Frederik Stoveken, gezworen landmeter, heeft de verdeling in 1364 concreet uitgewerkt; het oorspronkelijke werk is (nog) niet bekend en vermoedelijk niet bewaard
		na de verdeling waren nog gronden overgebleven die door 4 gezworenen verkocht werden en waarvan de opbrengst ten goed kwam aan alle gerechtigden
1390	p43	VdPas meldt dat pas vanaf 1390 er een (gezamenlijke) regeling komt inzake de instandhouding van waterstaatswerken en vóór die tijd was waren die waterstaatswerken er niet wat pas met de verdeling geregeld werd
1390		omstreeks 1390 stamt de onderhoudsregeling voor de waterstaatswerken
1390		de polder Mastenbroek van 1390 is niet identiek met de verdeelde gebied van 1364
1364		in 1364 wordt er een hoevenlijst van het kampereiland opgemaakt tbv toedeling aan kampen
	p46 p52- 53	men kon gebruik maken van 3 weteringen die er al vanouds lagen, nl de Nieuwe wetering, de bisschopswetering en de Oude wetering
		veel info over de verdeling, gerechtigden en bloktoedelingen
	p53	middels voorstellen en toedeling van aangrenzende delen kregen vele gerechtigden, maar niet alle, een voorkeursbehandeling; de landsheer nam al op grond van de toend, dito de wijbisschop als verdelingsmaat werd aangehouden: 1 waar in de lokale gemeenschap tegen 6 morgen in Mastenbroek
		in randgebieden waren er al 'aangravingen', maden genaamd die ook wel als oudhoevige maden geduid worden
1390	p58	omstreeks 1390 zijn waterschapsregisters voor het gebied opgesteld en is een onderhoudsregister opgesteld voor dijken en wegen
begin 1400		bruggenregister wordt opgesteld
1390		het dijkrecht werd in 1390 vastgesteld, zodat deze dijken er wel niet al lang daarvoor waren
begin 14e eeuw		er was al een dijk langs de IJssel tot Grafhorst en stroomopwaarts tot in Sallant gelet op de dijkbrief van 1308
1340 en nadien		in 1340 wordt de dijk tussen Uiterwijk stroomafwaarts direct langs de rivier gelegd waardoor de duinenrij nu ook tegen overstromingen gevrijwaard wordt
		bovengenoemde dijk eindigt bij de stad Kampen
na 1340		het is niet bekend of er al langs de zee en het zwarte water dijken lagen

		er wordt een stoudijk aangelegd tussen Frankhuis en de IJssel, verm gaat het om een vernieuwing van de al bestaande dijk (vgl VdPas en Zeiler)
	1385	
	1364	de 3 weteringen zijn er al vóór Mastenbroek er is, alsmede de 'sluizen' aan de zeekant
		de kamperwetering, die kampen voor scheepvaart met Hasselt verbindt, is later aangelegd (tussen 1381-1390)
<1390		vermoedelijk is er al een 'dijkstoel' die namens de bisschop toezicht houdt op het waterbeheer en de weteringen
		de kerk van Mastenbroek is gebouwd in 1369 staat op het kruispunt van twee lijnen: de lijn van Hasselter kerktoren naar de Sonnenbreg en de lijn vanaf Werkeren over de Oude (vermoedelijk Eerste) wetering, beiden 9 km lang (= 2000 Sallandse roeden)
	p60	parallel aan de Oude wetering zijn de nieuwe wetering en de bisschopswetering gegraven (ze waren er al vanouds.....) en ze verdelen Mastenbroek in 4 gelijke segmenten van ieder 2250 m
		binnen dit systeem is het bekende principe van opstrekking toegepast (vgl VdPas en Zeiler)
		afwijkingen op dit patroon doen vermoeden dat hier al eerdere ontginningsactiviteiten aan de orde zijn (omg Hasselt, Zwolle, Voorst, werkeren, wolfshagen, kampen/IJsselmuiden)
>1390	p60	er waren 3 dijktrajecten: vanaf Uiterwijk via kampen/IJsselmuiden naar Genemuiden naar Frankhuis (a), een stoudijk van Frankhuis naar de IJssel nabij het Zalkerveer (b) en het traject van nabij het Zalkerveer naar Uiterwijk (c)
		het beheer verschilde: a en c vielen onder het beheer van het de Mastenbroeker schouw en b viel onder de Sallander schouw
		in deze dijktrajecten waren enige sluizen
		langs de 3 weteringen lagen alle aan weerszijden wegen (op verhoogde kaden !) en de kamperwetering had alleen aan één zijde een weg, deze wegen zitten allen in de waterschapsregisters, maar de (nieuwere) kruiswegen niet
	p61	
	p62	zeegraven worden genoemd, maar een verband met "sei of sea" wordt niet gelegd (kwel, piping) om wateroverlast af te voeren vanuit de dijkvoet/dijkachterland
		in de registers worden ook 'voergangen, hoofd- en zijgraven' genoemd en tussen de perselen lagen sloten
1390		
	p63	kaartje 1364 met de blokken er op en in tekst de grootte van veel blokken
		bij 's Heerenbroek, in het bisschoopelijke voorstel, zijn al een 10-tal huisterpen aanwezig, waarvan er 6 al een naam hebben
1426	p65	
1e deel 15e eeuw		veel namen voor terpen duiken in registers op in de periode in de eerste helft van de 15e eeuw
		akkerbouw is vermoedelijk al v a het begin van ondergeschikt belang geweest en zuivel stond voorop (dus grasteelt); in de 15e en 16e eeuw waren er 'vette boterpachten'
	1447	dijkdoorbraak waarbij vermoedelijk de stadskolk ontstond, nabij Voorst, veel klei afgezet
>1390		met waterschapsregister of -cedules regelde men de rechten en plichten tot onderhoud van (ingelanden) van bruggen, weteringen, dijken en wegen en zelfs (delen v d) sluizen
		deze register kunnen weer onderverdeeld worden in een 1) dijkenregister, 2) een wegenregister en 3) een weteringregister
		via het principe van "landweer" kon de landheer alle manlijke ingelanden verplichten zich in te zetten voor gezamenlijk herstel of verdediging; daarnaast was er een individuele plicht om aan onderhoud bij te dragen
	p71	het bruggenbeheer en onderhoud was in handen van de bruggenmeester en de kosten ervan werden op het brugblok verhaald (zie krt p 71)
	p72	de wegen langs de wetering worden als één geheel met de wetering beschouwd en worden niet qua onderhoud apart geregeld; dit geldt wel voor de kruiswegen die apart genoemd worden
	p84	schouw op wetering werd op 3 dagen uitgevoerd: 13 mei, 4 juli (ruitschouw) en 17 september en aangenomen mag worden dat er in principe steeds een wederschouw mogelijk was
		de hoofd- en zijgraven werden bij de eerste schouw op 13 mei meegeschoofd en daarna niet meer
1570	p94-95	interessant kaartfragment met een "kille" die te Uiterwijk met de IJssel verbonden is, en naar het klooster te Sonnenberg, gesticht pas in 1485, loopt
	p97	R van Dijk ea melden hier dat er nog lange tijd bij 's Heerenbroek een gebied onontgonnen bleef
		idem, hij suggereert dat de mozaïek op gang komende ontginning van Mastenbroek bespoedigd werd doordat de karthuizers (op de Sonnenberg) zich met de ontginning gingen bezighouden....., iets waar de bisschop natuurlijk baat bij had (geld !)
1844	p193	kaartfragment bij Roebolligehoeck, interessante details

	p195 ev	Arent toe Boecop meldt in een in 1575 geschreven kroniek over mastenbroek dat het gebied vóór 1364 als meente (gemeenschappelijke weide) gebruikt werd
		Vlg AtB waren er vanwege de hoge liging eerst geen dijken nodig en kon het water vrijelijk afstromen
500-750		kleiafzetting begint blijkens datering op Schokland, bij Blankenham en bij Kampen en de veengroei komt ten einde
	p195 ev	VdSchrier meldt dat de kleiafzetting in mastenbroek afkomstig moet zijn van de IJssel en uit de Almere (na opwoeling)
500-750		de waterstand op het Almere was ca 0.5 m -NAP en het veen tegenover Zalk was ca 0.5 m + NAP en helde af richting noorden en oosten
		het veenmoeras helde 10cm/km
		door de kleiafzetting nam de veenhoogte af (zetting)
		gemiddeld is de veendikte met 15 cm/eeuw afgenomen
12e eeuw		de IJssel krijgt pas in de 12e eeuw grotere afvoeren
		VdSchrier meent dat Mastenbroek voor de vervening één kale vlakte moet zijn geweest zoals we dat v d Zuiderzeepolders kennen
		de eerste IJsseldijken waren eerst niet meer dan lage/kleine zomer- en winterkaden gelijk (hoefslag-)paal 87 markeert nog steeds de invloed van het Sallandse dijkrecht versus het Mastenbroeker dijkrecht, ca 100 m stroomafwaarts van de 'kolk te Uiterwijk nabij Wilsom'
		Verhoefslagen of onraden maken
1308		IJsselmuiden en Oosterholt liggen nog buitendijks
1385-1390		het dijkrecht van Mastenbroek werd voltooid wat ook in zal mogen houden dat de dijk zelve voltooid is geweest
v a 1400		IJsseldijken worden regelmatig wat landinwaarts verlegd
2e helft 1600		dijken worden verhoogd en in 1671 worden Mastenbroeker dijken met 2 voet verhoogd; ook tussen 1698 en 1710 verhoogt en verzwaart men de dijken regelmatig
		het vele onderhoud aan de mastenbroeker dijken komt vooral door hun ligging op 'zettend' veen
	p198	VdSchrier meldt dat vóór de aanleg van de IJsseldijk men IJsselwater vanwege slib en de vruchtbaarheid daarvan over het land liet stromen en zo meent hij dat de toenmalige stoudijk IJsselwater kan hebben afgeleid naar het Zwartewater
1490-1600/1610		er worden diverse molens gemeld die voor bemaling moeten zorgen en waar geregeld problemen mee zijn
1650		van de 5 molens zijn er nog maar 3 over
1713		het polderbestuur besluit om weer molens aan te schaffen, maar die waren slechts effectief als het stevig waaide en als er geen water naar de sloten stroomde.....
1768		Genemuiden bepleit dat er molen aangeschaft moeten worden vanwege de nadelige effecten v d wateroverlast
1768		2 deskundigen uit het Hollands Noorderkwartier adviseren geen molens aan te schaffen (!) want met het opknappen van het Lutterzijl en het Venerietzijl zou ook volstaan
		molens zouden hier niet voldoen omdat er teveel kwel op zou treden bij hoog water buiten, bovendien ag het land nog zo hoog dat het gewoonlijk geen probleem zij zijn
1818		er worden 3 watermolens gebouwd die op enige afstand (met een voorboezem) van de dijk stonden om maximaal wind te kunnen opvangen
1810-1830		de windbemaling kan niet voorkomen dat het land snel onder water komt bij hevige neerslag
, 1856		in de periode worden elektrische gemalen en met het grote gemaal werd mastenbroek koploper
1850-1860		uit schepradmetingen blijkt dat het zomerpeil ca -0.35 NAP was en het winterpeil hoger
1888		in een art in de Zwolsche Courant maakt melding dat ingelanden dat sedert de ingebruikname van het tweede stoomgemaal (in 1878) hun landerijen niet meer de vruchtbaarheid hebben van dat van vóór die tijd omdat er teveel water werd afgevoerd
1890-1960		er wordt een relatief hoog winterpeil gehanteert oa door schotten in de wetering in het hoge deel van mastenbroek te plaatsen, waardoor het winter(streef)peil op 10 cm+ tot 5 cm -NAP zou komen gedurende dec-jan-febr
1961		het Venerietegemaal wordt in gebruik genomen met daarin twee (ouderwets genoemde) effectieve vijzels
1965		bemaling en ontsluiting komt gereed en kon het diepere water epil gerealiseerd worden met een nog dieper winterpeil dan zomerpeil, van -1.4 NAP

		VdSchrier meldt 34 overstromingen met grote gevolgen voor mastenbroek in slechts 4 eeuwen tijd (gemiddeld 1 overstroming per 10 jaar) wat betekende dat mastenbroek wel zeer regelmatig onder water stond
	p204	id meldt ook dat sinds 1825, vanwege de aanleg van overlaten, de polder 9 x te lijden heeft gehad van zout zeewater
	p204	winteroverstromingen waren nuttig en werden normaal gevonden vanwege het slib en de vruchtbare werking ervan
		een dijkdoorbraak in de winter zorgde meer voor nog meer water omdat het 's winter toch al blank stond, maar bij ernstige overstromingen stond het land tot lang in het voorjaar blank
		Mastenbroekers hadden 'hulpgaten' in de Noordelijke zeedijken gemaakt om water tgv kruierend ijs-doorbraak langs de IJssel/ZwWater snel te kunnen afvoeren
1428-1762	p204-206	opsomming van alle 34 dijkdoorbraken sinds 1428-1762, plus vermelding van 7 nog eens zeer ingrijpende in 1775, 1776, 1784 en 1799, 1808 en 1809 en 1825
1573+>10		doorbraak bij Harculo die pas (door de oorlog) na 10-tallen jaren weer hersteld kon worden
1860-1863		periode met veel overstromingsschade die noopten tot dure verbeteringen aan de dijken en ophogen van de overlaten en nadien is er geen overstroming meer geweest
1825, 1834, 1862		na het weer droogvallen v d polder zijn de weteringen en sloten voorzien van panharing, spiering en bot....!
1877 en 1881		mastenbroek ontsnapt op het nippertje aan overstromingsrampen
		veelal waren het doorbraken v d IJsseldijk(en) als gevolg van ijsgang (i d Kleine IJstijd) en veel minder door doorbraken van de eigenlijke mastenbroeker dijken
	p212	in het oorlogjaar 1944 werd mastenbroek door de bezetter opzettelijk geïnundeerd
		Albert Roetman, die over de uitwerking van zeewater rapporteert, meld "het middelmatig gemeste geile land was van de watervloed (vanuit de zee) niet beter geworden; de roebol en de russchen hinderden nu niet en het gaf ook meer en beter soort gras dan te voren....van de vloed was veel klei op de landen blijven liggen, waardoor ze veel beter werden.....op lage plekken was het zoo dik dat er in het eerste jaar geen gras door heen kon groeien en het rauw bleef liggen. Kennelijk werden de slechtere gronden er beter van !
	p215	
	p223	Stegeman meldt dat M'ongeveer 8600 ha groot is, en vermoedt dat het hogere deel v M'voor akkerbouw in gebruik zal zijn geweest, de rest voor veeteelt
1520		een schattingscohier doet melding van gaarden (tuingronden) die nodig is voor de teelte van kool, knollen, wortels, boen en peulvruchten, mn de koolsoorten overheersten toen
medio1700-1800		de gaarde neemt in belang af mede door de komst van de aardappel
		tot ca 1860, toen de buitenlandse katoen(producten kwamen, had iedere M'boer wel zijn eigen vlashoekje
		Stegeman meldt 3 golven van 'veepest' in Overijssel: 1714-1721, 1745-1746 en 1768-1776, en in 1776 werd voor het eerst entstof ontdekt
1800		veebezetting per bedrijf (op de betere gronden) was in 1800 zo'n 18.5-20 koeien
<1806		met het fokken nam men het niet nauw , als een koe maar 'dragtig' werd
		de melkopbengst destijds was op de betere bedrijven ca 1200 kg/jr/dier
1828-1830		natte jaren met veel leverbotziekte onder het vee ('galligheid'); in deze natte jaren gingen veel boeren overigens zelf hun land bemalen met een molen

Bijlage 2

Deelrapport "Geofysisch onderzoek – Medusa"

Proeftuin Mastenbroek, Ontwikkeling van meetmethode binnen POV Piping

Medusa Project	2014-P-481
Medusa Rapport/versie	2014-P-481-v3
Opdracht	Ontwikkelen van meetmethode voor bepalen van de kleilaag dikte binnen POV Piping
Datum rapportage	30 juni 2015
Locatie	Mastenbroek
Gebruikte sensoren	Ground penetrating radar, gammaspectrometer, GPS



Proeftuin Mastenbroek

Ontwikkeling van meetmethode
binnen POV Piping



Verantwoording**Algemene informatie**

Titel	Ontwikkeling van meetmethode voor bepalen van de kleilaag dikte binnen POV Piping
Medusa Project	2014-P-481
Opdrachtgever	Waterschap Groot Salland
Medusa Rapport/versie	2014-P-481-v3
Opdracht	Ontwikkelen van meetmethode voor bepalen van de kleilaag dikte binnen POV Piping
Medusa Projectleider	S. de Vries
Rapportage	M. Huizenga/ S. de Vries
Operators Medusa	W. Rooke
Collegiale toetsing	R.L. Koomans
Eindredactie	S. Veldhuis
Datum uitvoering	
Datum rapportage	30 juni 2015

Locatie informatie

Locatie	Mastenbroek
Bodemtype	Klei zand grond
Weersomstandigheden veldwerk	goed
Verstorende elementen tijdens veldwerk	Natte gedeelten, percelen met koeien

Techniek

Gebruikte sensoren	Ground penetrating radar, gammaspectrometer, GPS
Instellingen sensoren	<>
Lijn/raai interval	5m
Positionering	GPS
Positienauwkeurigheid	RTK-GPS

Medusa Explorations BV

Postbus 623
9700 AP Groningen
Telefoon: 050- 5770280
Email: info@medusa-online.com
www.medusa-online.com

Inhoud

Inhoud.....	3
1 Introductie	4
1.1 Kader.....	4
1.2 Vraag.....	4
2 Basisgegevens.....	5
2.1 Gebied.....	5
2.2 Strategie.....	5
3 Veldwerk	7
3.1 Uitvoering van het veldwerk.....	7
3.2 Gebruikte meetsystemen	8
3.2.1. Gammaspectrometer	8
3.2.2. Grondradar.....	10
3.3 Boringen.....	12
4 Van meetgegevens naar geo-informatie.....	14
4.1 Meetgegevens	14
4.2 Data verwerking.....	14
4.2.1. Gammaspectrometer	14
4.2.2. Grondradar.....	15
4.2.3. Hoogte	16
4.2.4. Boordata.....	17
4.3 Interpretatie.....	17
4.3.1. Algemeen.....	17
4.3.2. werkwijze.....	18
4.4 Binnendijkse metingen t.b.v. lokalisering Bisschopswetering.....	19
4.5 Perceel ten oosten van 'sHeerenbroek	21
4.6 Kaartinformatie.....	21
5 Conclusies en aanbevelingen.....	23
5.1 Conclusies	23
5.2 Aanbevelingen	23
Bijlage: Kaarten	25
Bijlage: Karakterisatie van het klei.....	26

1 Introductie

1.1 Kader

In het kader van de projectoverstijgende verkenningen voor piping (POV piping), heeft Arcadis samen met Wageningen Universiteit en Researchcentre (WUR) en Medusa Explorations BV een projectplan geschreven voor de "PROEFTUIN MASTENBROEK".

De aanwezigheid van klei met voldoende dikte in de bodem is van groot belang om piping tegen te gaan. Als er buitendijks klei in de bodem zit met voldoende dikte, dan vergroot dit de kwelweglengte en daardoor ook de veiligheid tegen het optreden van piping. Ook de binnendijkse kleilaag is van belang, omdat deze de weerstand tegen opbarsten bepaalt en de opwaartse kwelstroom afremt.

Het hoofdonderzoeksdoel in dit project is om na te gaan of drie verschillende onderzoekssporen, zijnde geotechnisch onderzoek, geofysisch onderzoek en historisch onderzoek, elkaar kunnen versterken teneinde meer te weten te komen over de kans op piping.

In dit onderdeel wordt het geofysisch onderzoek besproken. Door inzet van geofysische meettechnieken kan een compleet beeld worden gekregen van de variatie in dikte van de kleilaag en hoeven er maar beperkt boringen in de dijkvoet te worden gemaakt. De metingen zijn daarnaast in tegenstelling tot boringen gebiedsdekkend, waardoor ook kleine variaties bijvoorbeeld als gevolg van meandering van kleine stroompjes, of lokale kolken terug te vinden zijn. Ook zijn de geofysische metingen vaak praktisch: grote gebieden kunnen snel in beeld worden gebracht.

In het kader van een historisch onderzoek naar de paleogeografische ontwikkelingsgeschiedenis van de polder Mastenbroek is binnen dit project ook onderzoek gedaan naar de herkomst van het klei uit een aantal monsters uit de Polder. Dit onderzoek is opgenomen als bijlage bij dit rapport.

1.2 Vraag

Het belangrijkste doel van het geofysisch onderzoek is het beantwoorden van de vraag of de overgangen tussen verschillende bodemlagen nauwkeurig kunnen worden vastgesteld.

Daarbij gaat het in het bijzonder om de overgang van de cohesieve klei- en/of veenlaag naar de erosiegevoelige zandlaag.

2 Basisgegevens

2.1 Gebied

De proeftuin 'Mastenbroek' ligt aan een meanderbocht van de IJssel nabij het plaatsje 'sHeerenbroek (vroeger Veecaten geheten). Het gebied is ongeveer 2 kilometer lang en bestaat uit twee gedeelten, een buitendijkse gebied (30 ha) en een binnendijkse gebied. Zowel binnen- als buitendijks is het merendeel van het gebied in gebruik als weiland.

In het onderhavig rapport worden de geofysische metingen beschreven welke zijn uitgevoerd in het buitendijks gebied (blauw). Het groene gedeelte in onderstaande figuur is het dijklichaam. Aan de noordoost kant is nog een aanvullende meting gedaan naar een mogelijke ligging van de oude voortzetting van de Bisschopswetering. Deze locatie is aangegeven met een paarse arcering. Van het binnendijksgebied van de proeftuin is alleen het perceel ten oosten van 'sHeerenbroek ingemeten met de grondradar en is de ruwe data hiervan bestudeerd.



Figuur 1: meetgebied Mastenbroek dijken. Het buitendijkse gebied is weergegeven met de blauwe lijn, het binnendijkse gebied met de rode lijn. Het dijklichaam is weergegeven met de groene lijn (bron ondergrond: Google Earth).

2.2 Strategie

Om een gebiedsdekkend beeld te krijgen van de opbouw van de bodem aan de voet van de dijk, kunnen meettechnieken uit de geofysica worden gebruikt om de ruimtelijke heterogeniteit van de kleilaag in beeld te brengen. Het doel en de voordelen van de inzet van deze meettechnieken zijn:

- Het verkleinen van onzekerheden in de gegevens die gebruikt worden voor risico berekeningen.
- Het beter plaatsen van eventuele boringen. Met behulp van de meettechnieken kan een gebiedsdekkend beeld van de heterogeniteit van de kleilaag worden verkregen. Hierdoor kunnen boringen veel gericht worden geplaatst en kan mogelijk met minder boringen worden volstaan.
- Voorkomen dat gaten in de dijk worden gemaakt. De meettechnieken zijn non-destructief, wat betekent dat bij de meting fysiek geen gat in de waterkering gemaakt hoeft te worden (zoals bij een boring).

-
- Vergroten snelheid van onderzoek. De metingen worden al rijdend (met bijvoorbeeld een quad) uitgevoerd. Hierdoor kunnen relatief snel grote gebieden in kaart worden gebracht.

3 Veldwerk

3.1 Uitvoering van het veldwerk

Het veldwerk is in fases uitgevoerd. Deze zijn eerst uitgevoerd in het buitendijkse gebied omdat het gebied bij hogere waterstanden onder water kan komen te staan en dit bij aanvang van het veldwerk nog niet het geval was. Enkele percelen binnen het buitendijksgebied konden door de aanwezigheid van veen niet gemeten worden. Hier en daar zijn plassen en andere vochtige gedeelten aangetroffen waar het water is blijven staan en dus niet gemeten kon worden. Dit is op de kaart te vinden als locaties waaromheen gereden is.

De eerste fase bestaat uit het meten met een grondradar en een gammaspectrometer, beide zijn aan een quad bevestigd. De positionering is gedaan met behulp van nauwkeurige RTK-GPS met 06-correctie. Deze meting in het buitendijkse gebied heeft plaatsgevonden op 15,16 en 17 april 2014 en is zonder problemen verlopen. Het terrein was goed toegankelijk, zonder veel obstakels en daarnaast was het weer tijdens de metingen goed.

De tweede fase bestaat uit het plaatsen van boringen gebaseerd op een snelle eerste interpretatie van de data. Dit is gedaan om de aard van de verschillende laagovergangen te identificeren en is noodzakelijk voor verdere interpretatie. De boringen zijn geplaatst op 24 april 2014.

De derde fase bestaat ook uit het plaatsen van boringen, dit keer om uitsluitsel te geven op plaatsen waar onduidelijkheden zijn bij de interpretatie van de data. Deze boringen zijn geplaatst op 22 mei 2014. Van de geplande boringen zijn 3 boringen niet uitgevoerd vanwege de aanwezigheid van jonge koeien.

In de bijlagen zijn alle meetlijnen opgenomen.



Figuur 2: foto genomen ten tijde van het veldwerk (eerste fase).

Later zijn nog meetlijnen opgenomen ten noorden van de ijk, om te bekijken of er nog aanwijzingen zichtbaar zijn van het doorlopen van de Bisschopswetering.

Er zijn ook metingen uitgevoerd in een binnendijks perceel ten oosten van 'sHeerenbroek. Deze metingen zijn uitgevoerd met een grondradar, en de gammaspectrometer. In onderstaande figuur zijn de meetlijnen aangegeven.



