

Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap

Catalogus Landschapsvormen

Eindrapport deel 1B

Gert Jan Baaijens
Peter van der Molen



Dienst Landelijk Gebied
Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

© 2011 Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Rapport nr. 2011/OBN147-1B-NZ
Den Haag, 2011

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het
Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap
onder vermelding van code 2011/OBN147-1B-NZ en het aantal exemplaren.

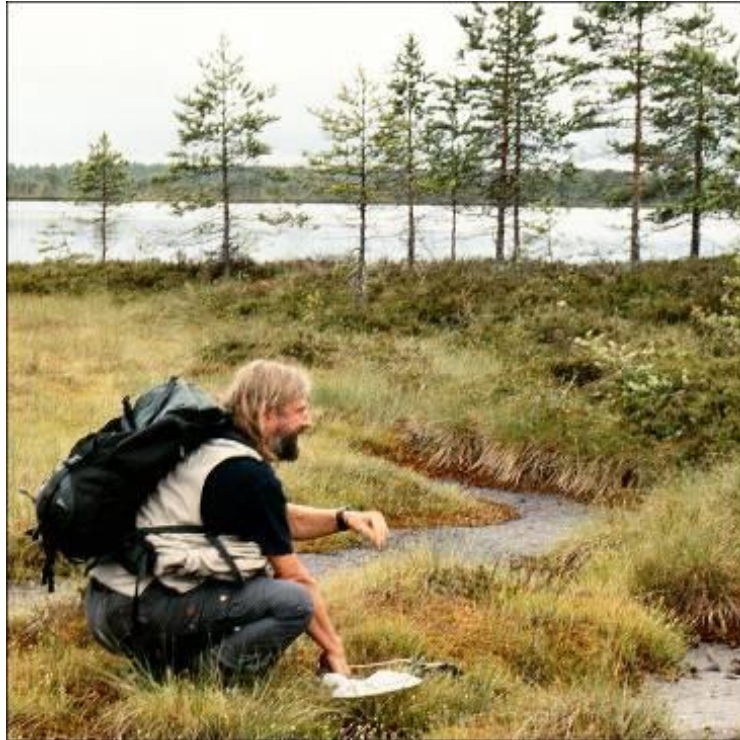
Oplage 150 exemplaren

Samenstelling G.J. Baaijens, P. van der Molen

Druk Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

Productie Bosschap, bedrijfsschap voor bos en natuur
Bezoekadres : Princenhof Park 9, Driebergen
Postadres : Postbus 65, 3970 AB Driebergen
Telefoon : 030 693 01 30
Fax : 030 693 36 21
E-mail : algemeen@bosschap.nl

Opgedragen aan Hans Esselink
(1955-2008)



Voorwoord

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (O+BN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor terreinbeheerders over natuurherstel, Natura 2000, leefgebiedenbenadering en ontwikkeling van nieuwe natuur.

Het onderzoek "Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap" is uitgevoerd in de Natura 2000 gebieden De Grootte Heide, Dwingelderveld, Haaksbergerveen en in de boswachterij Gieten. Er is vooral gekeken naar de habitattypen heideveentjes en aangetast hoogveen. Daarnaast zijn er tijdens het onderzoek ook veel met uitsterven bedreigde soorten aangetroffen.

Voor een verder en duurzaam herstel van deze gebieden, habitattypen en soorten is herstel op landschapsschaal noodzakelijk. Daarom wordt in dit onderzoek achtereenvolgens de volgende vier delen besproken:

- Deel 1A: landschapsecologische systeemanalyse (LESA)
- Deel 1B: verschillende landschapsvormen
- Deel 2: dynamiek van peilen en fluxen
- Deel 3: herkomst van kooldioxide (CO₂)
- Deel 4: betekenis van milieugradiënten en waardplantenkwaliteit voor fauna

Kortom, dit rapport biedt de natuurbeheerder een groot aantal handvatten om een goed beheerplan op te stellen. Daarnaast biedt het rapport een dieper inzicht in het functioneren van hoogveensystemen.

Drs. E.H.T.M. Nijpels
Voorzitter Bosschap

Inhoudsopgave

1	Het dekzandlandschap	15
2	Slingerende dekzandruggen	25
3	Dekzandvormen bij breuken	46
4	Kwelvensters	50
5	Geïsoleerde kwelkoppen	93
6	Deltavormen	100
7	Meerbodems	104
8	Terugschrijdende erosie	112
9	Beekdalen en bevoeiingsstelsels	115
10	Fossiele beekstelsels	150
11	Huidige riviersystemen	155
12	De zee	161
13	Wijstgronden	168
14	Flutings	176
15	Literatuur	183

Deelrapporten

De volgende andere deelrapporten zijn verschenen over de resultaten van het OBN-onderzoek 'Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap':

Deelrapport 1A: Landschapsanalyse

Gert Jan Baaijens, Peter van der Molen & Ab Grootjans

Deelrapport 1B: Catalogus Landschapsvormen

Gert Jan Baaijens & Peter van der Molen

Deelrapport 2: Over de dynamiek van peilen en fluxen in vennen en veentjes

Jos von Asmuth, Ab Grootjans & Sake van der Schaaf

Deelrapport 3: Herkomst van CO₂ voor hoogveengroei en basenverzadiging in hoogveentjes

Hilde Tomassen, Ab Grootjans & Fons Smolders

Deelrapport 4: Betekenis van milieugradiënten en waardplantenkwaliteit voor herstel van de fauna van het natte zandlandschap

Gert-Jan van Duinen, Hein van Kleef, Michiel Wallis de Vries & Arnold van den Burg

1 Het dekzandlandschap

1.1 Landschapsanalyse

Bij de landschapsecologische systeemanalyse wordt een onderzoeksgebied in haar landschappelijke context geplaatst. Daarbij wordt gewerkt van groot naar klein, van oud naar jong en van buiten naar binnen:

- Van groot naar klein: Met behulp van geologische, geomorfologische en bodemkaarten en met behulp van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) en veldonderzoek, worden de grenzen van de verschillende systemen bepaald waarbinnen het onderzoeksgebied zich bevindt. Deze gecombineerde analyse van landschapsvormen is reeds meerdere malen uiterst succesvol gebleken en werpt veelal nieuw licht op het ecohydrologisch functioneren van een gebied. Ook de water- en bodemkwaliteiten komen nadrukkelijk aan de orde.
- Van oud naar jong: Voor een gebied wordt de gehele ontwikkelingsgang vanaf de laatste ijstijd tot en met de recente ingrepen in beeld gebracht. Daarbij wordt o.a. gebruik gemaakt van historische kaarten en luchtfoto's, en anekdotisch materiaal. Op deze wijze wordt duidelijk hoe het gebied is ontstaan en op welke wijze de mens heeft ingespeeld op het ecohydrologische systeem. Met name de oude landbouwpraktijken sloten goed aan op het aanwezige systeem, en het ontrafelen van deze gebruiksgeschiedenis kan belangrijke inzichten opleveren in het functioneren daarvan, alsmede het formuleren van duurzame beheer-, herstel- en ontwikkelingsmaatregelen.
- Van buiten naar binnen: Het onderzoeksgebied staat op verschillende manieren in relatie tot de omgeving: de abiotische relaties zijn bij de bovenstaande invalshoeken aan de orde gekomen, maar ook de biotische relaties moeten in beeld worden gebracht. Daarbij geven verspreidingspatronen van planten- en diersoorten en vegetaties aanwijzingen over