Figuur 3: meetlijnen op een perceel in de proeftuin ten oosten van 'sHeerenbroek

3.2 Gebruikte meetsystemen

3.2.1. Gammaspectrometer

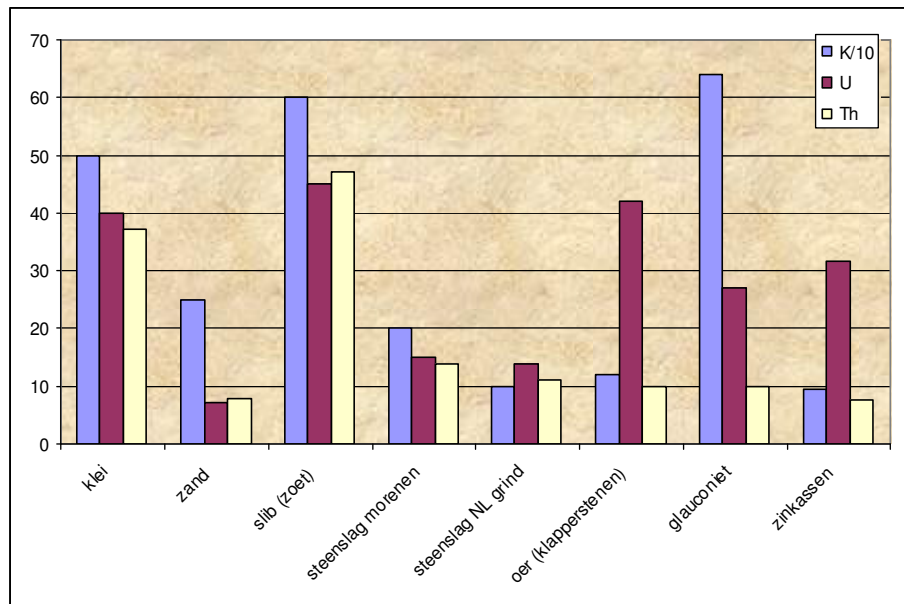
De Medusa gammaspectrometer is een geofysisch meetsysteem ontwikkeld voor de bepaling van textuur, korrelgrootte en chemische samenstelling van de toplaag (bovenste 50 cm) van de bodem. De sensor meet de (van nature voorkomende) radioactieve straling uit de grond. Deze straling is afkomstig van langlevende isotopen van kalium (^{40}K), uranium (^{238}U) en thorium (^{232}Th). Daarnaast zijn er zeer lage concentraties cesium (^{137}Cs) in de grond aanwezig, uit de fall-out ten gevolge van het ongeluk met de nucleaire reactor in Chernobyl (1986) en de bovengrondse kernproeven in de vroege jaren '60 van de vorige eeuw. Al deze radioactieve stoffen komen in zeer lage concentraties voor in de bodem, en vormen qua straling geen gevaar voor de volksgezondheid.

De gebruikte methode wordt ook wel spectraal gamma genoemd en wordt veel gebruikt in boorgatmetingen en geologische exploratie vanuit de lucht.

Uit eerder onderzoek is gebleken dat verschillende mineralen en bodemtypen kunnen worden onderscheiden doordat ze verschillen in concentraties ^{40}K , ^{238}U en ^{232}Th . Dit verschijnsel noemt men de "radiometrische vingerafdruk"¹ van een mineraal. De mate waarin de mineralen verschillen is afhankelijk van het soort mineraal (kleimineralen zijn anders dan zinkerts), van de afkomst (graniet uit de Alpen is anders dan Schots graniet) en van de ouderdom (erosie van mineralen leidt onder meer tot het uitwassen van radioactieve isotopen).

¹ De "fingerprint" van een mineraal is de concentratievector $[C_K, C_U, C_{Th}]$, waarbij de concentraties C gegeven zijn in Bq/kg DS (Bequerels per kilogram drogestof), waarbij de Bequerel de eenheid van straling is.

De fingerprint van een mineraal kan in het lab worden bepaald door onder gecontroleerde omstandigheden in een monster de concentraties ^{40}K , ^{238}U en ^{232}Th te bepalen. Tegelijk kunnen van hetzelfde monster ook andere eigenschappen worden bepaald (bijvoorbeeld de zware-metaalconcentratie, de textuur, de mineraalsamenstelling, etc.). In veel gevallen blijkt er een relatie te bestaan tussen één of meer van de radioactieve stofconcentraties en één (of meer) van de textuur- of chemische eigenschappen van het monster. Als zo'n relatie ook bestaat voor een *verzameling* monsters uit een gebied, kan een ijklijn worden bepaald. Zo'n ijklijn beschrijft dan de vertaling van de radiometrische data naar de gewenste bodemeigenschap (textuur of chemie)



Figuur 4: voorbeeld van de fingerprint van veel voorkomende gesteenten en mineralen in Nederland.

Het veldsysteem voor het meten van radioactiviteit bestaat uit een (4 liter groot) scintillatiekristal dat in een continue meting de gammastraling die uit de grond komt, vastlegt. Naast de hoeveelheid straling (de intensiteit) meet het systeem ook de energieverdeling (de "kleurenspectra") van de straling. Deze spectra worden, afhankelijk van de instellingen van de apparatuur, 1 tot 10 keer per seconde vastgelegd. Parallel aan de radioactiviteit wordt ook de positie van de sensor gemeten met behulp van een RTK-GPS systeem. Na de meting wordt voor elke meetpunt de concentratie van ^{40}K , ^{238}U , ^{137}Cs en ^{232}Th in de grond bepaald.

Bij geofysisch onderzoek worden verschillende meetsystemen gebruikt voor het meten van radioactieve straling. De Medusa gammaspectrometer gebruikt echter een aantal unieke analysemethoden die deze techniek uitermate geschikt maakt voor een kwantitatieve analyse van bijvoorbeeld de textuur van de bodem.

- In standaard meetsystemen voor metingen van radioactiviteit wordt slechts een deel van het spectrum gebruikt voor analyse. De “Full Spectrum Analysis” methode gebruikt het gehele spectrum voor de analyse waardoor de nauwkeurigheid van de metingen sterk toeneemt. Hierdoor neemt de ruis in de gegevens sterk af. Uit een studie[4] blijkt dat dit een factor 4 kan bedragen.
- De Medusa gammaspectrometer is geijkt. De ijking is gebaseerd op computermodellen en op kalibratiemetingen. Hierdoor zijn de waarden die door het systeem worden gemeten absoluut gemaakt, m.a.w. de waarden die met de Medusa gammaspectrometer in het veld worden gemeten zijn gelijk aan metingen die in een laboratorium worden uitgevoerd. Hierdoor kan een geochemisch model (op basis van goed controleerbare laboratorium metingen) worden gebruikt om metingen van radioactiviteit te vertalen naar bijvoorbeeld bodemsamenstelling.

Figuur 5 laat zien hoe de metingen van de gammaspectrometer en de grondradar tegelijk kunnen worden uitgevoerd door beide meetsystemen op/aan een quad te monteren: de gammaspectrometer achterop de quad op een hoogte van ca. 50 cm boven het maaiveld en de grondradar achter de quad.



Figuur 5: quad met daaraan gemonteerd de gammaspectrometer (achter op de bagagedrager van de quad) en de grondradar (antenne achter de quad).

3.2.2. Grondradar

Een grondradarsysteem bestaat uit een combinatie van een elektromagnetische zender en ontvanger. Bij het meten wordt een hoogfrequente radiopuls door de zendspoel uitgezonden en gereflecteerd op bepaalde lagen of objecten in de bodem, die andere elektromagnetische eigenschappen hebben dan de bodem eromheen. De meting legt de looptijd van de radiopuls vast tussen het moment van uitzenden en het moment van ontvangst van een reflectie. De looptijd wordt bepaald door de diepte van het object waarop de reflectie plaatsvindt, waarbij de voortplantingssnelheid van de radargolf in de grond afhangt van de diëlectrische constante van de bodem. De methode is enigszins vergelijkbaar met seismische metingen, waarbij een uitgezonden geluidsgolf weerkaatst op bodemlagen of objecten met verschillende dichtheden.

In de praktijk wordt met het grondradarsysteem bewegend, een semicontinue meting uitgevoerd: tientallen keren per seconde wordt een puls uitgezonden en wordt de looptijd van de reflecties (en daarmee de diepte van de reflector) geregistreerd. Tegelijkertijd wordt de positie van het systeem vastgelegd met een dGPS systeem. De metingen worden al rijdend/lopend uitgevoerd.

De kwaliteit van metingen met een grondradar wordt vooral bepaald door de geleidbaarheid van de bodem: in een ondergrond met een relatief hoge geleidbaarheid zal het signaal snel afzwakken met de diepte, waardoor er minder sterke reflecties worden waargenomen bij de ontvanger aan de oppervlakte. Ook de keuze van het radarsysteem speelt een belangrijke rol in de kwaliteit van metingen: de amplitude van een signaal met een relatief hoge frequentie (2 GHz) neemt eerder af met de diepte dan de amplitude van een relatief lage frequentie (300 MHz). Dit betekent dat een hoogfrequent signaal een beter onderscheidend vermogen heeft in de bovenste lagen, maar dat de penetratiediepte een stuk minder is dan bij een systeem met een laagfrequent signaal. Bij het zoeken naar bepaalde objecten moet dus rekening gehouden worden met op welke diepte deze objecten gevonden zullen worden en wat de omvang ervan is.

Wanneer grote gebieden in kaart worden gebracht met een radarsysteem is een compleet handmatige analyse van de radarbeelden erg tijdrovend. Om de metingen toch praktisch inzetbaar te maken, zijn de metingen automatisch geanalyseerd met een reflectieanalyse oftewel een indeling naar timeslices. Bij een timeslice analyse wordt de complete radar dataset opgedeeld in verschillende diepte intervallen. Bij elke positie en diepte-interval wordt de gemiddelde gereflecteerde energie van het radarsignaal bepaald. Naarmate deze hoger is, is het reflecterende object harder. Bodems waarin veel puin of andere bodemvreemde objecten te vinden zijn, laten een hoge gereflecteerde waarde zien; bodems die vrij zijn van objecten laten een veel lagere reflectie zien.

Het resultaat van deze timeslice analyse geeft een kwalitatief maar gebiedsdekkend beeld van de aanwezigheid van objecten/harde lagen in de bodem. Om deze kaart goed te interpreteren, worden de radarbeelden op geselecteerde locaties vaak in detail bekeken en worden vaak aanvullende boringen geplaatst.

3.3 Boringen

Ter verificatie van de grondradarbeelden en de data van de gammaspectrometer zijn verspreid over het meetgebied boringen geplaatst. Deze boringen zijn niet volgens standaardprotocollen beschreven, maar alleen beschreven op aard en diepte van overgangen in textuur. Deze boringen zijn alleen gebruikt voor de interpretatie van de grondradarbeelden. Hierbij is speciaal gelet op het voorkomen van zand.

Tabel 1 geeft de locaties en beschrijvingen van de boringen. In de tabel missen boringen 27, 28 en 30. Deze boringen zijn overgeslagen omdat het terrein op dat moment niet toegankelijk was door de aanwezigheid van jonge koeien.



Figuur 6: foto van boring nr. 36 met rechts het maaiveld, daaronder een donkere laag klei, de laag in het midden is zandige klei, daaronder bevindt zich een deel grof zand, uiterst links grijze klei. Diepte van de boring is 195 cm -mv.

In het westelijke deel van het meetgebied bevatten de boringen aanmerkelijk minder zand dan de boringen in het oostelijke deel. De bovenste ca. 30 cm bestaat in nagenoeg elke boring uit kleilig materiaal.

Bij de boringen in de oostelijke helft van het gebied kwam af en toe zeer grof tot uiterst grof zand naar boven tot een korrelgrootte van ca. 500 μm . Dit zand werd aangetroffen op een diepte rond de 90 cm -mv. De laagdikte varieert van 10 tot 60 cm en bevindt zich altijd onder een laag matig grof zand tot 300 μm . De laag met matig grof zand begint over het algemeen rond de 40 cm -mv. Bovenop deze laag ligt meestal een dunne kleilaag van ongeveer 40 cm.

Over het algemeen zijn de lagen consistent van samenstelling. Er zijn geen lagen aanwezig waarbij klei in dunne laagjes voorkomt, de laagpakketten hebben over het algemeen een redelijke dikte van minimaal 10-20 cm. Soms is er sprake van een geleidelijke overgang van klei naar meer zandig materiaal.

Tabel 1: locatie en beschrijvingen van de boringen

Nr	RD X	RD Y	Beschrijving met diepte in cm-mv
1	195736	504317	0-115 klei
2	195702	504311	0-100 klei
3	195686	504329	0-90 klei
4	197160	505238	0-70 klei 70-115 zand 115-200 veen
5	197416	505233	0-60 klei
6	197813	505130	0-90 klei 90-115 kleig zand
7	197443	505220	0-100 klei
8	195682	504232	0-120 klei
9	195667	504247	0-120 klei
10	195653	504261	0-40 zand 40-120 klei
11	195597	504432	0-100 klei
12	195738	504400	0-110 klei
13	195817	504461	0-120 klei
14	195978	504577	0-60 klei 60-70 zand 70-125 klei
15	196069	504647	0-35 klei 35-45 zand 45-120 steeds kleiger
16	196045	504683	0-120 klei
17	196023	504717	0-95 klei 95-120 veen zwak zandig
18	196168	504776	0-30 zand 30-120 Klei zwak zandig
19	196180	504813	0-125 veen zwak zandig
20	196683	505193	0-110 kei zwak zandig
21	196698	505172	0-20 klei 20-40 zand 40-120 klei
22	196709	505158	0-80 klei 80-120 zand 120-125 klei
23	196717	505136	0-65 klei 65-120 zand 120-140 klei
24	196729	505121	0-50 klei 50-70 zand 70-120 klei
25	197242	505230	0-110 klei 110-220 veen
26	197539	505199	0-100 zand 100-160 klei zandig
29	195811	504388	0-90 klei 90-100 zand matig grof 100-120 klei 120-160 zand matig fijn
31	196762	505152	0-120 klei
32	196760	505176	0-160 klei
33	196757	505204	0-200 klei
34	197111	505201	0-30 klei- 30-50 klei zwak zandig 50 -170 klei
35	197160	505206	0-30 klei 30-60 zand matig grof 60-160 kleig zand
36	197207	505207	0-40 klei 40-95 zand matig grof 95-105 klei zandig 105-145 zand zeer grof 145-195 klei
37	197266	505220	0-55 klei 55-140 zand matig grof 140-200 klei
38	197314	505220	0-10 klei 10-80 zand matig grof 80-95 klei 95-200 zand matig fijn
39	197351	505218	0-50 klei 50-60 zand 60-100 klei zandig 100-160 zand zeer grof
40	197403	505218	0-140 klei 140-160 veen zwak zandig
41	197786	505116	0-30 klei 30-90 zand matig grof 90-100 zand zeer grof 100-210 zand matig fijn
42	197966	505034	0-70 klei 70-95 zand matig grof 95-125 klei zwak zandig 125-170 veen zwak zandig

4 Van meetgegevens naar geo-informatie

4.1 Meetgegevens

Het gebied is ingemeten met een combinatie van 2 meetinstrumenten die beide gekoppeld zijn aan een quad. De gammaspectrometer hangt achter de quad en heeft vrij zicht naar de bodem, de antenne van de grondradar bevindt zich in een slee die enkele meters achter de quad aan wordt gesleept. De positie wordt gelogd met een RTK-GPS systeem. Waar mogelijk is gereden in een 5m bij 5m grid. De meetlijnen en de boorlocaties zijn weergegeven op kaarten in de bijlage.

4.2 Data verwerking

In dit onderzoek hebben we data uit vier verschillende bronnen verzameld:

- Gammaspectrometer data
- Grondradar data
- Hoogte data (AHN, RTK-GPS)
- Boorgegevens

Om deze verschillende soorten data geschikt te maken voor analyse van de kleilaagdikte (zie paragraaf 4.3) is de ruwe data verwerkt.

4.2.1. Gammaspectrometer

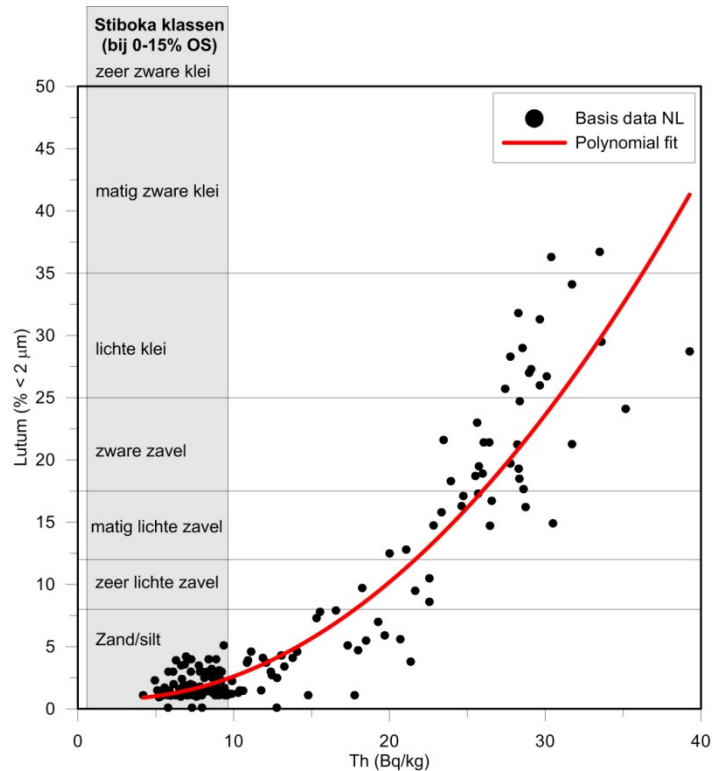
Om een indicatie te geven van de textuur van de bovenste laag is de data van de gammaspectrometer omgerekend naar een lutum gehalte (korrelgrootte fractie < 2 µm). De gammaspectrometer meet met een hoge nauwkeurigheid de concentraties van de van nature voorkomende radionucliden kalium, uranium en thorium (^{40}K , ^{238}U en ^{232}Th).

De data van de gammaspectrometer is op kantoor geanalyseerd in Gamman software met een smart fit (running average) van 3 en met standaard spectrum. In deze software wordt het spectrum gestabiliseerd en worden de concentraties van de afzonderlijke nucliden berekend volgens de Full Spectrum Analysis (zie par. 3.2.1). In eerder onderzoek is gebleken dat zowel de intensiteit (count rate) als de samenstelling van de straling (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{137}Cs) informatie geeft over de minerale samenstelling (moedermateriaal) en de textuur van de bodem.

Er is een verband tussen de kleifractie en de bovengenoemde concentratie aan radionucliden². Op basis van eerder opgenomen data in combinatie met monsteranalyse gegevens kunnen we ijklijnen opstellen voor de vertaling van gemeten waarden met de gammaspectrometer en lutumgehalte.

Bij de interpretatie van de verschillende soorten data naar een kaart met de bodemsamenstelling zijn de data van de gammaspectrometer opnieuw gebruikt. Om in de interpretatie te helpen is de data omgerekend naar een kaart van het indicatieve kleigehalte. Hiervoor is een ijkling gebruikt die gebaseerd is op eerder verzamelde data uit heel Nederland (figuur 7). Dit betekent dat de precieze kleigehaltes in het veld misschien iets af kunnen wijken van de kaart, maar de trend en de variatie in het kleigehalte zullen zeker hetzelfde zijn.

² Van Der Klooster, E., Van Egmond, F. M., & Sonneveld, M. P. W. (2011). Mapping soil clay contents in Dutch marine districts using gamma-ray spectrometry. *European Journal of Soil Science*, 62(5), 743–753. doi:10.1111/j.1365-2389.2011.01381.x



Figuur 7: ijkcurve voor het bepalen van het kleigehalte op basis van de concentratie thorium gebaseerd op data uit heel Nederland.

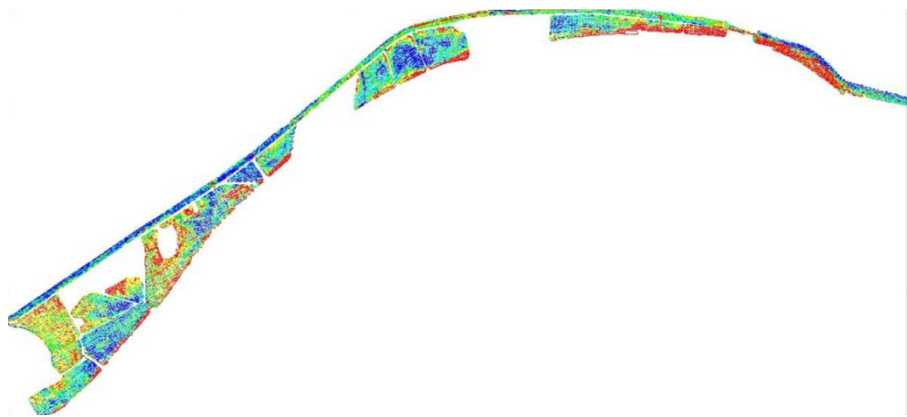
Hierdoor kon een goede, gedetailleerde en consistente interpretatie van de textuur van de bovengrond (bovenste 30 cm) worden bereikt.

4.2.2. Grondradar

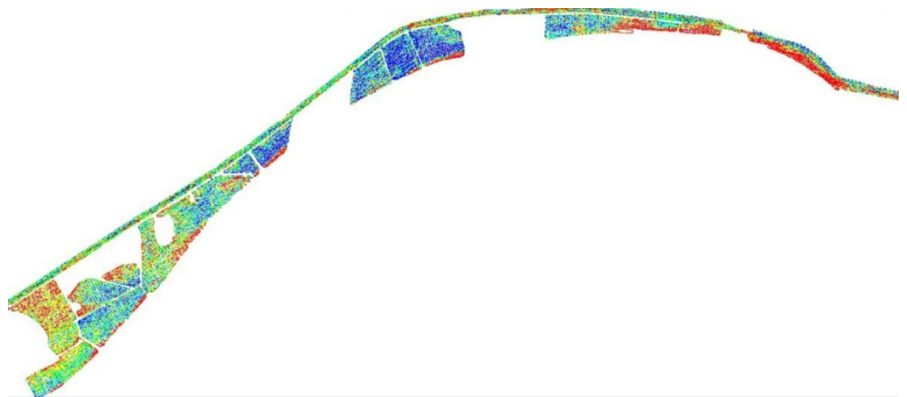
De grondradardata zijn na de meting op kantoor bekeken in SaY software. Dit is door Medusa Explorations ontwikkelde software voor grondradaranalyse.

Van de grondradardata van het gebied zijn timeslices gemaakt van 0-50 cm, 50-100 cm en 100-150 cm. Hierbij is een theoretische snelheid van het radarsignaal in de bodem van nat zand aangenomen om te kunnen rekenen naar diepte in cm. De timeslices laten duidelijke patronen zien in het gebied. Deze patronen van veel en weinig reflectie zetten zich consistent door in de diepte. Met deze methode wordt aangenomen dat een zandlaag meer reflecties vertoont dan een kleilaag, omdat deze het radarsignaal meer absorbeert.

Vervolgens is de radardata visueel geanalyseerd op de aanwezigheid van laagovergangen. Deze laagovergangen zijn vergeleken met de laagovergangen in de boringen. Zo kon de snelheid van het radarsignaal worden gekalibreerd aan de dieptes van laagovergangen in de boringen. De zo berekende snelheid kwam overeen met de aangetroffen textuur van de bodem en de standaardsnelheden die daarvoor gelden. Op deze manier kan een precieze dieptebepaling van de in de radarbeelden aangetroffen laagovergangen worden gedaan. Op plaatsen waar twijfels zijn over de textuur en de bijbehorende snelheid zijn vervolgens aanvullende boringen gepland om meer inzicht te verkrijgen over de bodem. Aangezien het zand in het meetgebied vaak in dunne laagjes voorkomt en er vaak voor het goed interpreteren van de radarbeelden een relatief dik pakket klei op deze laagjes ligt, is de zandlaag in de radarbeelden soms niet goed te zien. Het is dan ook niet uit te sluiten dat er geen zandlaagjes gemist worden in de analyse.



Figuur 8: timeslice van de laag 50-75 cm -mv. Rood zijn gebieden met veel reflecties, blauw zijn gebieden met minder reflecties.

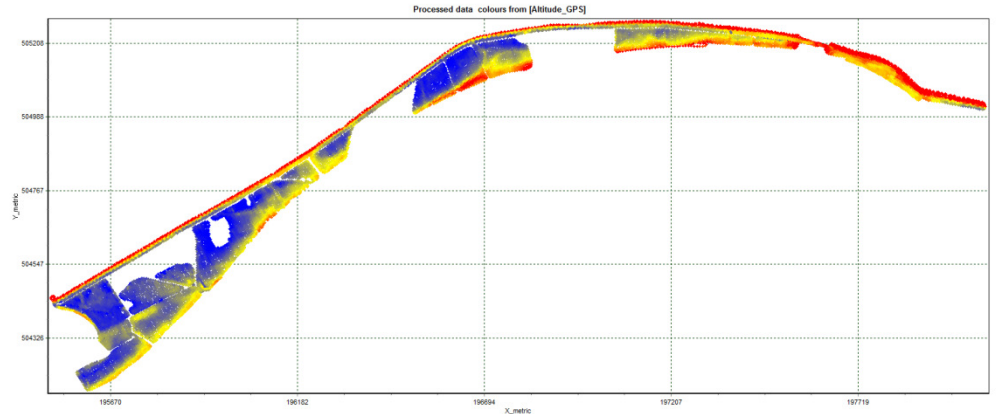


Figuur 9: timeslice van de laag 15-200 cm -mv. Rood zijn gebieden met veel reflecties, blauw zijn gebieden met minder reflecties.

4.2.3. Hoogte

Op basis van de RTK-GPS data is een hoogtekaart gemaakt van het gebied. Het idee is dat kleipakketten over het algemeen lager liggen dan zandpakketten, omdat klei in de loop der tijd meer inklinkt dan zand. En langs de hoger liggende oeverwallen het zand wordt afgezet. Hierdoor is het aannemelijk dat de lagere delen minder of geen zand in de ondergrond hebben. Dit fenomeen wordt enigszins beperkt doordat hier jaarlijks tijdens hoog water perioden een nieuw laag sediment wordt afgezet, waardoor de bodemdaling door inklinking weer teniet wordt gedaan.

Daarnaast is het waarschijnlijk dat lager gelegen delen op het moment van meten vochtiger zijn. Figuur 10 geeft een beeld van de hoogteliggingen in het meetgebied.



Figuur 10: relatieve hoogte van het gebied. Rood is hoog, blauw is laag. Op verschillende locaties (witte vlekken) kon niet gemeten worden door de aanwezigheid van vee op de percelen, of door plassen of kolken.

4.2.4. Boordata

De gegevens van de boringen zijn omgezet naar ArcGis shape files zodat deze informatie gecombineerd kan worden met de andere kaarten zoals hoogte, textuur time-slice-data en geïnterpreteerde radargegevens.

4.3 Interpretatie

4.3.1. Algemeen

Bij hoogwater bestaat het risico dat er ten gevolge van hydrostatische drukverschillen tussen de het buitendijksgebied en het binnendijksgebied een waterstroom (met zand) ontstaan onder het dijklichaam door richting binnendijkse zijde. In het begin gaat dit proces vrij langzaam, maar hoe langer deze situatie standhoudt, hoe sneller de uitspoeling gaat. De afstand die het water tussen locatie A en het binnendijkse deel aflegt wordt kwelweglengte genoemd. Als dit proces enige tijd doorgaat, ontstaat ter plaatse van de zandlaag een open ruimte, die de dijkconstructie ernstig verzwakt. Dit kan op den duur leiden tot een bezwijken van de dijkconstructie.

Om het risico op piping te voorkomen is een voldoende dikke kleilaag op de uiterwaard nodig waardoor bovengeschetste situatie niet kan optreden. Onderzoek naar de dikte van de bovenste kleilaag en een voldoende afdekkende functie van deze kleilaag is van belang. Hiervoor zijn kaarten nodig van de bovenste kleidikte en samenstelling van de bovenste (klei)laag, met het oog op de waterkerende functie. Ook de aanwezigheid, locatie, dikte en samenstelling (korrelgrootte, kleigehalte) van de zandlagen in de bovenste meters onder het maaiveld is van belang.

Boringen zijn puntwaarnemingen, waarbij de bodemopbouw tussen de boorpunten wordt geïnterpoleerd. Wil men daarbij voldoende waarborg hebben dat over een grotere afstand de afdekkende kleilaag voldoende dik is om piping te kunnen voorkomen, moet de punt dichtheid groot zijn. De bodemstructuren die piping kunnen veroorzaken, kunnen relatief smal zijn en aan het oppervlak niet zichtbaar zijn. De hoeveelheid puntmetingen kan daardoor erg groot worden.

Geofysische meetmethoden langs een lijn kunnen veranderingen in bodemopbouw- en samenstelling in kaart brengen, die middels gerichte boringen kunnen worden geïnterpreteerd en geïntegreerd. Hiermee kan de afdekkende kleilaag in

kaart worden gebracht, en zwakke plekken waar de kleilaag niet de vereiste dikte heeft, of andere anomalieën in de bodemopbouw zichtbaar worden gemaakt. Deze zwakke plekken kunnen dan vervolgens gericht worden versterkt, waardoor het risico op het falen van een dijklichaam aanzienlijk kan worden verkleind. Deze methode dient de veiligheid, brengt zwakke plekken in kaart en hiermee kunnen de beschikbare middelen efficiënt worden ingezet; er worden geen overbodige boringen geplaatst.

4.3.2. werkwijze

Uit de data van de gammaspectrometer is de samenstelling van de toplaag van de bodem bepaald (zie paragraaf 4.2.1.). De gemeten concentratie aan thorium is vertaald naar een lutumgehalte, op basis van de ijklijn zoals te zien in figuur 7. De textuurklassen (gebaseerd op lutumgehaltes), die ook in deze figuur zijn aangegeven, zijn gebruikt voor de kaarten. Dit geeft een betrouwbaar en compleet beeld van het kleigehalte van de bovenste 30-50 cm. Deze data is vervolgens vergeleken met de ondiepste time-slice of reflectiescan uit de grondradargegevens. Deze gegevens lijken over het algemeen goed te matchen. Gebieden waar de timeslice veel reflecties laat zien zijn vaak ook gebieden met een laag lutumgehalte. Wel is hier sprake van een mismatch op de locaties waar er verharding, onverharde paden, of rijsporen aanwezig zijn, waar het vochtgehalte in de bovenste laag hoger door de aanwezigheid van plassen of drassige locaties of waar de bovenste laag sterk verdicht is.

De match kan nu worden doorgezet naar de diepere time-slices. Wanneer deze reflecties in diepere lagen ook zichtbaar zijn, is dit geïnterpreteerd als een pakket die zich doorzet in de diepte.

In de handmatige analyse van de grondradardata (zie paragraaf: 4.2.2) zijn middels markers aangegeven waar de laagovergangen zitten. De interpretatie is gestart op de locaties waar boringen aanwezig zijn, en de laagovergangen konden worden gerelateerd aan textuurovergangen in de boringen. Hieruit bleek dat elk type grondsoort een karakteristiek radarsignaal geeft. Deze indeling kon vervolgens over een bepaalde afstand vanaf de boringen worden gevolgd, waardoor de bodemopbouw kon worden aangegeven. Echter door variaties in de mate van de vochtverdeling en samenstelling van de bodem kan dit soms wat lastig te interpreteren zijn. De interpretatie wordt vooral bemoeilijkt als de bovenlaag uit een kleipakket groter dan 1 meter bestaat, of als het een geleidelijke overgang betreft. Scherpe overgangen van klei naar grof zand of vice versa is veelal wel duidelijk zichtbaar en herkenbaar. De diepte van de onderkant van de kleilaag is zo goed als mogelijk handmatig gevolgd in de radarbeelden, aangegeven en omgerekend naar dikte. Daarnaast geven de timeslices een beeld dat op veel plaatsen overeenkomstig het beeld is dat verkregen wordt uit de boringen, waardoor een extra controle op de handmatige radarinterpretatie ontstaat. Op deze manier is het mogelijk de gegevens uit de boringen te gebruiken voor het creëren van een ruimtelijk beeld.

Vervolgens zijn er contouren getekend om gebieden met dezelfde eigenschappen. De onderkant van de kleilaag is gebaseerd op de diepte in de radarbeelden waar nog details te zien zijn die iets zeggen over de aanwezigheid van laagovergangen.

Wanneer er veen in de boringen is aangetroffen, is dit in de radarbeelden op dezelfde manier vergeleken als de boringen met klei. Dit is afzonderlijk aangegeven op de kaart, omdat veen ook een risico op het ontstaan van piping geeft. Is de veenlaag niet in de radarbeelden te zien dan is dit niet als contour aangegeven omdat er in dit geval niet een manier is om een ruimtelijk beeld van dit veenpakket te maken.

Als laatste stap zijn de kaarten van kleidikte en bodemsamenstelling vergeleken met de hoogte-informatie, waarbij er van uitgegaan wordt dat door

gedifferentieerde inklinking de hogere delen veelal bestaan uit zand en de lagere delen uit klei. In grote lijnen lijkt deze hypothese te kloppen. De zandige oeverwal ligt duidelijk hoger dan het kleiige komgebied in de uiterwaarden. In de uiterwaarden zelf is deze relatie minder sterk waarneembaar, waarschijnlijk doordat de inklinking snel weer teniet wordt gedaan door nieuw sedimentatie tijdens perioden van hoog water. Op de gebieden waar dit niet correspondeert, zijn de radargegevens extra gecontroleerd en waar nodig aangepast.

Vooraf het combineren van de verschillende databronnen als luchtfoto, hoogte, gammaspectrometer, time-slices, individuele handmatig geïnterpreteerde radarbeelden, boringen en expert judgement laten een betrouwbaar beeld zien van de kleidikte in het uiterwaarden gebied.

4.4 Binnendijkse metingen t.b.v. lokalisering Bisschopswetering

Naast de meetlijnen op de buitendijkse percelen zijn ook aanvullende meetlijnen gemeten aan de voet van de binnenteen van de dijk, tussen de dijk en het perceel. Deze data is gebruikt om te onderzoeken of er mogelijk sporen te vinden zijn van de Bisschopswetering. Uit historische gegevens uit het onderzoek van Corporaal en Stortelder (2014) blijkt dat er aanwijzingen zijn dat deze in zuidoostelijke richting van de nog aanwezige wetering ten noordwesten van 'sHeerenbroek heeft doorgelopen en dat de IJssel ten tijde van verlegging naar de noordoostkant van Zalk, de loop van de Bisschopswetering (of Zalkerwetering) heeft uitgebouwd tot rivierloop. Gekeken is of er nog sporen van de wetering zichtbaar zijn in de radargegevens.

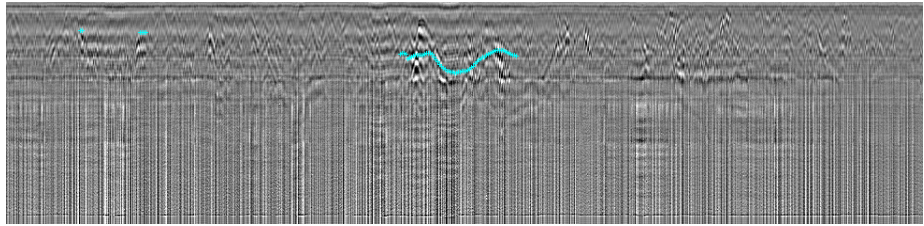
Hiervoor zijn langs de binnenteen van de Dijk ten zuidoosten van 'sHeerenbroek een aantal parallel lopende radarlijnen opgenomen en geanalyseerd. In onderstaande figuur zijn de meetlijnen aangegeven.



Figuur 11: meetlijnen aan de binnenteen. Linksboven ligt de weg(rood), waarlangs de Bisschopswetering heeft gelopen.

De radargegevens zijn geanalyseerd op afwijkingen, die mogelijk kunnen duiden op de ligging van de voormalige Bisschopswetering. De afwijkingen kunnen worden

veroorzaakt door aan andere bodemopbouw, aanwezigheid van bodemvreemd materiaal (puin) of verrommelde structuur (zie figuur 12).

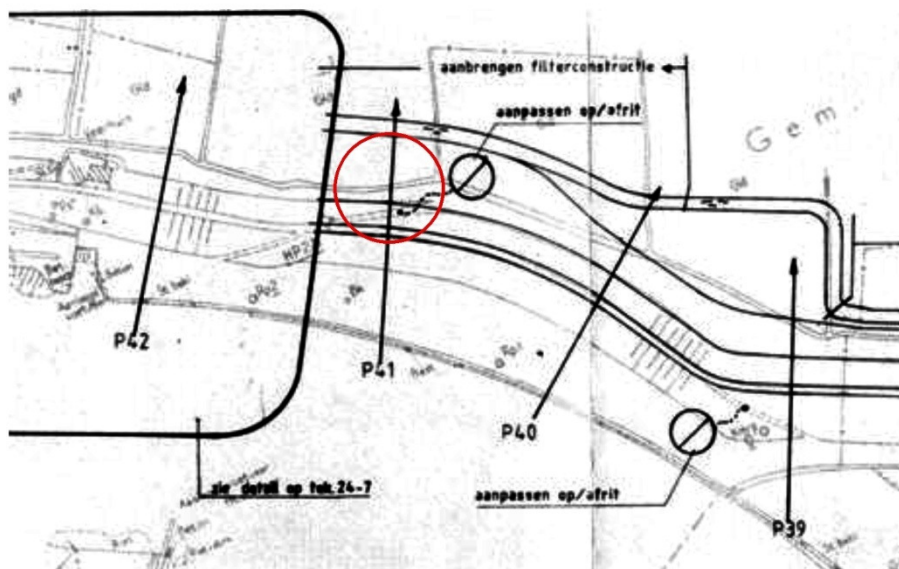


Figuur 12: afwijking in de bodemopbouw in een radarprofiel evenwijdig aan de binnenteen van de dijk. In blauw zijn de anomalieën aangegeven.

In het centrale deel (met een cirkel aangegeven in onderstaande kaart) is een anomalie aanwezig met parabolen (objecten en/of puin) en een andere bodemopbouw. Deze afwijkende opbouw komt in meerdere lijnen langs de binnenteen terug en lijkt in het verlengde van de bestaande wetering te liggen. De onderkant van deze anomalie ligt op ongeveer 2-2.20 onder maaiveld of -0.70 - -0.90 m. t.o.v. NAP. De anomalie lijkt wat verspreid voor te komen over een totale lengte van 50 m., maar het centrale deel is ca. 15-20 m. breed.

Op basis van de radarbeelden kan echter niet worden geconcludeerd dat deze afwijking zeker met de gedempte wetering te maken heeft. Aanvullende boringen zijn nodig om hier uitsluitsel over te geven.

Op basis van een door Arcadis gevonden oude tekening van de meest recente dijkversterking, blijkt dat er mogelijk een sloot of greppel ter plaatse van de anomalie heeft gelegen (zie onderstaande figuur). Mogelijk dat de anomalie te maken heeft met deze greppel.



Figuur 13: schets van een oude kaart met de meest recente dijkverstevinging en oude topografie, met daarop in rood aangegeven op de plek van de anomalie een oude greppel of sloot.



Figuur 14: meetlijnen met aangegeven anomalieën in de bodemopbouw. Binnen de blauwe cirkel is een doorlopende anomalie aangetroffen.

4.5 Perceel ten oosten van 'sHeerenbroek

De meting op het perceel ten oosten van 'sHeerenbroek in de proeftuin (figuur 3), heeft niet de informatie opgeleverd die we hadden verwacht. De bedoeling op deze locatie was of de grondradarmeting kon worden gekorreleerd met de boringen op een locatie met groter kleidikte. Er is door Arcadis een dicht net aan boringen geplaatst tot 2 meter dik, voor een ander deelonderzoek binnen de POV. Deze boringen konden we gebruiken voor het onderzoek naar de korreleerbaarheid van de radarmeting met de boringen bij grotere kleidiktes.

Doordat de deklaag, bestaande uit klei, dikker is dan 1.5 tot 2 meter, was het niet mogelijk om de laagopbouw goed te interpreteren uit de grondradar data. De ruwe data is bekeken en geanalyseerd, maar omdat het resultaat negatief was is het niet verder uitgewerkt tot kaarten.

Uit deze exercitie kan worden geconcludeerd dat het moeilijk tot niet mogelijk is om gedetailleerde informatie uit de grondradar data te interpreteren, bij die locaties waar de kleidikte groter is dan 1-1,5 meter

4.6 Kaartinformatie

In de kaart van bijlage 1 zijn de meetlijnen opgenomen. Enkele locaties in het buitendijkse uiterwaarden gebied konden niet worden ingemeten door de aanwezigheid van water/plassen of kolken op het terrein, of in percelen waar vee aanwezig was. Hier ontbreken de metingen, of zijn de metingen omheen gereden. In de gemeten gebieden is de dekking van de meetlijnen ca. 5 bij 5 meter.

In bijlage 2 staat de boorinformatie aangegeven. Dit zijn de boringen die door ons zijn uitgevoerd, ter verificatie van de geofysische metingen. Uit deze boringen blijkt al in grote lijnen de verdeling van zand en klei. In het noordelijk deel van het gebied is meer zand aanwezig. In het zuidelijke deel bestaan de boringen voor een groter deel of zelfs volledig uit klei. Langs de hoger liggende oeverwal parallel en vlak naast het stroombed van de rivier laten de boringen een meer zandige opvulling zien.

De metingen met de gammaspectrometer zijn gebruikt om een kaart te maken van het kleigehalte van het perceel (bijlage 3). De samenstelling van het gebied varieert

van zand naar lichte zandige klei tot lichte klei. Op deze kaart is duidelijk de zandige oeverwal zichtbaar. Ook is zoals ook in de boringen is waargenomen het noordoostelijke deel zandiger tot aan de dijk.

In het zuidwestelijke deel van de uiterwaarden laat de textuurkaart op basis van de gamma spectrometrie een zandiger beeld zien dan de boringen aangeven. In enkele boringen wordt volledig klei aangegeven, terwijl de gammaspectrometrie een textuur van zandige klei aangeeft. De oorzaak hiervoor kan gevonden worden in het vochtgehalte van de bodem. Door het hoge vochtgehalte (dit wordt ook in de boringen aangegeven) wordt het signaal "verdund", waardoor er lagere hoeveelheden worden gemeten. Bij de vertaling naar textuur betekent deze lagere waarde in gammastraling een lagere waarde in lutum gehalte.

Desondanks geeft de meting met de gammaspectrometrie een goede vlakdekkende indicatie van de verdeling en gehalte aan lutum in de toplaag van de bodem, en geeft een veel beter ruimtelijk beeld dan indien er alleen boorgegevens worden gebruikt.

De laatste kaart (bijlage 4) geeft een indeling in homogene dijkvakken met een samenvatting van de analyse, waarbij de verschillende kaarten over elkaar heen zijn gelegd, en van elke informatiebron de meest bruikbare data te gebruiken.

Middels klassen is de dikte van de kleilaag aangegeven. Hierin is goed te zien dat er langs de oeverwal een zandig pakket met relatief dunne kleidiktes voorkomt.

Achter de oeverwal komen op 2 locaties gebiedjes voor met veen.

Waarschijnlijk zijn dit door de rivier uitgeslepen laagten of kolken, die vervolgens zijn dichtgegroeid, waardoor een venige opvulling is ontstaan. Op de oude historische kaart van 1850 is het noordelijke veengebied zichtbaar als een plasje/kolk.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Het hoofdonderzoeksdoel in dit project is om na te gaan of drie verschillende onderzoekssporen, zijnde geotechnisch onderzoek, geofysisch onderzoek en historisch onderzoek, elkaar kunnen versterken teneinde meer te weten te komen over de kans op piping.

Om duidelijkheid te verschaffen op de risico's op piping, is gebiedsdekkende informatie nodig over de dikte van de afdekkende kleilaag, kwaliteit van de kleilaag en de ligging van de zandlagen in de ondergrond.

De gegevens van verschillende geofysische meetinstrumenten zijn, samen met validatieboringen, geanalyseerd. De grondradar geeft zeer goede en bruikbare informatie van de bovenste 1-1,5 meter, zeker als de bodem uit zand bestaat. Op locaties waar de kleidikte groter is dan ca. 1 meter, werkt de grondradar slechter, en zijn conclusies uit data van de grondradar minder goed bruikbaar. Door meerdere geofysische methoden te combineren (b.v. met EM-systemen), kan deze tekortkoming bij kleidiktes > 1 m wordt verminderd.

De gammaspectrometrie geeft informatie over de textuur van de toplaag (0-50 cm) van de bodem, hierbij moet wel rekening worden gehouden met locaties waar de bodem zeer vochtig is. Natte gebieden moeten hierbij nader worden beschouwd.

Deze analyse heeft geleid tot een kaart met homogene vakken waarop de minimale dikte van de kleilaag zichtbaar is.

De aanpak van het onderzoek is ontwikkeld. De complete kaart verkleint de onzekerheid in de gegevens die gebruikt worden voor risico berekeningen.

Het onderzoek kan snel worden uitgevoerd. De metingen worden al rijdend (met bijvoorbeeld een quad) uitgevoerd. Hierdoor kunnen relatief snel grote gebieden in kaart worden gebracht.

Belangrijk is ook om zoveel mogelijk beschikbare kaartinformatie te combineren. Dit betreft naast historische gegevens, ook luchtfoto's, nauwkeurige hoogtekarten, de textuursamenstelling van de toplaag op basis van gamma-spectrometrie, time-slices of reflectieanalyses van de radar data, eventueel kaarten met vochtgehalte of vegetatiekaarten, dieptekarten van de gevonden laagovergangen uit de radarbeelden, boorgegevens en expert judgement. Deze combinatie kan eventueel worden geautomatiseerd in een GIS-analyse.

De geofysische metingen en andere kaartinformatie maken het mogelijk dat er aanzienlijk minder boringen geplaatst hoeven te worden, de boringen veel gerichter geplaatst kunnen worden en dat er geen kleinere bodemstructuren "over het hoofd worden gezien". Boringen blijven wel noodzakelijk, maar kunnen veel efficiënter worden ingezet.

5.2 Aanbevelingen

Voor betere informatie over de bodemsamenstelling voor de diepere lagen of daar waar de kleidikte groter is dan 1-1.5 meter wordt aanbevolen om de geofysische meting aan te vullen met andere technieken. Er kan dan b.v. gekozen worden voor een EM systeem. EMI (Electromagnetische inductie) is in staat om verschillen in textuur te zien. Afhankelijk van de gekozen variant kan van verschillende diepte-intervallen de meetwaarde worden bepaald. Er zijn systemen die de geleiding kunnen meten tot een diepte van 3 of 6 meter. Het elektrisch geleidingsvermogen (ECa) wordt beïnvloed door geleidende elementen in de bodem zoals de

hoeveelheid klei, leem, vocht, zouten en als gevolg daarvan de porositeit van de bodem. Wanneer meer klei, vocht of zouten in een bodem aanwezig zijn zal de ECa hoger zijn. Nadeel aan dit systeem is dat het snel verstoord raakt door oppervlakte elementen, als sloten, prikkeldraad, kabels en leidingen etc.

Bijlage: Kaarten

Beschrijving kaarten	Kaartnummer
Meetlijnen en boorlocaties	1
Boorinfo buitendijks gebied	2
Textuurkaart	3
Homogene vakken van minimale kleilaagdikte	4

Bijlage: Karakterisatie van het klei

1. Inleiding

In het kader van het geschiedkundig onderzoek naar de polder Mastenbroek zijn een aantal kleimonsters radiometrisch geanalyseerd.

Het doel van deze meting is om het verschil in herkomst tussen deze kleien te bepalen.

2. Achtergrond: karakterisatie van kleien

De concentratie van chemische elementen in sediment wordt bepaald door de verhouding van verschillende mineralen in het sediment (sortering) en herkomst van deze mineralen.

De verschillende mineralen in het sediment zijn bijvoorbeeld klei (waaronder illiet, smectiet, kaoliniet), kalium veldspaat, kwarts, zware mineralen³. Vaak wordt de korrelgrootte als eenvoudige scheiding tussen deze verschillende mineralen gebruikt. In fijn sediment (met een korrelgrootte <32 µm) komt voornamelijk klei voor. In dat geval zal de chemische samenstelling van sediment binnen een goed gedefinieerde korrelgrootte fractie worden bepaald door de herkomst van het mineraal.

Gamma spectrometrie is een methode om een (beperkt) aantal chemische elementen in materialen te meten. Met behulp van deze meetmethode kunnen de concentraties van 3 natuurlijke en 1 antropogeen element worden gemeten: ⁴⁰K, ²³²Th en ²³⁸U komen sinds het ontstaan van de aarde in sediment voor; het antropogene element ¹³⁷Cs is met de kernproeven in de jaren 60 en na Chernobyl in het milieu terecht gekomen.

In een studie naar de herkomst van kleimineralen uit de Rijn en Maasdelta is gamma spectrometrie gebruikt om de herkomst van kleien te bepalen⁴. Hiervoor zijn de specifieke concentraties van de korrelgroottefractie <16 µm en die van 16-63 µm bepaald. In deze studie is geconcludeerd dat:

- er verschillen zijn tussen sediment van de Rijn en van de Maas
- er verschillen zijn tussen sediment met verschillende ouderdom.

³ Eisma, D. Composition, origin and distribution of Dutch coastal sands between Hoek van Holland and the island of Vlieland. 267 pp (1968).

⁴ Hebinck, K., Middelkoop, H., Diepen, N. Van, Graaf, E. R. Van Der & Meijer, R. J. De. Radiometric fingerprinting of fluvial sediments in the Rhine-Meuse delta, the Netherlands – a feasibility test. *Netherlands J. Geosci.* **3**, 229–240 (2007).

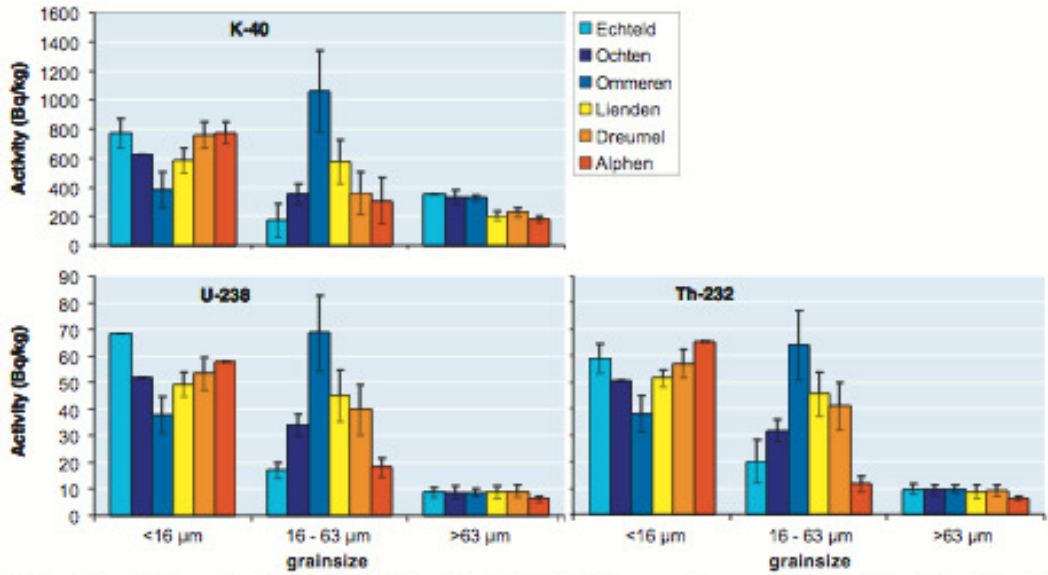


Fig. 6. Radiometric fingerprints of ^{40}K , ^{238}U and ^{232}Th , with 1 standard deviation uncertainty range (blue bars: Rhine; yellow-red bars: Meuse).

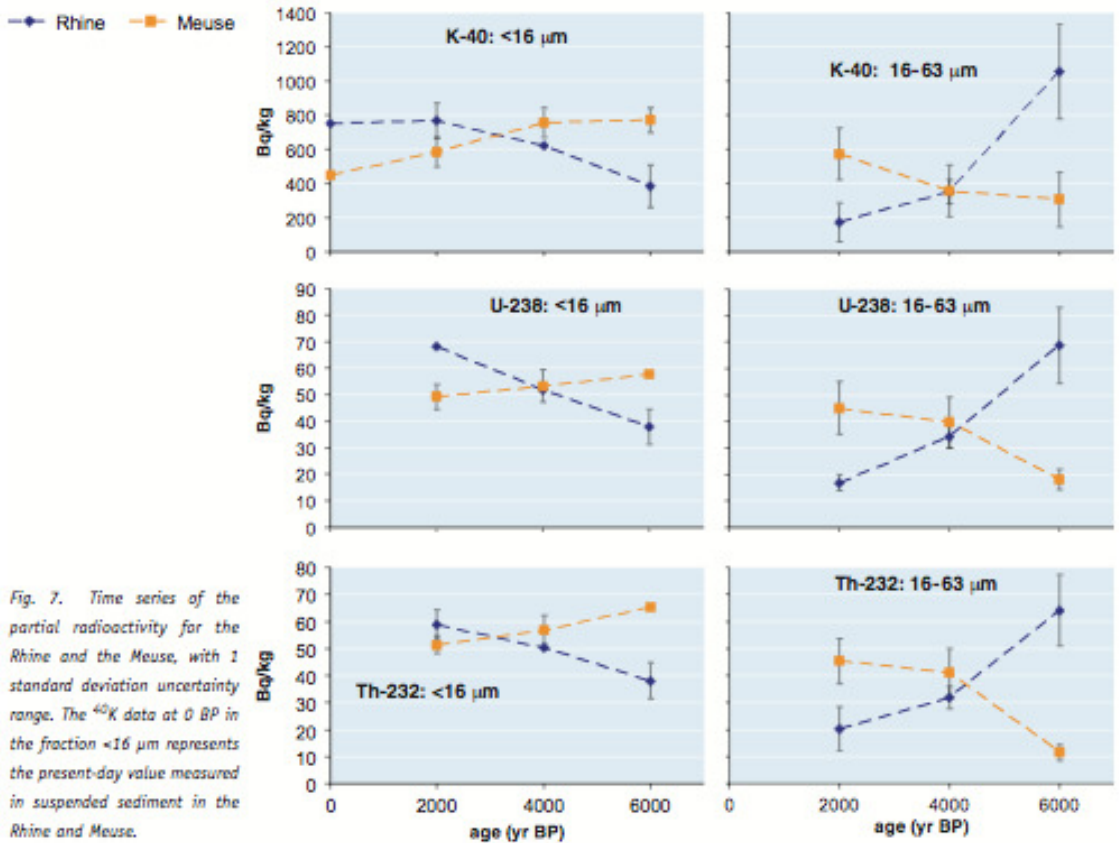


Fig. 7. Time series of the partial radioactivity for the Rhine and the Meuse, with 1 standard deviation uncertainty range. The ^{40}K data at 0 BP in the fraction $<16\ \mu\text{m}$ represents the present-day value measured in suspended sediment in the Rhine and Meuse.

Figuur 15: figuren uit een studie naar de herkomst van kleimineralen uit de Rijn en Maasdelta⁵

⁵ Hendriks, P. H., Limburg, J. & de Meijer, R. J. Full-spectrum analysis of natural gamma-rayspectra. *J. Environ. Radioact.* **53**, 365–80 (2001).

3. Metingen en resultaten

Medusa Explorations BV heeft de aangereikte kleimonsters geanalyseerd op de gehalten radionucliden (Tabel 2).

De radiometrische metingen zijn uitgevoerd op de 'NaI detector' van Medusa Explorations BV. Hiervoor zijn de natte monsters overgebracht naar een zgn. marinellibeker. De totale activiteiten van de nucliden zijn bepaald met behulp van full spectrum deconvolutie³ op het gemeten signaal. De activiteitsconcentraties zijn vervolgens bepaald door de gemeten activiteit te delen door de massa van het monster en het droge stof percentage. Van alle monsters is het drogestof gehalte op 100% gezet. De analyse is uitgevoerd conform NVN 5695 (norm voor Radioactiviteitsmetingen. Monstervoorbereiding van bodem, waterbodem en zuiveringsslib).

Tabel 2: gehalten van de radionucliden (en onzekerheid in de waarden) voor de verschillende kleien.

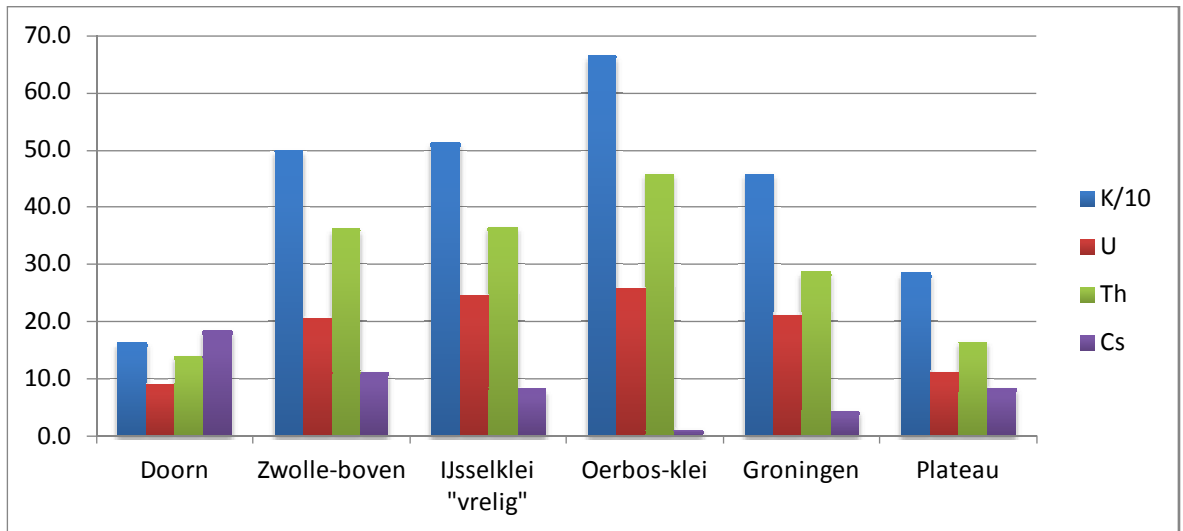
Medusa Code	nummer	Beschrijving	K	sK	U	sU	Th	sTh	Cs	sCs
2014P481M001	1	Groningen	459.0	3.2	21.2	0.3	28.8	0.3	4.5	0.2
2014P481M002	6	Plateau (Munster)	286.2	1.0	11.2	0.1	16.6	0.1	8.4	0.1
2014P481M003	2	IJsselklei	513.5	5.0	24.5	0.5	36.6	0.4	8.3	0.3
2014P481M004	3	Oerbos-onder	665.9	8.3	25.8	0.9	45.9	0.7	1.1	0.4
2014P481M005	4	Oerbos-boven	500.5	7.2	20.6	0.8	36.2	0.6	11.2	0.5
2014P481M006	5	Doorn	164.8	3.3	9.0	0.4	14.0	0.3	18.5	0.3



Figuur 16: schets met de locaties van de monsters.

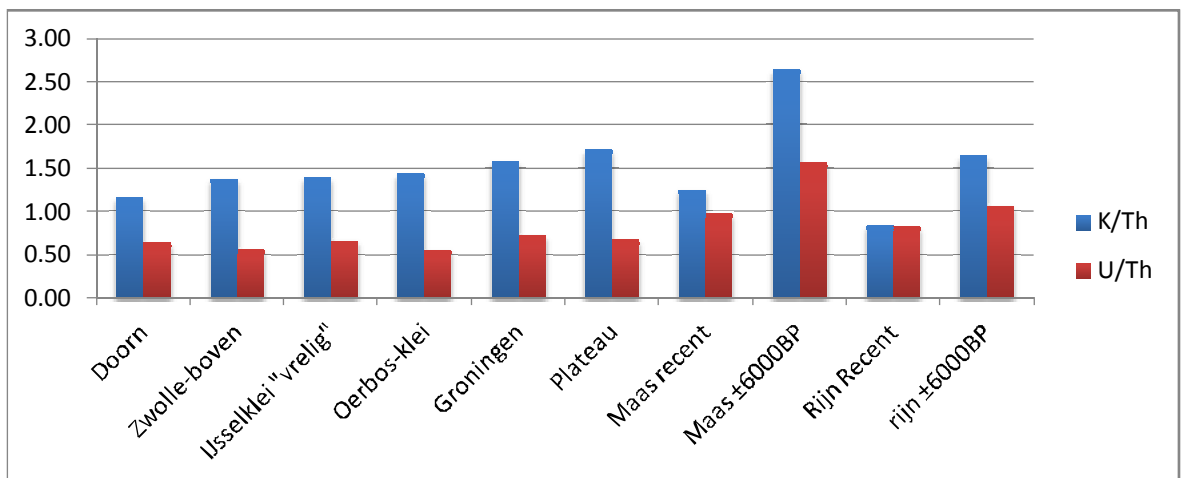
4. Discussie

De monsters verschillen sterk in de gehalten radionucliden. Of deze verschillen afkomstig zijn door verschil in herkomst of het gevolg zijn van een bijmenging van grover sediment (kwarts heeft over het algemeen erg lage concentraties radionucliden) is niet te zeggen. Opmerkelijk zijn de gehalten ^{137}Cs in de monsters. Alleen het oerbos klei bevat praktisch geen Cs en zal bestaan uit niet recent materiaal. De overige materialen zijn afgelopen 50 jaar in de sediment kringloop actief geweest.



Figuur 17: visuele weergaven van meetresultaten.

De monsters zijn erg klei-rijk, maar zullen niet uit 100% klei bestaan. Uit de verschillen in absolute waarde valt daarom niet op te maken of de sedimenten verschillen in herkomst. Om naar deze verschillen te kunnen kijken, zijn verhoudingen van K/Th en U/Th gebruikt. Hierdoor wordt het 'verdunningseffect' van bijmenging van bijvoorbeeld kwarts grotendeels teniet gedaan. Deze waarden staan in Figuur 18 weergegeven. Hierin valt op dat de verschillen niet groot zijn. In de verhoudingen zijn Zwolle-boven, ijsselklei-Vrelig en de Oerbos-klei gelijk. Plateau heeft hoge waarden voor K/Th, maar lage waarden voor U/Th.



Figuur 18: verhouding van radionucliden voor de monsters en voor Maas en Rijn sediment uit de eerdere studie².

5. Conclusie en aanbeveling

De verschillen in de verhouding van radionucliden zijn niet groot genoeg om zonder aanvullende informatie over bijvoorbeeld korrelgrootte te bepalen of de kleien verschillend zijn.

De metingen laten zien:

- Oerbos klei bevat praktisch geen Cs en zal bestaan uit niet recent materiaal. De overige materialen zijn afgelopen 50 jaar in de sediment kringloop actief geweest.
- Plateau lijkt een andere herkomst te hebben dan de groep Zwolle-boven, IJsselklei-Vreilig en de Oerbos-klei gelijk.
- Om de verschillen tussen de monsters beter in beeld te krijgen is aanvullende informatie nodig; dit kan zijn:
 - Metingen van de korrelgrootte verdeling van de monsters (waarmee een 'fingerprint' van de pure kleifractie kan worden afgeleid).
 - Meting van andere chemische componenten van de monsters met bijvoorbeeld XRF.



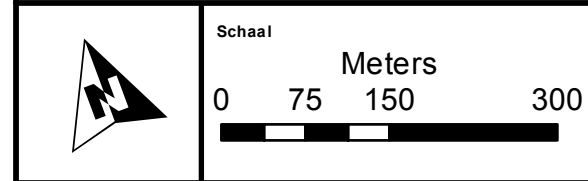
Meetlijnen en boorlocaties

Legenda

- Type boring**
- Boring met boornummer
 - Meetlijn

Disclaimer
 Deze informatie is gebaseerd op non-destructieve metingen. De aannames en eventuele onzekerheden staan in de bijbehorende rapportage beschreven.

Kaartsoort
 Mastenbroek buitendijks gebied



Kaartinformatie

Opdrachtgever		
Abcdefg		
Datum opname	Projectcode	Kaartnummer
15-17 april 2014	2014-P- 481	1 - A3 - Landscape
Auteur	Revisie	Projectie
MWH	V1	RD (m)

Medusa Explorations BV, www.medusa-online.com
 tel: 050 577 0280, Postbus 623, 9700 AP, Groningen

Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, I-rubred, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USCG, AeroGRID, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community



Locatie en type boringen

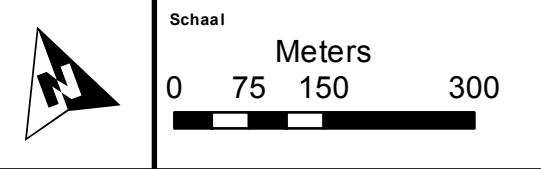
Legenda

- Type boring**
- Boring volledig klei
 - ▲ Zand aanwezig in boring
 - diepte Veer aanwezig in boring

- Diepte bovenkant zandlaag (cm-mv)**
- ▲ 0 - 10
 - ▲ 10 - 30
 - ▲ 30 - 50
 - ▲ 50 - 100

Disclaimer
 Deze informatie is gebaseerd op non-destructieve metingen. De aannames en eventuele onzekerheden staan in de bijbehorende rapportage beschreven.

Kaartsoort
 Mastenbroek buitendijks gebied



Kaartinformatie

Opdrachtgever		
Abcdefg		
Datum opname	Projectcode	Kaartnummer
15-17 april 2014	2014-P- 481	2 - A3 - Landscape
Auteur	Revisie	Projectie
MWH	V1	RD (m)

Medusa Explorations BV, www.medusa-online.com
 tel: 050 577 0280, Postbus 623, 9700 AP, Groningen



Textuurkaart

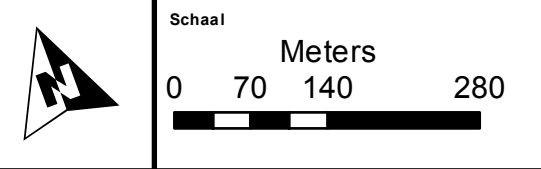
Legenda

Gammaspectrometer Textuur

- zand
- zandige klei
- kleig zand
- lichte klei
- zware klei
- zeer zware klei

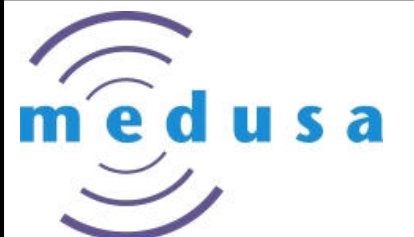
Disclaimer
 Deze informatie is gebaseerd op non-destructieve metingen. De aannames en eventuele onzekerheden staan in de bijbehorende rapportage beschreven.

Kaartsoort
Mastenbroek buitendijks gebied

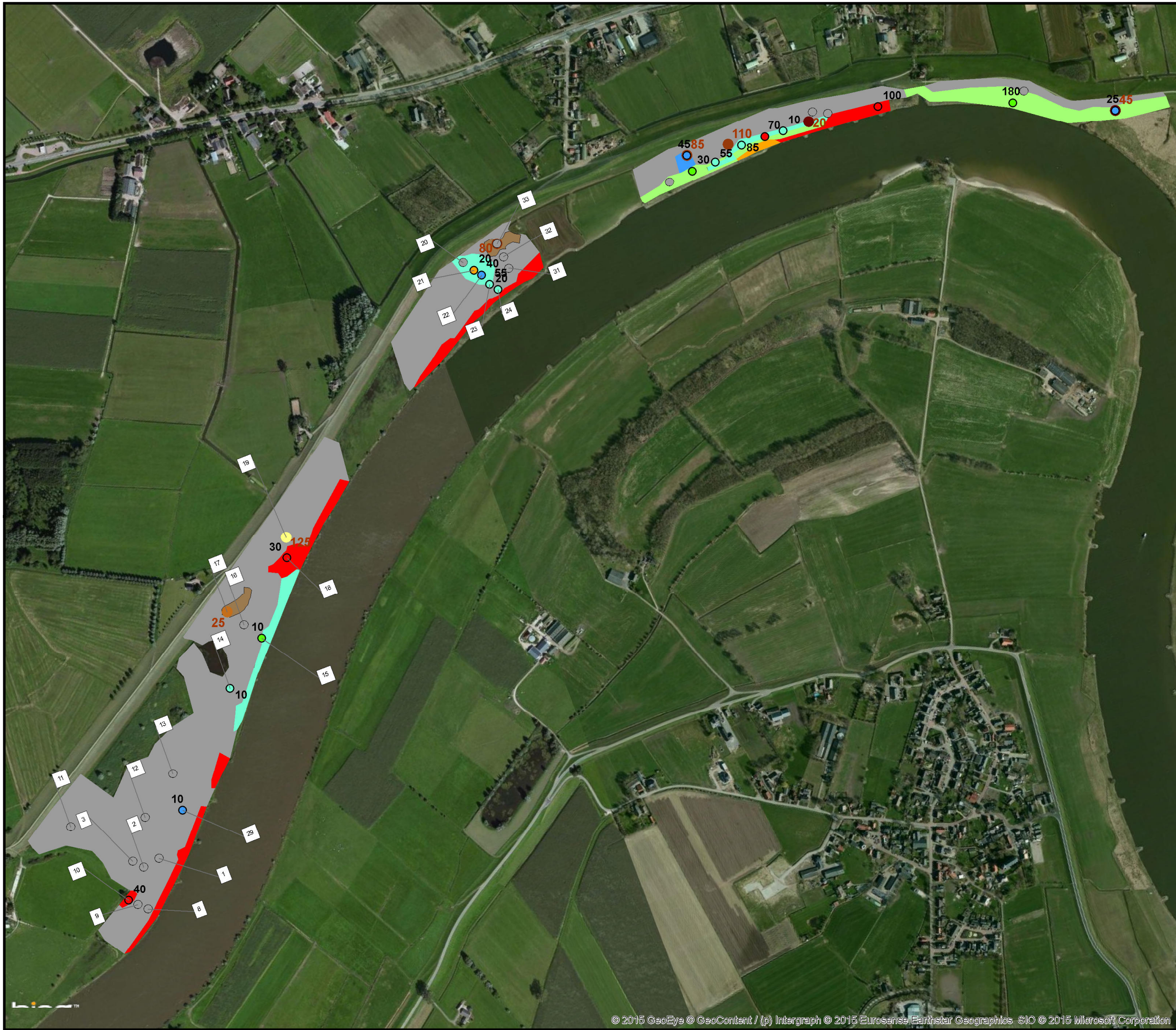


Kaartinformatie

Opdrachtgever		Waterschap Groot Salland	
Datum opname	Projectcode	Kaartnummer	
15-17 april 2014	2014-P- 481	3 - A3 - Landscape	
Auteur	Revisie	Projectie	
MWH	V1	RD (m)	



Medusa Explorations BV, www.medusa-online.com
 tel: 050 577 0280, Postbus 623, 9700 AP, Groningen



Minimale kleilaag dikte

Legenda

- Dikte Kleilaag in cm-mv (o.b.v. radar en boringen)**
- 0 - 10
 - 10 - 25
 - 25 - 40
 - 40 - 65
 - 65 - 100
 - >100
- Veen o.b.v. radar en boring <100 cm-mv
- Boring bovenkant zand (cm-mv)**
- 0 - 10
 - 10 - 25
 - 25 - 40
 - 40 - 65
 - 65 - 100
 - Boringen zonder zand
- Boring bovenkant veen (cm-mv)**
- 0 - 20
 - 20 - 40
 - 40 - 60
 - 60 - 80
 - 80 - 100
 - 100 - 120
 - 120 - 140
- 50 Rood label is dikte veen laag in cm
- 50 Zwart label is dikte zandlaag in cm
- 1 Boornummer correspondeert met nummer in tabel.

Disclaimer
 Deze informatie is gebaseerd op non-destructieve metingen. De aannames en eventuele onzekerheden staan in de bijbehorende rapportage beschreven.

Kaartsoort
Mastenbroek buitendijks gebied

Schaal
 Meters
 0 70 140 280

Kaartinformatie

Opdrachtgever Waterschap Groot Salland		
Datum opname 15-17 april 2014	Projectcode 2014-P- 481	Kaartnummer 4 - A3 - Landscape
Auteur MWH	Revisie V1	Projectie RD (m)

medusa

Medusa Explorations BV, www.medusa-online.com
 tel: 050 577 0280, Postbus 623, 9700 AP, Groningen

Medusa Explorations BV

Verlengde Bremenweg 4, 9723 JV Groningen
P.O. Box 623, 9700 AP Groningen
The Netherlands

t +31(0)50-577 02 80
f +31(0)50-579 23 45
i www.medusa-online.com



Bijlage 3

Deelrapport "Geotechnisch onderzoek – ARCADIS"

POV piping "proeftuin Mastenbroek" Duiding pipinggevoeligheid en toepasbaarheid rekenregel van Sellmeijer 2011

Arnhem, 6 januari 2015

ARCADIS document: 078366218:A

ARCADIS project: C03011.000275.0300



**POV PIPING "PROEFTUIN MASTENBROEK"
DUIDING PIPINGGEVOELIGHEID EN
TOEPASBAARHEID REKENREGEL VAN
SELLMEIJER 2011**

24 januari 2017
078366218:B - Definitief
C03011.000275.0300

Inhoud

1	Inleiding	5
2	Data inwinning	6
2.1	Locatiekeuze	6
2.2	Boorplan	8
2.3	Veldwerk	8
2.4	Zeefproeven	9
3	Bodemopbouw proeftuin	10
3.1	Maaiveldligging	10
3.2	Ondiepe bodemopbouw	10
3.3	Geologie	11
3.4	Samenstelling deklaag	11
3.5	Overgangslaag "bruin" zand	11
3.6	Representatieve laag "grijs" zand	12
3.7	Verschillen bruin en grijs zand	12
4	Duiding pipinggevoeligheid	14
4.1	Verkregen gegevens proeftuin	14
4.1.1	Deklaag dikte	14
4.1.2	Diepte onderkant deklaag	16
4.1.3	d_{70} grijs zand	16
4.1.4	Karakteristieke waarde grijs zand	18
4.1.5	d_{70} bruin zand	18
4.1.6	Doorlatendheid	19
4.2	Vergelijking met regionale geotechnische informatie	19
4.3	Reikwijdte SOS	20
4.4	Verstoringsen in de ondergrond	20
4.5	Sellmeijer berekeningen	21
4.5.1	Niet variabele invoergegevens	21
4.5.2	Invloed deklaagdikte	22
4.5.3	Invloed d_{70}	22
4.5.4	Invloed kD	23
4.5.5	Toepassing rekenregel op proeftuin	23
5	Literatuur	26
Bijlage 1	Voorbeeld bepaling d_{70}	27
Bijlage 2	Locaties handboringen	28
Bijlage 3	Figuren proeftuin	29
Bijlage 4	"Bypass Kampen" relevant grondonderzoek	38

Bijlage 5	Gegevens Regis II.....	41
Bijlage 6	Zwakste pad analyse.....	42
Colofon.....		43

1 Inleiding

In het dijkverbeteringsprogramma HWBP is een Project Overstijgende Verkenning (POV) opgenomen naar het bezwijkmechanisme piping; de POV piping. Hierin wordt de problematiek inclusief oplossingsrichtingen rondom piping op een landelijk niveau onder de loep genomen.

Dit deelrapport richt zich op het geotechnisch onderzoek dat door ARCADIS is uitgevoerd binnen de verkenning "Proeftuin Mastenbroek". De deeldoelstelling van dit onderzoek was "het vaststellen van de erosiegevoeligheid van de zandondergrond en ruimtelijke variatie in de erosiegevoeligheid." Daarnaast is de praktische toepasbaarheid van de Sellmeijer rekenregel 2011 in WTI-2017 onderzocht.

In hoofdstuk 2 zijn de toegepaste methodieken besproken. Hoofdstuk 3 beschrijft de bodemopbouw die op basis van het uitgevoerde grondonderzoek en geologie is verklaard. De analyses ter bepaling van de pipinggevoeligheid zijn beschreven in hoofdstuk 4.

2

Data inwinning

De hieronder beschreven methodieken zijn in chronologische volgorde uitgevoerd om tot het resultaat van dit deelonderzoek naar variaties in zandgrofheid te komen.

2.1 LOCATIEKEUZE

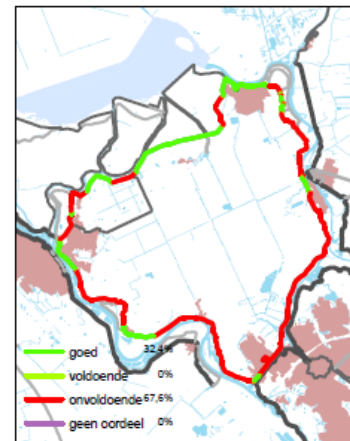
Dijkkring 10 "Masterbroek" is in overleg met Waterschap Groot Salland, Alterra, Medusa en ARCADIS gekozen op basis van toepasbaarheid en relevantie voor alle drie de invalshoeken. 67,6% van de waterkering om dijkkring 10 zijn afgekeurd op het faalmechanisme piping, zie Figuur 1. De vraag naar nieuwe inzichten voor piping-gerichte vraagstukken is daarom voor deze dijkkring groot.

Het gebied rondom 's Heerenbroek (buurtschap Veecaten) is historisch gezien een interessante locatie vanwege de in het verleden aanwezige actieve meanders, historische dijkdoorbraken en bijbehorende wielen en de aanwezigheid van eendenkooien.

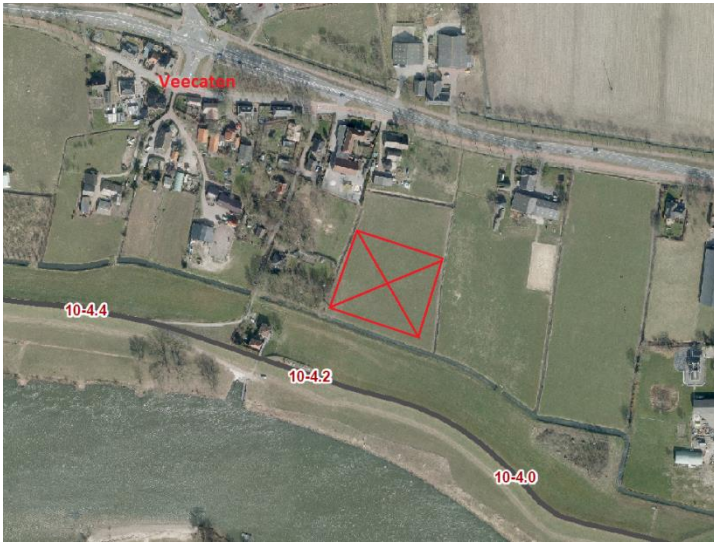
Daarnaast is in 1926 bij Zalk (overzijde IJssel ter hoogte van Veecaten) een dijkdoorbraak geweest, waarvan op basis van de waarnemingen kan worden geconcludeerd dat de oorzaak gerelateerd is aan piping.

Voor het geotechnisch onderzoek is de exacte locatie bepaald op basis van pipinggevoeligheid en daarnaast praktische criteria: namelijk: uitvoerbaarheid, toestemming van de perceeleigenaar en in de nabijheid van een waterkering. De keuze voor de zogenaamde "proeftuin" is uiteindelijk gevallen op een perceel ter hoogte van dijkpaal 10-4.1 en 10-4.2 (zie Figuur 2). Het zandpakket ligt hier relatief dicht onder het maaiveld en dus is er een grote kans op opbarsten en is de locatie potentieel piping gevoelig. En om deze reden is de locatie ook goed toepasbaar voor het geofysisch en geotechnisch onderzoek.

De verwachting is dat er restanten van de deels gedempte Bisschopswetering te vinden zijn, in het verlengde van het nog bestaande deel. Omdat de rivier in het verleden zuidelijker liep (zuidelijk van Zalk), is het mogelijk dat restanten onder de dijk en in de proeftuin aanwezig zijn (zie Figuur 3). Van deze middeleeuwse situatie zijn geen kaarten meer beschikbaar.



Figuur 1: Op piping afgekeurde dijkvakken van dijkkring 10



Figuur 2: Locatie proeftuin Veecaten aangeduid met doorkruist vierkant



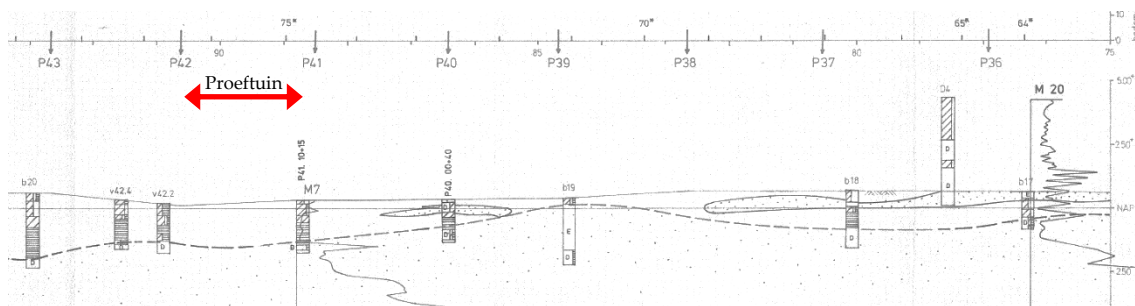
Figuur 3: Vermoedelijke locatie gedempte deel Bisschopswetering (rode lijn)

2.2 BOORPLAN

Er is voorafgaand aan het grondonderzoek een boorplan opgesteld waarin de exacte locatie van de proeftuin binnen het onderzoeksgebied is vastgelegd, daarbij is:

1. onderzocht of een dunne cohesieve deklaag aanwezig is om het boren efficiënt uit te kunnen voeren;
2. nagegaan of het perceel geheel vrij is van bebouwing, hinderlijke begroeiing en andere obstakels die de toegankelijkheid verminderen;
3. getoetst of de proeftuin nabij een waterkering ligt om de piping gerelateerde berekeningen uit te kunnen voeren.

Tussen dijkpaal 10-4.1 en 10-4.2 van dijkkring 10 is een perceel gekozen voor het uitvoeren van de proeftuin dat voldoet aan de drie criteria. Op het geotechnisch lengteprofiel van de meest recente dijkverbetering [lit. 3] is een ondiepe zandlaag zichtbaar die het risico op piping verhoogt en tevens de uitvoering van het grondonderzoek uitvoerbaar maakt. Deze zandlaag staat in contact met het buitenwater.



Figuur 4: Locatie van de proeftuin binnen het binnendijkse geotechnisch lengteprofiel [lit.3]

2.3 VELDWERK

In juni 2014 is door Inpijn-Blokpoel in samenwerking met ARCADIS het grondonderzoek uitgevoerd. In een perceel van 75x75 meter zijn 256 boringen uitgevoerd met een meetinterval van 5 meter. In vergelijking met traditioneel grondonderzoek is door deze dichtheid van boringen het detailniveau zeer hoog. De boringen zijn uitgevoerd tot een diepte van circa 3,5 m door middel van de edelmanboor in de deklaag en de Van der Staay boor voor het zand. Voor alle boringen zijn de xyz-coördinaten gemeten in RD (horizontaal) en NAP (verticaal) met DGPS apparatuur. Het veldwerk is tijdens droge weersomstandigheden uitgevoerd en door inzet van vier personen kon er een productie worden gedraaid van circa 40 boringen per dag.

Van iedere boring is ten minste één zandmonster genomen. Door een complexe overgang van de deklaag naar de zandlaag is er voor veel boringen echter gekozen om twee zandmonsters te nemen. Er bestaat onzekerheid over welke zandlaag het meest piping gevoelig is, het bruine zand of het grijze zand (zie voor verdere beschrijving paragraaf 3.5 en volgende op pagina 11). Er zijn monsters van het bruine zand genomen als deze laag dikker is dan 20 centimeter. Dit is de dikte wat minimaal nodig is om een zeefproef goed uit te kunnen voeren.

2.4 ZEEFPROEVEN

Van iedere boring is ten minste één zandmonster gezeefd. Daarnaast zijn voor dertien boringen twee boven elkaar genomen zandmonsters gezeefd om inzicht te krijgen in de variatie tussen het bruine zand direct onder de deklaag en het grijze zand enkele decimeters onder de deklaag. De totale hoeveelheid zeefproeven komt op 269.

De uitgevoerde zeefproeven betreffen zogenaamde natte zeefproeven zonder bezinken, enkele uitzonderingen daargelaten om hydraulische weerstand te bepalen. De monsters zijn voorbehandeld met natriumhexametafosfaat en soda om de leemfractie van de zandfractie "los te weken". Er zijn zeven met maaswijdte 2 mm, 1 mm, 500 µm, 250 µm, 125 µm en 63 µm gebruikt.

3

Bodemopbouw proeftuin

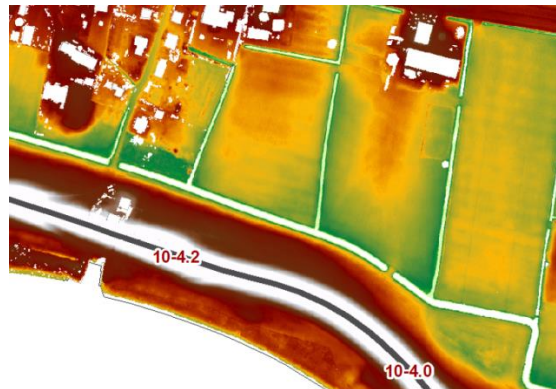
3.1 MAAIVELDLIGGING

In Figuur 5 is het verloop van de maaiveldhoogte weergegeven. De kleuren staan voor het volgende:

- donkergroen = NAP 0 m
- okergeel = NAP +0,75 m
- donkerbruin = NAP +2,0 m

De maaiveldhoogte in de proeftuin bedraagt gemiddeld NAP +0,6 m met een standaardafwijking van 0,1 m.

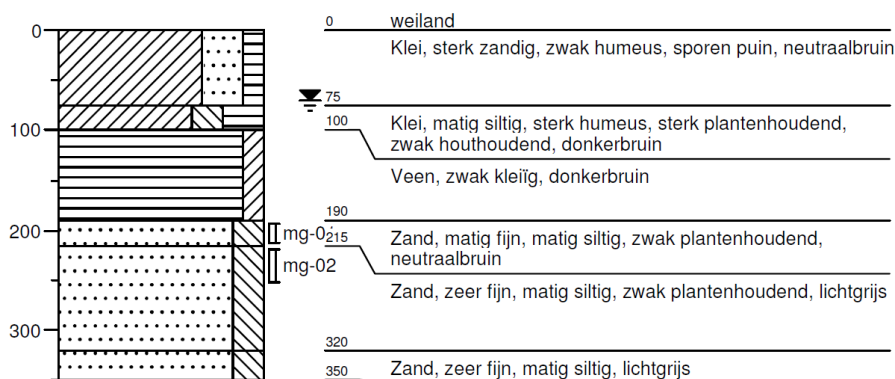
Het voorland ligt gemiddeld op NAP +1,1 m en de dijkkruin op NAP +5,0 m.



Figuur 5: Indicatie verloop maaiveldhoogte

3.2 ONDIEPE BODEMOPBOUW

De bodemopbouw in de proeftuin kan als volgt globaal worden beschreven: 1 m klei op 1 m veen op zand. Figuur 6 geeft boorprofiel C02 uit de proeftuin weer. Het merendeel van de boorprofielen heeft een vergelijkbare bodemopbouw. De zandlaag vanaf circa 2 m diepte is de potentieel pipinggevoelige laag. De bovenliggende klei- en veenlagen worden beschouwd als zijnde deklaag. De overgangslaag van de deklaag (klei op veen) naar het zand is een bruin gekleurde zandlaag en bevat humeus materiaal. In boorprofiel C02 is dit de laag tussen 1,9 m en 2,15 m.



Figuur 6: Boorprofiel C02, kenmerkend voor de opbouw in de proeftuin

3.3 GEOLOGIE

Alterra heeft in het historisch onderzoek [lit. 2] aandacht besteed aan geologische en antropologische ontwikkelingen die sinds het de Romeinse tijd hebben plaats gevonden. De bodemopbouw in de eerste twee meter vanaf het maaiveld kan hiermee worden verklaard.

In de Romeinse tijd aan het begin van de jaarwisseling zijn door het natte klimaat en de aanwezigheid van veenlagen ontstaan. Ter plaatse van de proeftuin is bosveen aanwezig. De IJssel was voor een lange periode verzand, waardoor de laag bosveen kon blijven groeien.

De IJssel kwam in de vroege middeleeuwen dichterbij de buurt van de proeftuin stromen. Doordat de rivier regelmatig buiten zijn oever trad, is er een kleipakket ontstaan. Na de bedijking is deze kleilaag tijdens enkele dijkdoorbraken nog toegenomen in dikte.

Het bruine en grijze zand dat aanwezig is onder de deklaag, is afgezet door de wind (eolische afzetting). Dit zogenaamde dekzand, dat behoort tot de Formatie van Boxtel, staat bekend om de fijne zandkorrels met weinig variatie in grootte. Het betreft zand dat is afgezet tijdens de Weichselien ijstijd. Enkele meters dieper is grover zand behorende tot de Formatie van Kreftenheye aanwezig.

3.4 SAMENSTELLING DEKLAAG

De deklaag bestaat globaal uit één meter klei met daaronder één meter bosveen. Dit bosveen kan worden herkend aan de houtsporen en aan de grillige bovengrens van deze laag. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezige restanten van boomstammen. Figuur 7 toont een foto [lit. 2] van een recent uitgegraven watergang elders binnen de dijkkring. De overgang van klei naar veen is met rood gemarkeerd en toont de grilligheid van deze laagscheiding.



Figuur 7: De overgang van klei naar veen [lit. 2]

3.5 OVERGANGSLAAG "BRUIN" ZAND

Tijdens het veldwerk was moeilijk in te schatten welke zandlaag als meest pipinggevoelig beschouwd kon worden. De overgang van deklaag naar zandondergrond kon duidelijk worden vastgesteld op basis van de cohesie van het opgeboorde materiaal (afwijking plus of min 0,05 m). Maar de mate van pipinggevoeligheid van het daaronder aanwezige zand was niet altijd evident.

De bruin gekleurde zandlaag direct onder de deklaag lijkt op het oog grover te zijn dan het onderliggende grijze zandpakket. Het verschil in zandgrofheid is klein, maar waarneembaar.

Het bruine zand is matig fijn (gemiddelde waarde $M_{63} \approx 190 \mu\text{m}$), zwak siltig (7% silt) en grindloos.

De overgangslaag tussen het bosveenpakket en de grijze zandlaag (zie Figuur 8) is vanwege de complexiteit specifiek in het veld onderzocht en kan als volgt worden beschreven:

- 0,1 m dikke overgang van onderzijde deklaag naar zandondergrond (enigszins "cohesief"), top laag 2;
- 0,1 m veen houdend bruin zand naar bruin zand (op het oog niet "cohesief"), midden laag 2;
- 0,2 m bruin zand naar grijs zand (overduidelijk niet "cohesief"), onderste deel laag 2.



Figuur 8: De overgang van deklaag (1) naar grijs zand (3), via het bruine zand (2)

3.6 REPRESENTATIEVE LAAG "GRIJS" ZAND

Na het analyseren van de boorprofielen en de geologie is er op praktische gronden voor gekozen om het "grijze" zand overal te zeven. Alleen van deze laag is namelijk overal een voldoende groot monster beschikbaar. Het grijze zand is matig fijn ($M63 \approx 165 \mu\text{m}$), zwak siltig (7% silt) en grindloos.

Voordat deze keuze definitief zo werd gemaakt, is de maximaal 0,3 m dikke overgangslaag van bruin zand zo nauwkeurig mogelijk geanalyseerd. Hieruit is naar voren gekomen het bruine zand enigszins grover ($M63 = 190 \mu\text{m}$ versus $165 \mu\text{m}$) is dan het onderliggende grijze zand en om die reden minder piping gevoelig is. Daarnaast is er gelaagdheid aanwezig in het bruine zand.

Samen met Universiteit Utrecht en Alterra zijn hiervoor enkele mogelijke oorzaken op een rij gezet [lit. 8 en lit. 2], zie paragraaf 3.7.

Het bruine en grijze zand zijn qua geologie vergelijkbaar (beiden Formatie van Boxtel) en dus in beginsel even gevoelig voor piping. Mede vanwege de afwezigheid van fossiele aanwijzingen van bodemvorming (humeuze laagjes en bruine verkleuring), is het grijze zand als de voor piping representatieve laag aangemerkt.

De theorie van Sellmeijer gaat ervan uit dat de pipe zich direct onder de cohesieve deklaag vormt. Het grijze zand is derhalve direct onder de deklaag van klei en veen verondersteld en het bruine zand is buiten beschouwing gelaten.

3.7 VERSCHILLEN BRUIN EN GRIJS ZAND

Het verschil in zandgrofheid kan worden verklaard door het dessert-pavement effect. In langdurig droge perioden met lage grondwaterstanden kan het fijnste zand door de wind weg zijn gewaaid, waarna het grovere zand is achtergebleven. Dit is typerend voor het klimaat waarin het materiaal in het verleden is afgezet. Sortering als gevolg van harde neerslag (inslag van regendruppels) is ook mogelijk maar gelet op het klimaat tijdens het ontstaan van de afzettingen minder waarschijnlijk.

Het kleurverschil (bruin ten opzichte van grijs) kan worden verklaard door inspoeling van organisch materiaal vanuit het bovenliggende bosveen pakket (zie Figuur 9).



Figuur 9: Bosveen wordt gekenmerkt door aanwezigheid van stukjes hout (bruin oranje kleur op 2,66 m)

De gelaagdheid wordt veroorzaakt door wisselingen in grondwaterstand. Het laat Pleistoceen kende perioden met afwisselend een wat hogere en lagere grondwaterstand. Onderin de bruine zandlaag worden hierdoor humeuze bandjes aangetroffen, die duiden op bodemvorming tijdens perioden van lagere grondwaterstand (zie Figuur 10). Bovenin de bruine zandlaag is op enkele plaatsen binnen de proeftuin een begraven veldpodzol aanwezig (zie Figuur 11). Dit type bodemprofiel met een uitspoelingslaag en inspoelingslaag van vooral ijzeroxide, ontstaat tijdens een lange periode met neerwaarts gerichte grondwaterstroming.



Figuur 10: Humeus bandje (circa 2,3 m –mv) met donker bruine kleur (aangeduid met spatel) in overgangszone



Figuur 11: Begraven veldpodzol onder bosveen (< 2,70 m), met loodlaag (2,85 m) en ijzer inspoeling (2,95 m)

4

Duiding pipinggevoeligheid

4.1 VERKREGEN GEGEVENS PROEFTUIN

4.1.1 DEKLAAG DIKTE

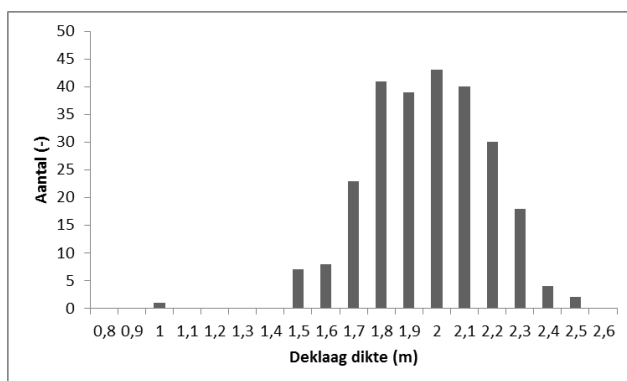
Op basis van de boorprofielen van de 256 boringen in de proeftuin zijn de waarden van de deklaagdikte bepaald. De deklaagdikte is één van de variabelen die als input geldt voor de Sellmeijer berekeningen. Voor de dikte van de deklaag is de totale dikte van de cohesieve grondlagen (klei en veen) uit de boorprofielen bepaald. De overgang van veen naar zand is maximaal 0,1 m dik en kan gekwalificeerd worden als scherpe overgang (zie paragraaf 3.5).

Het histogram in Figuur 12 geeft de bandbreedte weer van de deklaag dikte. De dikte varieert na uitfiltering van extreem hoge en lage waarden tussen 1,5 m en 2,5 m. Met de waarden van deklaag dikte is een kriging interpolatie uitgevoerd om een ruimtelijk beeld te schetsen van de deklaag dikte, zie Figuur 13.

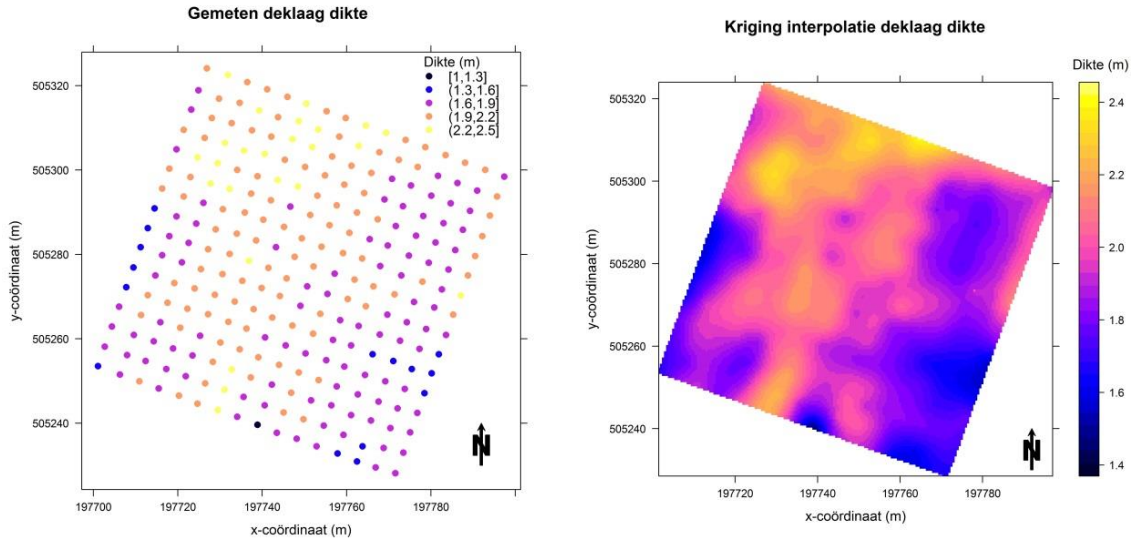
gemiddelde [m]	minimum [m]	maximum [m]	aantal [-]	variatie coëfficiënt [-]	karakteristiek * [m]
2,0	1,0	2,5	256	0,11	1,8

Tabel 1: Statistische karakterisering dikte deklaag van klei en veen

* = op basis van formule 1.27 van ORZW [lit. 4], 5% onderschrijdingswaarde

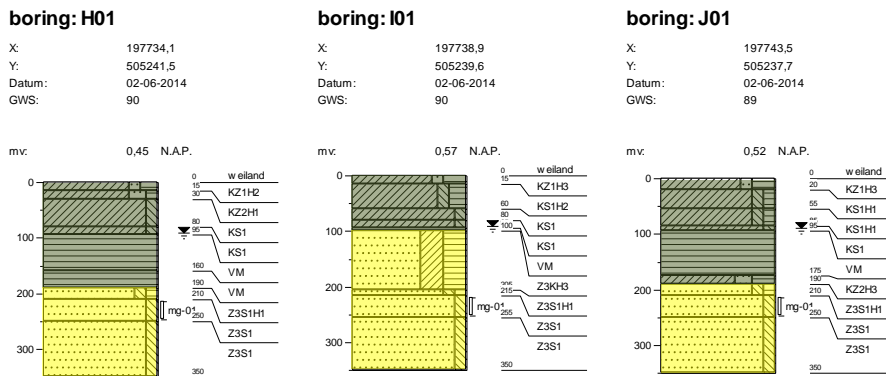


Figuur 12: Histogram van de deklaag dikte



Figuur 13: De gemeten deklaag dikte (links) en de geïnterpoleerde deklaagdikte (rechts)

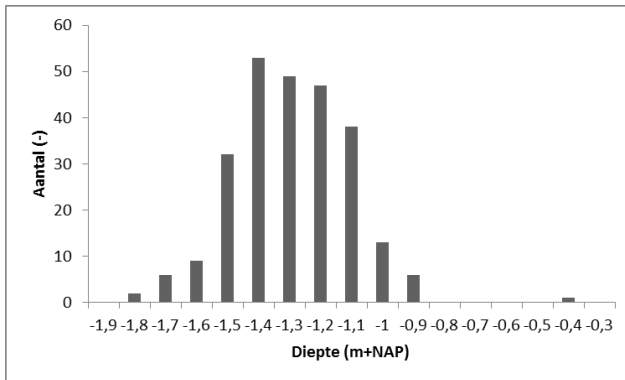
Opvallend is boring I01 waarin een 0,5 meter dunnere deklaag is aangetroffen (Figuur 14). In plaats van veen is sterk humeus zand aanwezig. Hiervoor is geen eenduidige verklaring voor gevonden. Wel geeft dit aan dat ondanks het toepassen van een (zeer) fijn meetinterval extreme variaties niet worden uitgesloten.



Figuur 14: Zeer dunne deklaag (groen) bij boring I01

4.1.2 DIEPTE ONDERKANT DEKLAAG

Voor de analyse van de deklaagdikte is geen correctie uitgevoerd voor de variërende maaiveldhoogte omdat de deklaagdikte een invoerparameter is voor de rekenregel van Sellmeijer. Tevens is de diepte van de onderkant van de deklaag geanalyseerd om inzicht te krijgen in het effect van de variabele maaiveldhoogte. De diepte van de onderkant van de deklaag varieert na uitfiltering van extremen met tussen NAP -0,9 m en NAP -1,7 m. Figuur 15 toont aan dat de verschillen die worden veroorzaakt door variaties in maaiveldhoogte beperkt zijn (het bereik is circa 0,2 m kleiner).



Figuur 15: Histogram van de deklaag diepte

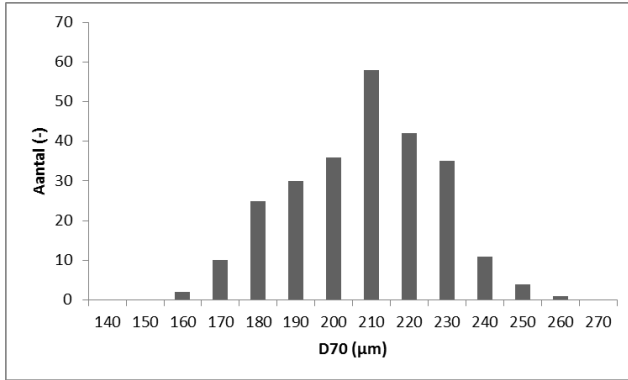
gemiddelde [m +NAP]	minimum [m +NAP]	maximum [m +NAP]	aantal [-]	variatie coëfficiënt [-]	karakteristiek * [m +NAP]
-1,3	-1,8	-0,4	256	-0,14	-1,2

Tabel 2: Statistische karakterisering onderkant deklaag

* = op basis van formule 1.27 van ORZW [lit. 4]

4.1.3 D₇₀ GRIJS ZAND

De korrelgrootte (d_{70}) is, net als de deklaagdikte, een variabele die in de rekenregel van Sellmeijer wordt gebruikt om de weerstand tegen piping te berekenen. De d_{70} is de waarde in de korrelverdeling waarbij 70% kleiner is op basis van gewicht. Met de resultaten van de zeefanalyses is ruimtelijk inzicht gecreëerd in de variaties in korrelgrootte. In paragraaf 3.6 en 3.7 (pagina 12 en volgende) is toegelicht welke zandmonsters zijn gezeefd en met welke denkrichtingen hiervoor is gekozen. Figuur 17 geeft de d_{70} waarden afkomstig uit de zeefanalyses en de geïnterpoleerde d_{70} waarden over de gehele proeftuin weer. De variatie in korrelgrootte is relatief klein. De minimale d_{70} waarde is na uitfiltering van de extremen circa 170 μm en de maximale circa 250 μm . Figuur 16 geeft dit bereik weer in een histogram.



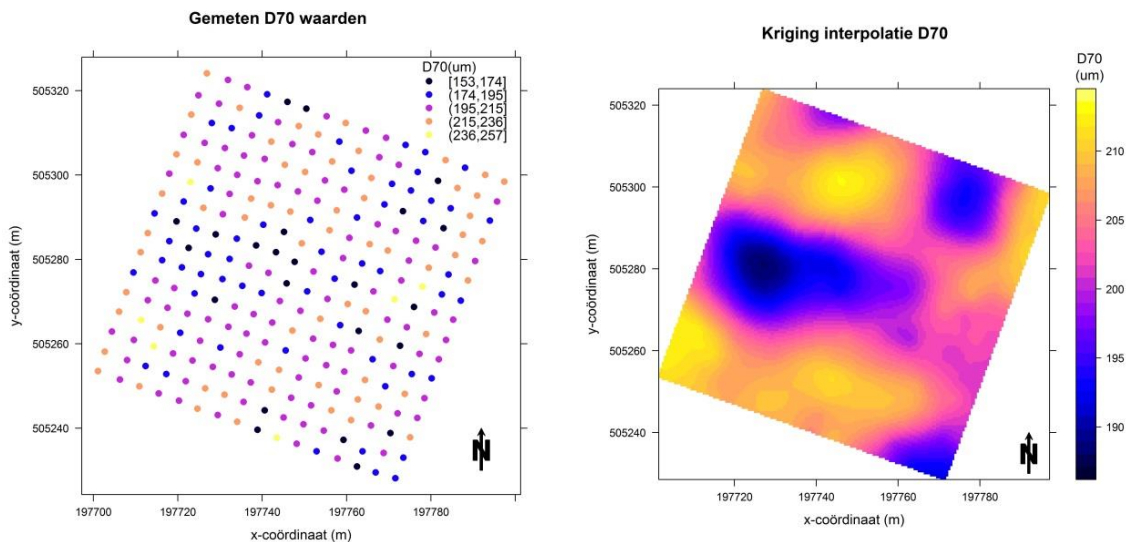
Figuur 16: Histogram van d_{70} (NB: de d_{70} -waarden van 371 en 407 μm zijn niet in dit histogram opgenomen)

Twee monsters tonen een sterk afwijkende d_{70} waarden van 371 en 403 μm . Het betreft de boringen A11 respectievelijk F5 (zie Bijlage 2). Voor deze afwijking bestaat geen verklaring vanuit geologie of geotechniek. De indruk bestaat dat deze monster verwisseld zijn (grijs zand <> bruin zand) of vervuild met zand uit een andere bodemlaag. Daarom zijn deze twee waarnemingen als niet kenmerkend voor de proeftuin aangemerkt en buiten beschouwing gelaten.

gemiddelde [μm]	minimum [μm]	maximum [μm]	aantal [-]	variatie coëfficiënt [-]	karakteristiek * [μm]
203	153	257	254	0,09	187

Tabel 3: Statistische karakterisering zandgrofheid grijs zand voor Sellmeijer berekening

* = op basis van formule 1.27 van ORZW [lit. 4]



Figuur 17: De gemeten d_{70} waarden die zijn bepaald aan de hand van zeefanalyses (links) en de geïnterpoleerde waarden van d_{70} over de gehele proeftuin

4.1.4 KARAKTERISTIEKE WAARDE GRIJS ZAND

De representatieve waarde voor de d_{70} in de huidige piping-voorschriften betreft een karakteristieke waarde, ofwel een 5%-ondergrenswaarde. Er zijn verschillende formules voor het bepalen van de karakteristieke ondergrens en karakteristieke waarde van het gemiddelde. Afhankelijk van de aard van de verzameling kan uit totaal zes formules (1.23 tot en met 1.27) worden gekozen in het ORZW [lit. 4]. In Tabel 4 is volgens drie formules een "veilige" waarde bepaald.

formule	ORZW, 1.22 [µm]	ORZW, 1.25 [µm]	ORZW, 1.27 [µm]
d_{70} ; karakteristiek (95%)	172	174	187
aard verzameling	lokaal ondergrens	lokaal ondergrens, lognormaal	regionaal laag gemiddelde

Tabel 4: Verschillende karakteristieke waarden voor d_{70} proeftuin

$$p_{kar} = p_{gem} \pm t_{N-1}^{0,95} s_p$$

Vergelijking 1: Karakteristieke waarde (95%), volgens ORZW, bijlage B, formule 1.22

$$p_{kar} = \exp((\ln p)_{gem} \pm t_{N-1}^{0,95} s_{\ln p})$$

Vergelijking 2: Karakteristieke waarde (95%), volgens ORZW, bijlage B, formule 1.25

$$p_{gem, kar} = p_{gem} \pm t_{N-1}^{0,95} s_p \sqrt{r^2 + \frac{1}{N}}$$

met $r^2 = 0,25$ (zie [TAW, 1989])

Vergelijking 3: Laag gemiddelde waarde (95%), volgens ORZW, bijlage B, formule 1.27

4.1.5 D₇₀ BRUIN ZAND

De korrelgrootte (d_{70}) van het bruine zand is voor het maken van de vergelijking met het grijze zand weergegeven in Tabel 5.

gemiddelde [µm]	minimum [µm]	maximum [µm]	aantal [-]	variatie coëfficiënt [-]	karakteristiek * [µm]
240	188	335	13	0,15	204

Tabel 5: Statistische karakterisering zandgrofheid bruin zand

* = op basis van formule 1.27 van ORZW [lit. 4]

4.1.6 DOORLATENDHEID

De doorlatendheid van het grijze zand bedraagt, afhankelijk van de empirische relatie die wordt gebruikt, 2 tot 7 m/dag. Uit de formule van Harleman volgen tamelijk lage waarden van 2 m/dag en uit de formule van Den Rooyen een hoge waarde van 7 m/dag.

Gelet op het lage siltgehalte van gemiddeld 7% en de redelijke mate waarin het zand is gesorteerd ($U=2,06$), is een doorlatendheid bovenin de gevonden bandbreedte realistisch.

gemiddelde [m/dag]	minimum [m/dag]	maximum [m/dag]	aantal [-]	variatie coëfficiënt [-]	karacteristiek * [m/dag]
7	5	23	256	0,3	6

Tabel 6: Statistische karakterisering grijs zand op basis van formule van Den Rooyen

* = op basis van formule 1.27 van ORZW [lit. 4]

4.2 VERGELIJKING MET REGIONALE GEOTECHNISCHE INFORMATIE

In het dijkverbeteringsplan [lit. 3] is regionale geotechnische informatie beschikbaar in de vorm van het geotechnisch lengteprofiel en het laboratoriumrapport. Daarnaast is een proevenverzameling beschikbaar van het Ruimte voor de Rivier project "Bypass Kampen" [lit. 5].

De deklaagdikte in het lengteprofiel (zie Figuur 4) is op hoofdlijnen vergelijkbaar met de proeftuin. Opvallend is dat de deklaagdikte in het lengteprofiel bij dijkpaal 39 veel dunner is dan elders langs het dijkvak van circa 1 km. Bij controle boringen aan de binnenteen in de winter van 2015, is de dunne deklaag ook niet aangetroffen. Mogelijk is een zeer lokale anomalie aanwezig in de bodem of is het boorprofiel op het lengteprofiel onjuist ingetekend. Een sluitende verklaring is helaas niet gevonden.

In het laboratoriumrapport van de dijkverbetering zijn slechts twee zeefkrommes aangetroffen. Het betreft grindhoudend zand met een $d_{70} \approx 500 \mu\text{m}$, dat duidelijk niet tot dezelfde geologische formatie behoort als het zand in de proeftuin. Een vergelijking met de proeftuin is derhalve niet mogelijk. Opgemerkt wordt dat dit zand ook is aangetroffen bij boorpunt 41 (op de oeverwal) van het geofysisch onderzoek.

In Bijlage 4 zijn een kenmerkende sondering en gegevens van korrelverdelingen van de locatie van de "Bypass Kampen" opgenomen. De gemiddelde zandgrofheid van het aanwezige zand van de Formatie van Bostel (laagpakket van Wierden) bedraagt $d_{50} = 175 \mu\text{m}$ ($v = 0,07$ en $n = 126$). Dit zand is iets grover dan het zand in de proeftuin ($M_{63} = 165 \mu\text{m}$), maar heeft een vergelijkbaar lage variatie. Op basis van expert judgement mag aangenomen worden dat dit zand nabij Kampen vergelijkbare eigenschappen bezit qua piping gevoeligheid als het zand bij Veecaten.

In het projectgebied van de bypass zijn ook enkele verlaten Pleistocene stroombanen van de IJssel aanwezig. Het zand in deze banen is beduidend grover (factor 1,66 tot 2,0) en is qua pipinggevoeligheid niet vergelijkbaar met de proeftuin.

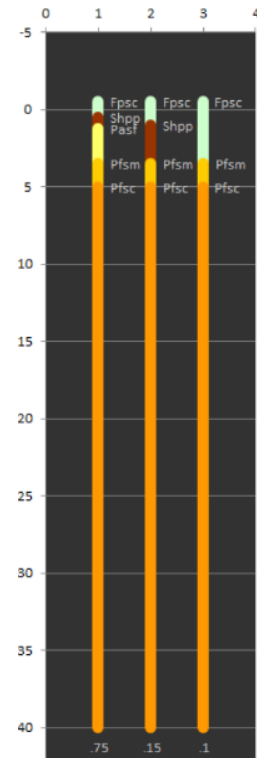
Uit het bovenstaande kan de volgende denkrichting worden afgeleid.

Door het combineren van geotechnisch onderzoek met de geologie is het mogelijk om een veilige standaard d_{70} waarde van Bostelzand af te leiden, namelijk $175 \mu\text{m}$. Hiervoor is echter tamelijk veel en gedetailleerd grondonderzoek nodig en gebiedskennis is onmisbaar.

4.3 REIKWIJDTE SOS

Een onderdeel van het nieuwe wettelijke toets instrumentarium (WTI) is een stochastische ondergrondschematisatie (SOS). Veecaten valt binnen het WTI-SOS segment 10-3. Hiervoor zijn drie verschillende scenario's mogelijk. Deze scenario's worden door Figuur 18 met de bijbehorende kans op voorkomen weergegeven. Scenario 1 heeft een kans op voorkomen van 75%. De verwachte bodemopbouw van dit scenario komt overeen met de bodemopbouw welke is aangetroffen binnen de proeftuin, namelijk:

- maaiveld op NAP+1 m;
- klei/zand:
 - dikte = 1 m;
- veen;
 - dikte = 1m;
- eolische zandafzettingen (Boxtel formatie):
 - dikte = 2,5 m;
 - $d_{70} = 210 \mu\text{m}$ (gemiddeld);
 - $k = 8 \text{ m/dag}$ (gemiddeld);
- fluviatiele zandafzettingen (Kreftenheye formatie), matig fijn/grof zand:
 - dikte = 1,5 m;
 - $d_{70} = 300 \mu\text{m}$ (gemiddeld);
 - $k = 50 \text{ m/dag}$ (gemiddeld);
- fluviatiele zandafzettingen (Kreftenheye formatie), grof zand:
 - dikte > 35 m.



Figuur 18: WTI-SOS scenario's

De overige twee scenario's in het SOS komen niet overeen met de aangetroffen bodemopbouw in de proeftuin. Het pipinggevoelige eolische zand (Boxtel formatie) wordt in scenario 2 en 3 niet verwacht.

Geconcludeerd wordt dat het WTI-SOS bij de proeftuin een goede basis vormt omdat de voorspelling van scenario 1 sterk overeen komt met de bodemopbouw ter plaatse van de proeftuin met een hoge bijbehorende kans van voorkomen. Daarnaast zijn er minimale verschillen in korrelgrootte van de pipinggevoelige laag tussen VNK2 en de dataset van deze pilot, het verschil is slechts $7 \mu\text{m}$ ($210 \mu\text{m}$ uit VNK2 t.o.v. $202 \mu\text{m}$ uit deze pilot).

4.4 VERSTORINGEN IN DE ONDERGROND

Er is een kaart opgesteld van het onderzoeksgebied van deze pilot waar verstoringen in de ondergrond zijn opgenomen (Figuur 19). Bronnen voor deze informatie zijn: luchtfoto's, rapportages van dijkversterkingen [lit. 3], AHN2, ouderdomskaarten van Universiteit Utrecht en het beheerregister van Waterschap Groot Salland. De met rood gemarkeerde locaties vormen een verhoogd risico op piping waarmee tijdens het toetsen en ontwerpen van de waterkering extra rekening dient worden gehouden.



Figuur 19: Verstoringen in de ondergrond die mogelijk een risico vormen voor piping

4.5 SELLMEIJER BEREKENINGEN

In de binnenteen van de waterkering is ter plaatse van de proeftuin tijdens de meest recente dijkverbetering een filterconstructie aangebracht om kwelstroming te beteugelen en daarmee de kans op piping te verminderen. De veiligheid tegen piping van de dijkdoorsnede bij dijkpaal 10-4.1 is daardoor gewaarborgd.

De proeftuin bevindt zich aan de binnendijkse zijde van de filterconstructie. In de navolgende analyse met de rekenregel van Sellmeijer 2011 is het filter buiten beschouwing gelaten. Zodat de bruikbaarheid van de pipingregel in het WTI-2017 voor dit project beoordeeld kan worden.

4.5.1 NIET VARIABELE INVOERGEGEVENS

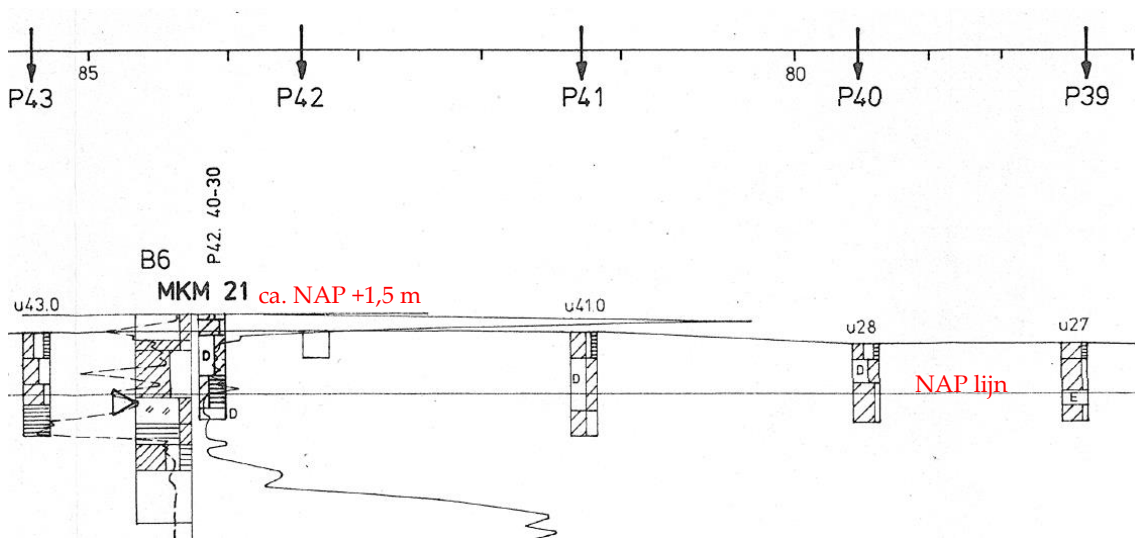
Het voorland is onderzocht met grondradar en er is aangetoond dat op 25 tot 40 cm diepte een zandlaag aanwezig is (zie Figuur 20). Dit strookt met het buitendijkse geotechnisch lengteprofiel van de dijkverbetering [lit. 3], waar een zandige tussenlaag is geconstateerd met daaronder wederom klei (zie Figuur 21). Voor de berekeningen wordt ervan uitgegaan dat de ondiepe zandlaag in het voorland niet doorloopt onder de dijk, omdat deze niet in de proeftuin is gevonden. De intredelengte is daarmee gelijk aan de voorlandbreedte, namelijk: 30 m.

De minimaal aanwezige kwelweglengte volgt uit de som van voorland, dijk en berm. Deze laatste twee zijn beiden ook circa 30 m, waarmee de totale kwelweg op 90 m komt. Achter de berm wordt het opbarstpunt verondersteld.

Voor het maaiveld en de grondwaterstand wordt uitgegaan van NAP +0,5 m. Er is gerekend met een waterstand van NAP +4,3 m (HR2006). Het OWP2100 + 0,3 m robuustheidstoeslag bedraagt NAP +4,0 m.



Figuur 20: Dikte kleilaag op basis van grondradar en boringen [lit. 1] (grijs = dijklichaam en groen = voorland)



Figuur 21: Geotechnisch lengteprofiel voorland [lit. 3] (in boring U41 en U28 is zand "D" zichtbaar)

4.5.2 INVLOED DEKLAAGDIKTE

De gemiddelde lokale waarde van de deklaagdikte bedraagt 2,0 m en de karakteristieke waarde bedraagt 1,8 m en 1,6 m volgens formule 1.27 respectievelijk 1.22 uit het ORZW [lit. 4]. Voor alle drie de waarden zijn pipingberekeningen gemaakt en het verschil in benodigde kwelweglengte bedraagt 1,35 m¹ per decimeter deklaag. Ondanks dat rekenen met een gemiddelde deklaagdikte niet is toegestaan, maakt het wel duidelijk dat de invloed van de normale variaties in deklaagdikte op de kwelweg beperkt is. Bij extremere wisselingen in deklaagdikte zoals bij boring I01 kan dit anders zijn. Dit is niet verder met berekeningen onderzocht.

4.5.3 INVLOED d_{70}

Normaliter wordt gerekend met karakteristieke waarden van d_{70} . Maar om een beeld te krijgen van heterogeniteit als sterkte is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met andere waarden, die uit de onderhavige studie naar voren komen. Voor de zwakste pad waarde en twee d_{70} waarden volgens Tabel 4 (karakteristieke waarde en laag gemiddelde waarde), zijn pipingberekeningen gemaakt. De gemiddelde d_{70} waarde bedraagt 203 μm en is vergelijkbaar met de waarde van 216 μm volgens de zwakste pad

methode (zie Bijlage 6). Het verschil tussen de karakteristieke waarde en de gemiddelde waarde is relatief beperkt door de geologie. Door wind afgezet zand is tamelijk uniform.

Het verschil in benodigde kwelweglengte bedraagt circa 13 m en de invloed op de benodigde kwelweg wordt als duidelijk aanwezig maar beperkt beschouwd.

4.5.4 INVLOED KD

Uit Bijlage 4 en het dijkverbeteringsplan [lit. 3] volgt dat de kD waarde sterk varieert. Afhankelijk van de totale dikte van het pakket Boxtel zand en aanwezigheid van een scheidende laag uit het Eemien zijn waarden van 200 m²/dag tot 2000 m²/dag mogelijk. Derhalve is een doorsnede gemaakt in Regis II (zie Bijlage 5) en hieruit blijkt:

- 4 m Boxtel zand met $k = 6$ m/dag (dit is het bruine en grijze zand uit de proeftuin);
- 20 m Kreftenheye zand met $k = 30$ à 50 m/dag (niet "aangeboord" in de proeftuin);
- totale kD waarde ≈ 925 m²/dag.

De stroming van kwelwater in het Boxtel zand wordt beïnvloed door het beter doorlatende Kreftenheye zand. Met een tweedimensionale grondwaterstromingsberekening kan dit inzicht worden verschaft, maar dit hoort niet bij het doel van deze verkenning. Om het nut en de noodzaak van deze berekeningen kracht bij te zetten, is het effect van een lage kD waarde van 100 m²/dag beoordeeld. Het theoretische effect hiervan op de benodigde kwelweg is groot (factor 2).

Het is weliswaar zo dat een factor 10 verschil in d_{70} waarde of deklaagdikte een nog grotere invloed heeft op de kwelweglengte, maar dat is voor de proeftuin Mastenbroek niet een reële veronderstelling. Het zand is immers uniform en de deklaagdikte varieert beperkt. Het doorlatendheidscontrast in het watervoerend pakket is echter aantoonbaar aanwezig en moet op andere plaatsen in Nederland ook worden verwacht. Van de Randmeerdijk bij Elburg is bekend dat ook daar uniform Boxtel zand op Kreftenheye zand ligt. Daarom wordt aanbevolen de ontwikkeling van een praktisch toepasbaar meerlaags pipingmodel te bevorderen.

Gelet op de mate van dominantie van de kD waarde, in de uitkomsten van de Sellmeijer berekening ten opzichte van de d_{70} en de deklaag, worden ook tweedimensionale grondwaterstromingsberekening nadrukkelijk aanbevolen. Onderzocht moet worden bij welke combinatie van dikte en doorlatendheid van beide lagen de invloed van de onderliggende grove laag voldoende klein is om deze uit de schematisatie te laten.

4.5.5 TOEPASSING REKENREGEL OP PROEFTUIN

De resultaten van de berekeningen met de rekenregel van Sellmeijer uit 2011, voor de proeftuin van Veecaten, zijn weergegeven in Tabel 7. Bij de berekeningen is een veiligheidsfactor van $\gamma_n = 1,4$ gehanteerd volgens tabel 7.2 van het ORZW [lit. 4]. De schematiseringsfactor is gekozen op $\gamma_b = 1,2$ omdat de kD waarde niet met de hoogst mogelijke nauwkeurigheid is vastgesteld.

Voor de d_{70} zijn drie verschillende waarden toegepast, namelijk:

- zwakste pad d_{70} : de d_{70} waarde van de grofste korrel in een denkbeeldig pad onder de dijk dat als "het zwakste" kan worden aangemerkt volgens [lit. 7];
- laag gemiddelde d_{70} (regionaal): typerende waarde voor veilige schatting van het gemiddelde;
- karakteristieke d_{70} (lokaal): typerende waarde voor veilige schatting van de ondergrens.

Voor de deklaagdikte is de gemiddelde waarde aangehouden en de karakteristieke waarde, zodat een beeld van de bandbreedte van het rekenresultaat ontstaat.

situatie	L aanwezig [m]	d ₇₀ [μm]	d [m]	kD [m ² /dag]	creepfactor [-]	H [m]	L benodigd [m]
zwakste pad d ₇₀	90	216	2,0	925	38,3	3,8	122,7
laag gemiddelde d ₇₀ (regionaal)	90	187	2,0	925	40,9	3,8	130,8
karakteristieke d ₇₀ (lokaal)	90	172	2,0	925	42,2	3,8	135,1
zwakste pad d ₇₀	90	216	1,6	925	38,5	3,8	127,8
laag gemiddelde d ₇₀ (regionaal)	90	187	1,6	925	41,0	3,8	136,3
karakteristieke d ₇₀ (lokaal)	90	172	1,6	925	42,4	3,8	140,7
zwakste pad d ₇₀	90	216	2,0	100	18,9	3,8	60,6
laag gemiddelde d ₇₀ (regionaal)	90	187	2,0	100	20,2	3,8	64,6
karakteristieke d ₇₀ (lokaal)	90	172	2,0	100	20,8	3,8	66,7

Tabel 7: Toetsing met Sellmeijer 2011 voor verschillende combinaties van bodemopbouw en waterstand HR2006

L aanwezig	=	aanwezige kwelweglengte
d ₇₀	=	korrelgrootte
d	=	deklaagdikte
kD	=	transmissiviteit watervoerend pakket
creepfactor	=	benodigde kwelweglengte gedeeld door het te keren waterstandsverschil
H	=	te keren waterstandsverschil
L benodigd	=	benodigde kwelweglengte voor voldoende veiligheid tegen piping

De aangetroffen variaties in deklaagdikte en d₇₀ hebben individueel gezien geen grote invloed op de benodigde kwelweg. Wanneer echter de uitkomst voor zwakste pad d₇₀ en gemiddelde deklaag (eerste regel in de tabel) vergeleken wordt met de karakteristieke d₇₀ en deklaag (regel zes), is het verschil in kwelweg 18 m. Vertaald naar aanwezige kwelweg is dit 20%; een substantiële toename.

De creepfactor van ongeveer 40 voor een kD waarde van 925 m²/dag is in vergelijking met de afgelopen decennia aangehouden waarden van 15 à 18 aan de hoge kant. De gevoeligheidsberekening met een kD waarde van 100 m²/dag, die vooruitlopend op tweedimensionale grondwaterstromingsberekeningen is toegepast, geef wel een creepfactor die aansluit bij "het gevoel van de dijkbeheerder". Het grote verschil roept vragen op zoals:

- is het rekenresultaat mogelijk te gevoelig voor de keuzes die bij schematisatie worden gemaakt;
- is de benodigde hoeveelheid gedetailleerde gegevens nog wel praktisch;
- moeten er voor alle dijken ingewikkeld tweedimensionale grondwaterstromingsberekeningen worden gemaakt met kans op nog meer uiteenlopende uitkomsten.

Geconcludeerd wordt dat de geschiktheid van de rekenregel van Sellmeijer 2011 zeer sterk afhangt van de mate waarin een betrouwbare schematisatie kan worden opgesteld. Ondanks het tamelijk uniforme beeld in d₇₀ waarde en deklaagdikte, blijft het beeld hangen dat nog immer een te conservatief berekeningsresultaat is gevonden. De onzekerheid over de transmissiviteit van het watervoerend pakket is hier voornamelijk debet aan.

Er resteert een belangrijk heterogeniteitsvraagstuk, namelijk: "Hoe kan de dikte van het watervoerend pakket eenvoudig worden geschematiseerd gegeven een scherp contrast in doorlatendheid van twee lagen". Een dergelijk verschil komt vaak voor en het is niet doelmatig om voor elke situatie opnieuw grondwaterstromingsberekeningen te maken met een eindige elementen model (bijvoorbeeld DgFlow).

De realiteit is dat, met de nieuwe Sellmeijer rekenregel uit 2011 en gebruik van karakteristieke waarden, waterschappen een twee keer zo brede dijk moeten gaan beheren. Terwijl inzichten van heterogeniteit als sterkte parameter tot nog toe onderbelicht zijn gebleven. Dit vraagt nog meer dan "vroeger" om nadrukkelijke aandacht bij elk waterschap voor benodigde nauwkeurigheid in parameter bepaling. Anders is de Sellmeijer rekenregel de komende jaren als toets- en beheerinstrument niet goed bruikbaar. Daarnaast wordt een oproep gedaan om heterogeniteit als sterkteparameter serieus te onderzoeken.

5

Literatuur

Naar onderstaande bronnen is in de tekst verwezen met [lit. x].

nummer	bron
1	Proeftuin Mastenbroek, Ontwikkeling van meetmethode binnen POV Piping, Medusa 2015, project: 2014-P-481
2	Risico van piping, Historische informatie over het dijktracé IJssel ter hoogte van Polder Mastenbroek, Alterra-rapport (A. Corporaal, A.H.F. Stortelder), 2015
3	Verbetering IJsselbandijk tussen Zwolle en Wilsum, grondmechanisch onderzoek, Heidemij mei 1986, project: 634-43122-2
4	Onderzoeksrapport Zandmeevoerende Wellen, Deltares (i.o.v. RWS Waterdienst), maart 2012
5	Planstudie SNIP3 IJsseldelta-Zuid, Bypass Kampen, Fugro 22 maart 2010, opdracht nummer: 1709-0537
6	Geofysisch onderzoek Bypass Kampen, Archeo GT Frontline, 2010
7	Kanning, W. (2012). <i>The Weakest Link, Spatial Variability in the Piping Failure Mechanism of Dikes</i> , Delft University of Technology, the Netherlands, ISBN 978-94-6186-088-0.
8	Onderbouwing keuze zandmonsters proeftuin Veecaten / Mastenbroek, ARCADIS 2014

Bijlage 1

Voorbeeld bepaling d_{70}

De d_{70} waarde (70% zeefdoorgang) is bepaald uit de zandfractie en er is lineair geïnterpoleerd tussen de waarnemingen. De d_{70} van de zeefresultaten in onderstaande tabel bedraagt 403 μm , uitgaande van:

- grindfractie = 0,62 %;
- siltfractie = 2,25 %.

maaswijdte zeef [mm]	2	1	0,5	0,25	0,18	0,125	0,63
cumulatief monster [%]	99,38	97,33	85,83	45,55	24,52	8,84	2,25
op zeef [%]	0,62	2,05	11,5	40,28	21,03	15,68	6,59
zandfractie [%]		2,11	11,84	41,47	21,65	16,14	6,78
zandfractie cumulatief [%]		2,11	13,95	55,42	77,07	93,21	99,99 *

Tabel 8: Zeefresultaten voor rekenvoorbeeld d_{70} bepaling

* = fout door afronding = 0,01

Berekening:

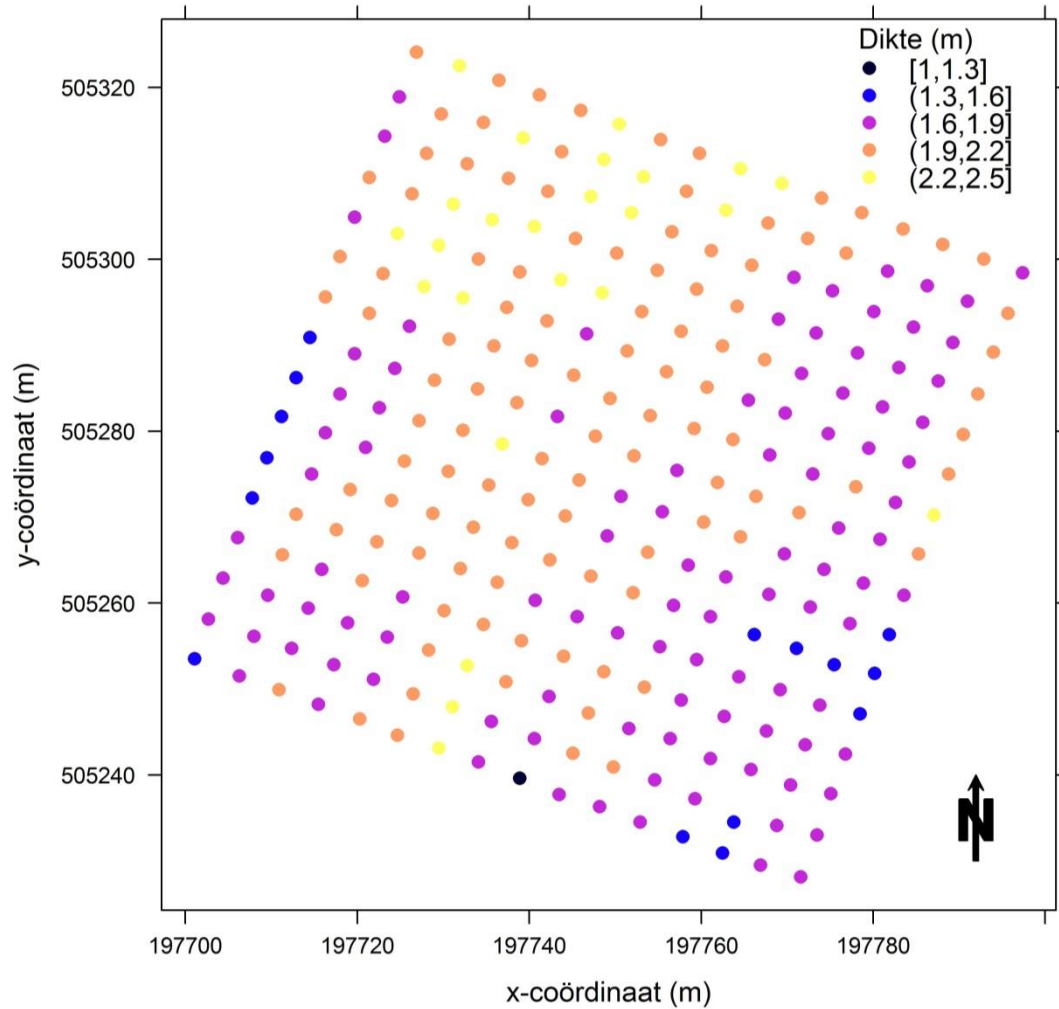
- zandfractie $11,5 / (100\% - 0,62\% - 2,25\%) = 11,84$ (op zeef 0,5 mm)
- zandfractie $40,28 / (100\% - 0,62\% - 2,25\%) = 41,47$ (op zeef 0,25 mm)
- $2,11 + 11,84 = 13,95$
- $2,11 + 11,84 + 41,47 = 55,42$
- $30 - 13,95 = 16,05$
- $16,05 / 41,47 = 0,387$
- $d_{70} = 0,5 \text{ mm} - 0,387 \times (0,5 - 0,25 \text{ mm}) = 0,403$

Bijlage 2 Locaties handboringen

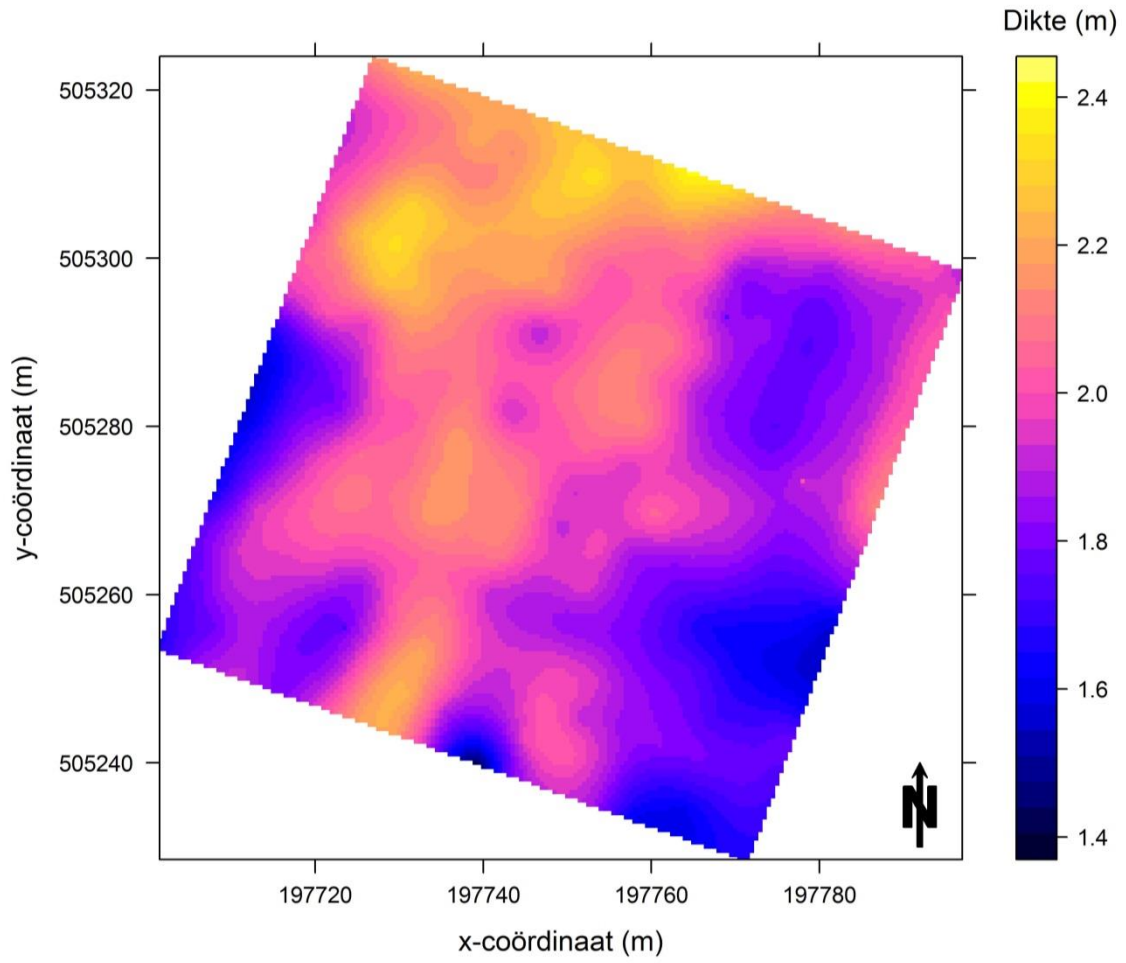


Bijlage 3 Figuren proeftuin

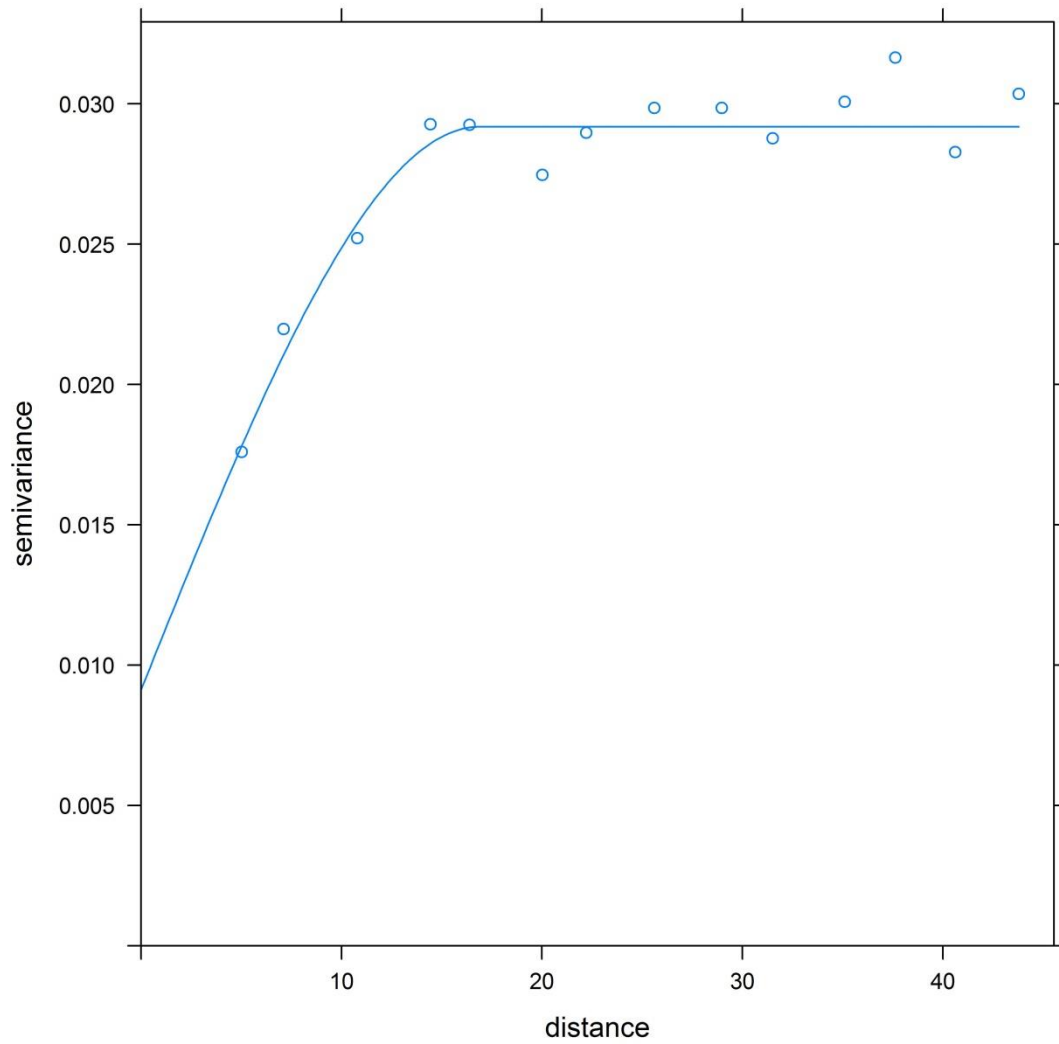
In deze bijlage zijn dezelfde figuren opgenomen als in de tekst, maar dan op een groter formaat. Tevens zijn ter informatie de semivariogrammen opgenomen.



Figuur 22: Gemeten waarden deklaagdikte

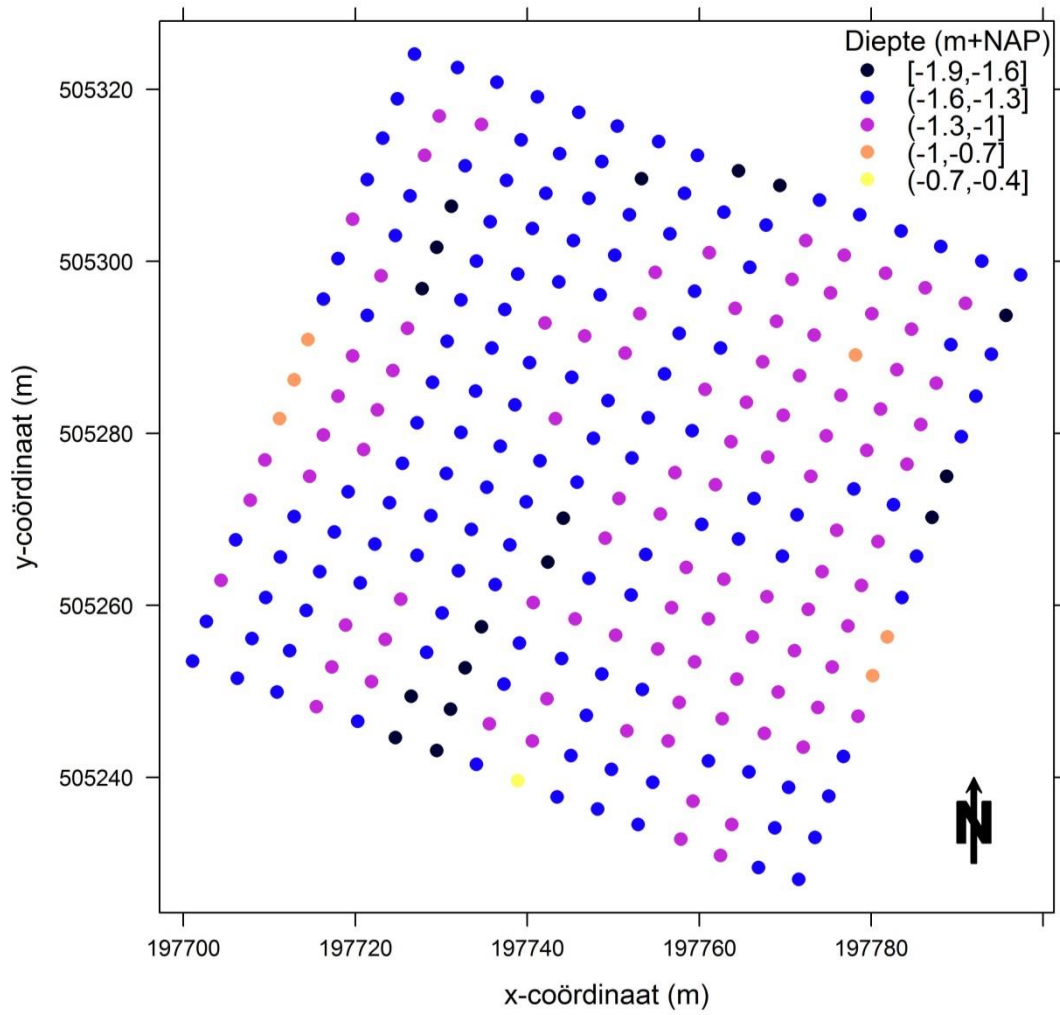


Figuur 23: Kriging interpolatie deklaagdikte

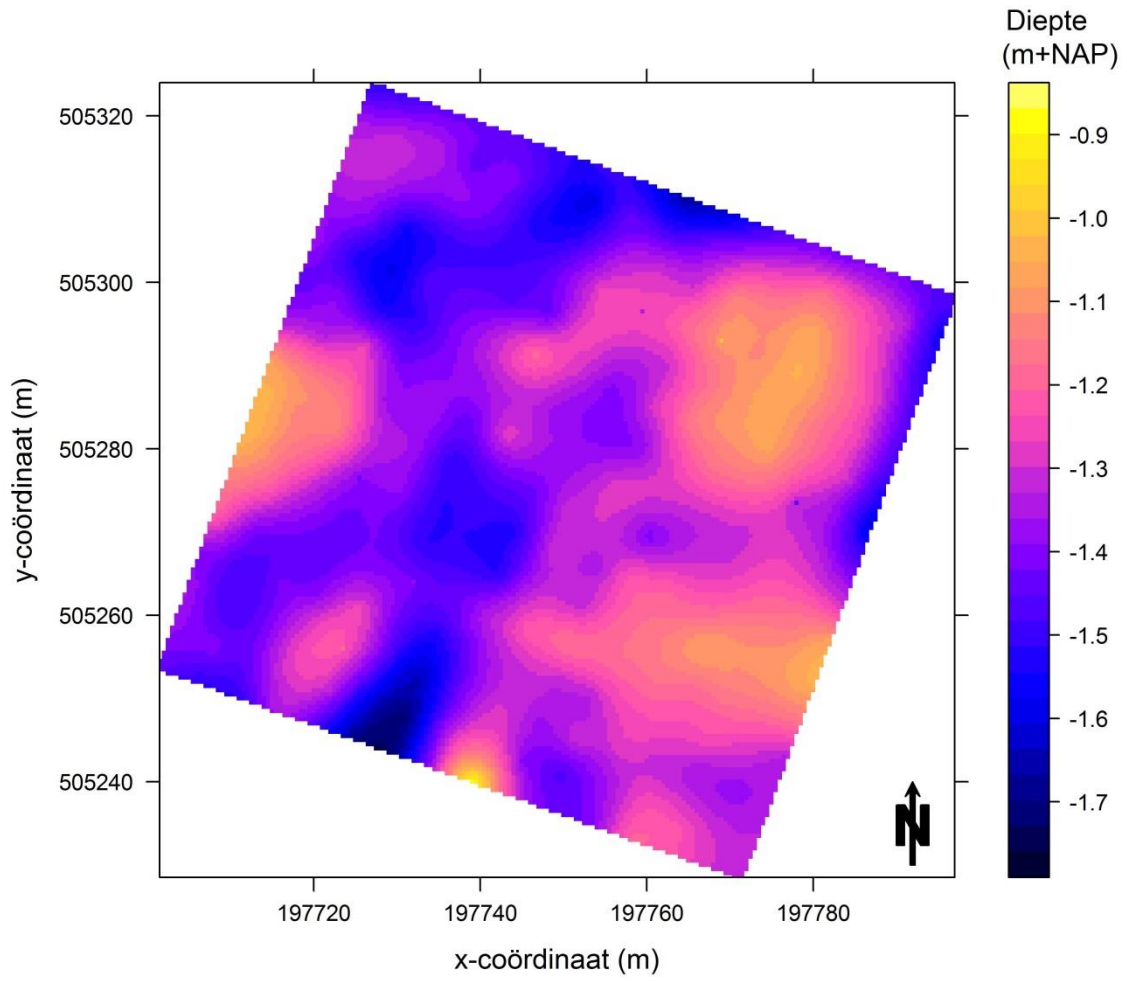


Figuur 24: Semivariogram deklaagdikte

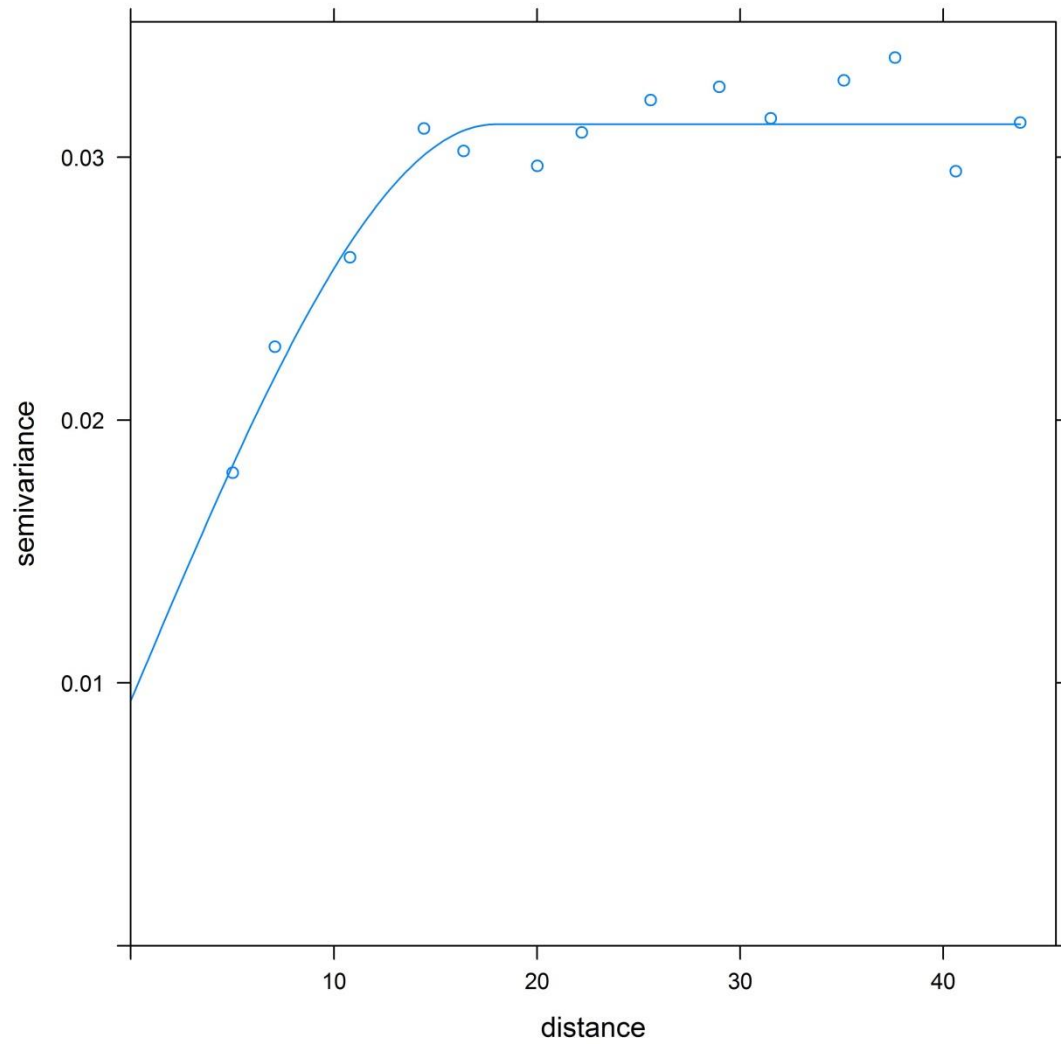
De wortel uit de semivariance (nugget) bedraagt $\pm 0,1$ m hetgeen duidt op een tamelijk kleine spreiding door natuurlijke variatie. Ter vergelijking: het gemiddelde bedraagt 2,0 m en de standaardafwijking is $\pm 0,2$ m.



Figuur 25: Gemeten waarden onderkant veen

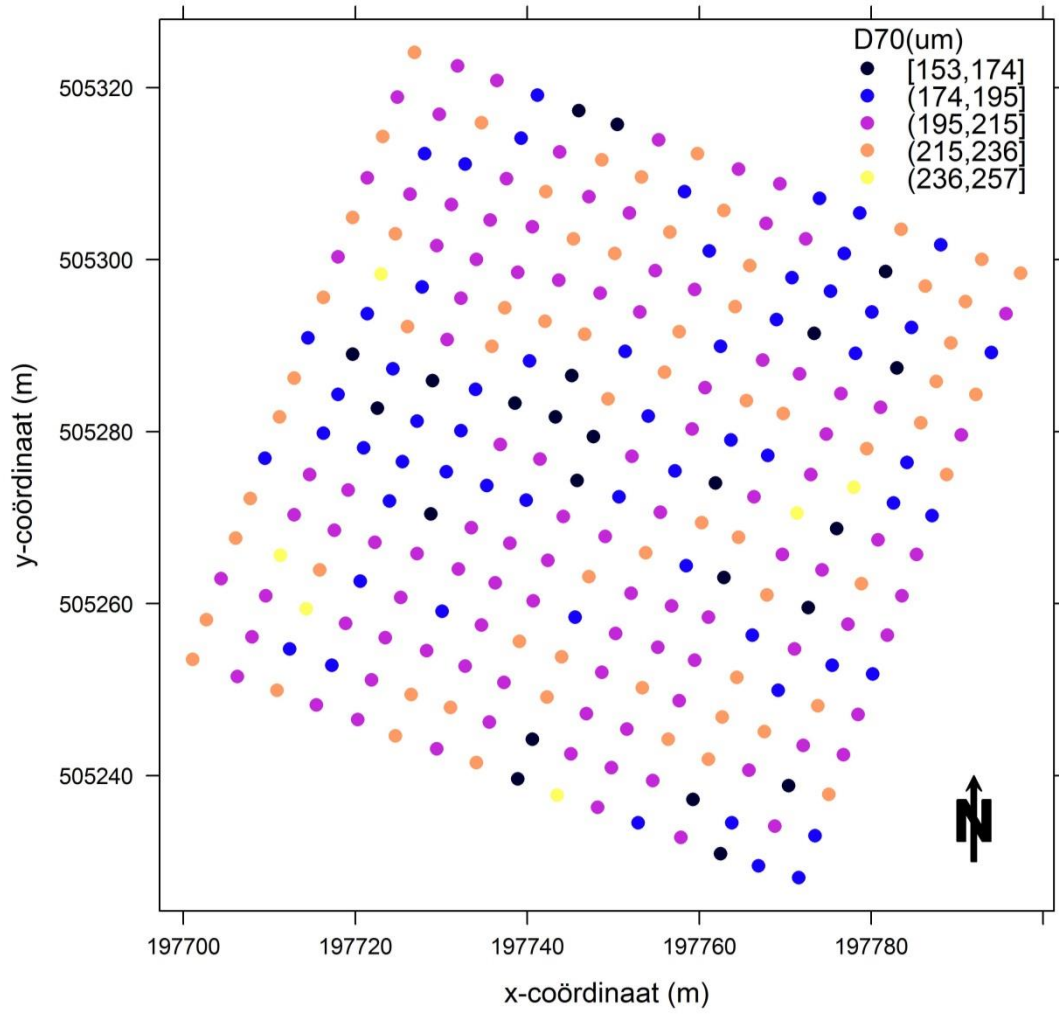


Figuur 26: Kriging interpolatie onderkant veen

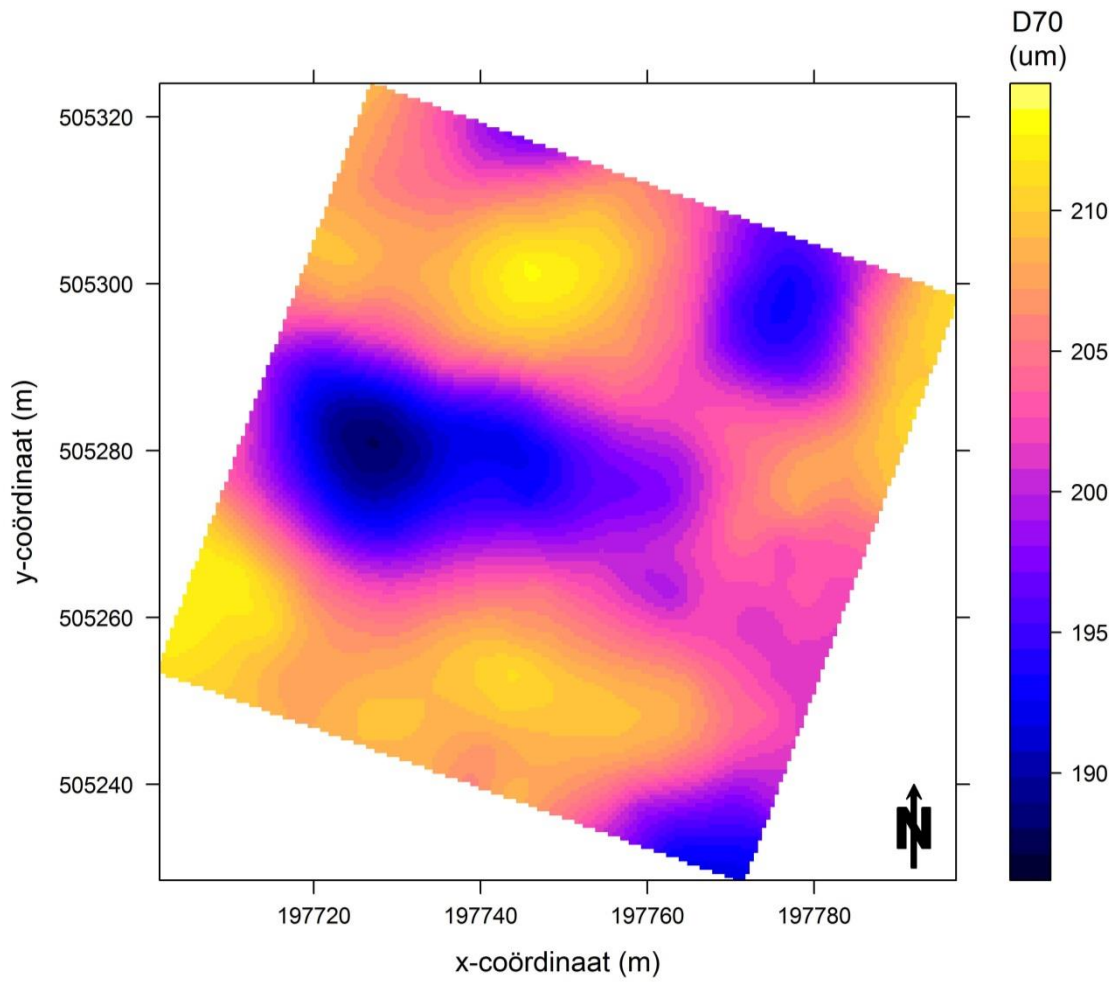


Figuur 27: Semivariogram onderkant veen

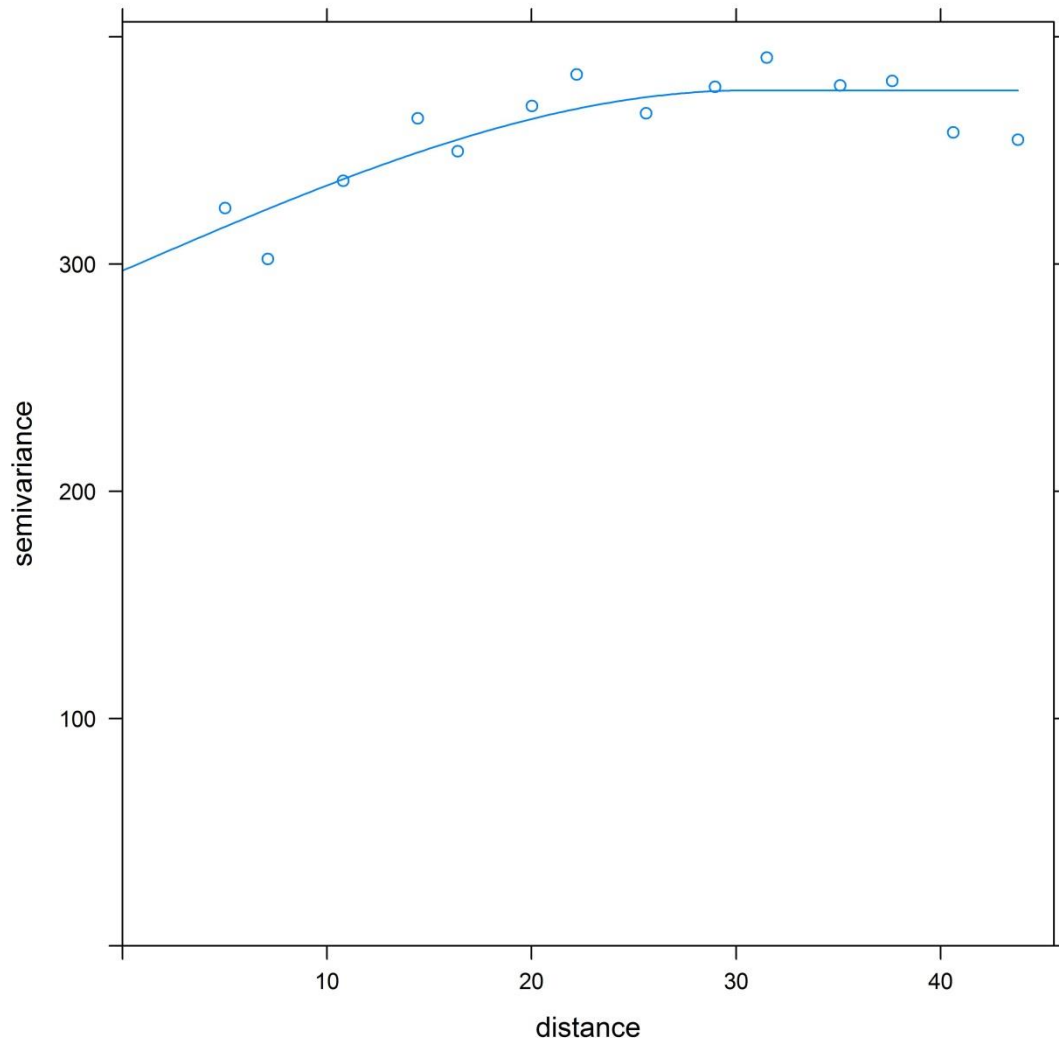
De wortel uit de semivariance (nugget) bedraagt $\pm 0,1$ m hetgeen duidt op een tamelijk kleine spreiding door natuurlijke variatie.



Figuur 28: Gemeten waarden d_{70}



Figuur 29: Kriging interpolatie d_{70}



Figuur 30: Semivariogram d_{70}

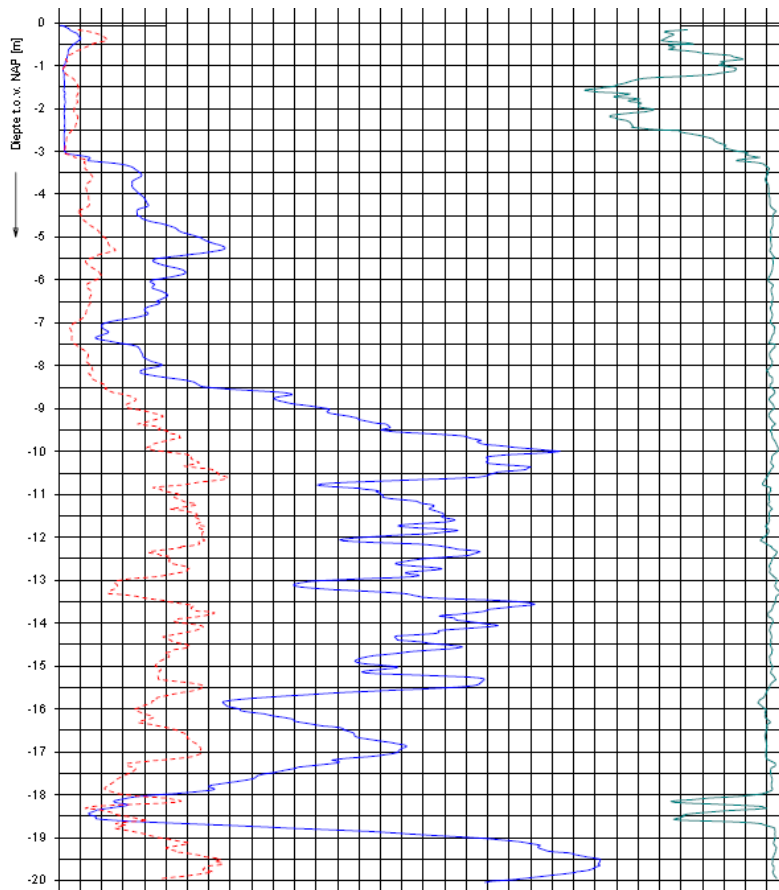
De wortel uit de semivariance (nugget) bedraagt $17 \mu\text{m}$ wat duidt op een tamelijk kleine spreiding door natuurlijke variatie. Ter vergelijking: het gemiddelde is $203 \mu\text{m}$ en de standaardafwijking bedraagt $18 \mu\text{m}$.

Bijlage 4 "Bypass Kampen" relevant grondonderzoek

Achtereenvolgens zijn in de kenmerkende sondering de volgende grondlagen aanwezig:

- NAP 0 m tot NAP -1 m: gerijpte klei (Holoceen);
- NAP -1 m tot NAP -2,5 m: veen (Holoceen);
- NAP -2,5 m tot NAP -3 m: klei (Holoceen);
- NAP -3 m tot NAP -8,5 m: fijn zand Formatie van Boxtel, laagpakket van Wierden;
- NAP -8,5 m tot einde: grof zand Formatie van Kreftenheye.

De formatie van Boxtel werd vroeger aangeduid als de Formatie van Twente. Uit totaal 126 zeefanalyses volgt dat de gemiddelde d_{50} circa 175 μm en de variatie coëfficiënt bedraagt 0,07.



Figuur 31: Kenmerkende sondering (7019) locatie hoogwatergeul "Bypass Kampen"



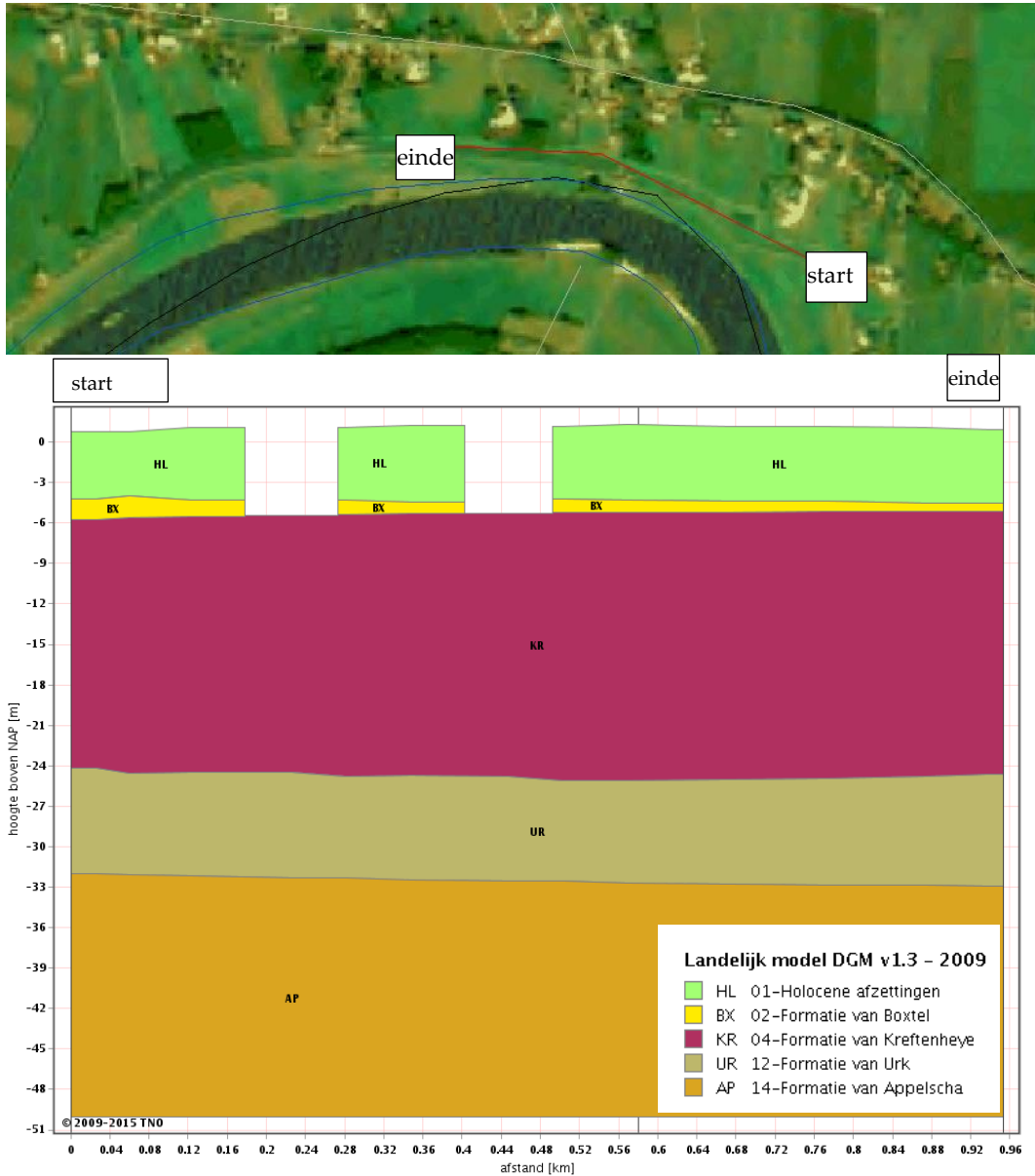
Figuur 34: Concentratie van aangetroffen Pleistoceen IJsselzand (groene stippen) in het oostelijk deel van het plangebied van de bypass

Voor de projectlocatie van de bypass is vastgesteld dat de dikte van het watervoerend pakket over het algemeen 35 m is. Lokaal is een scheidende laag aanwezig tussen vroeg en laat Pleistocene zanden van de Formatie van Kreftenheye en bedraagt de dikte van de eerste zandlaag 12,5 m. De scheidende laag betreft de Formatie van Twente, laagpakket van Zutphen (vroeger aangeduid als Eemklei).

De doorlatendheid van het zand behorende tot de Formatie van Kreftenheye bedraagt 35 m/dag en van het Boxtelzand circa 8 m/dag.

Bijlage 5 Gegevens Regis II

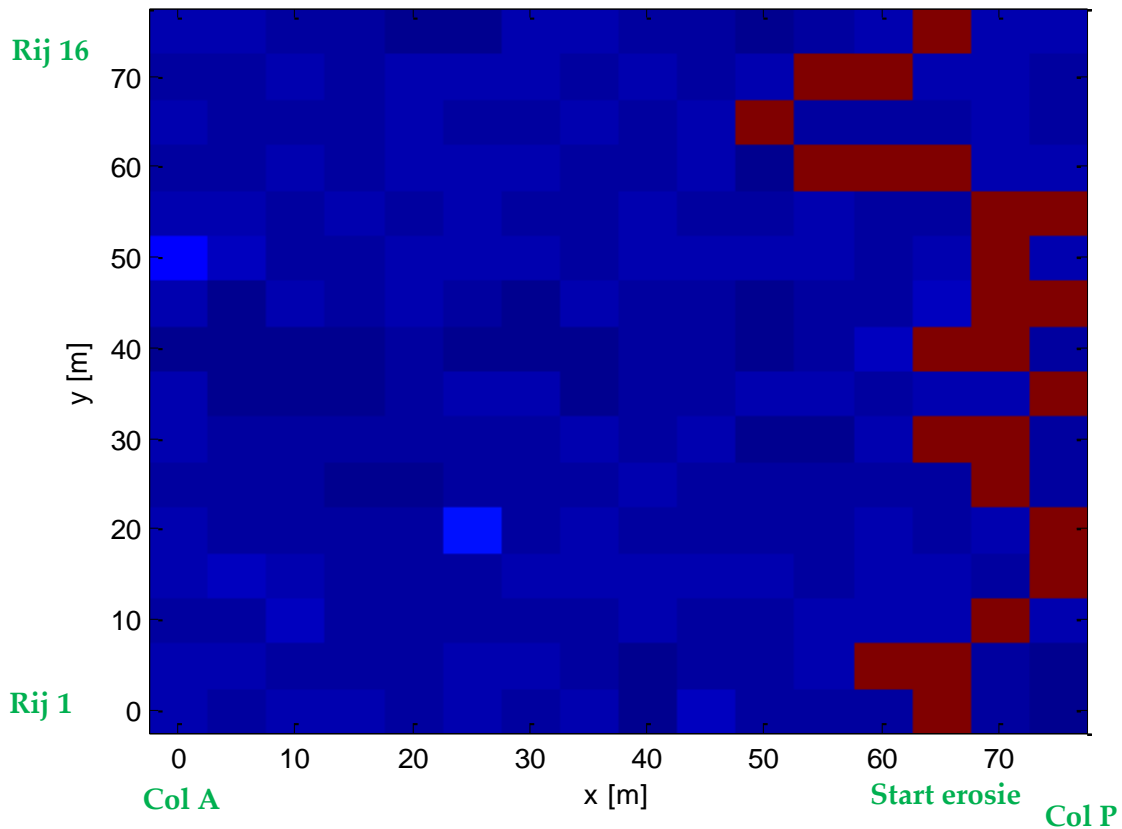
Bij de gegevens uit Regis II wordt opgemerkt dat in de proeftuin het Boxtel zand op NAP -1 m begint. Deze laag van fijn zand is derhalve meerdere meters dik. In plaats van enkele zoals de doorsnede doet vermoeden.



Figuur 35: Doorsnede ter plaatse van waterkering uit Regis II

Bijlage 6 Zwakste pad analyse

Uit de zwakste pad analyse (zie Figuur 36) blijkt dat de "sterkste korrel" in het zwakste pad een d_{70} waarde bezit van 216 μm .



Figuur 36: Zwakste pad in proeftuin Veecaten

Colofon

POV PIPING "PROEFTUIN MASTENBROEK" DUIDING PIPINGGEVOELIGHEID EN TOEPASBAARHEID REKENREGEL VAN SELLMEIJER 2011

OPDRACHTGEVER:

Waterschap Groot Salland

STATUS:

Definitief

AUTEUR:

Johannes de Groot
Rimmer Koopmans

GECONTROLEERD DOOR:

Wim Kanning (Deltares)

VRIJGEGEVEN DOOR:

Rimmer Koopmans

24 januari 2017

078366218:B

ARCADIS NEDERLAND BV

Het Rietveld 59a

Postbus 673

7300 AR Apeldoorn

Tel 055 5815 999

Fax 055 5815 599

www.arcadis.nl

Handelsregister 09036504

Colofon

POV PIPING "PROEFTUIN MASTENBROEK" - HOOFDRAPPORT INVLOED VAN "DIJCK GESGIEDENISCH", VOORLANDEN EN ZANDGROFHEID OP PIPING

OPDRACHTGEVER:

Waterschap Groot Salland

STATUS:

Definitief

AUTEUR:

Johannes de Groot
Rimmer Koopmans
Koos de Vries (Medusa)

GECONTROLEERD DOOR:

Marieke de Visser

VRIJGEGEVEN DOOR:

Rimmer Koopmans

24 januari 2017

078555849:B

ARCADIS NEDERLAND BV

Het Rietveld 59a

Postbus 673

7300 AR Apeldoorn

Tel 055 5815 999

Fax 055 5815 599

www.arcadis.nl

Handelsregister 09036504

©ARCADIS. Alle rechten voorbehouden. Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld, mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbenden niets uit dit document worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, digitale reproductie of anderszins.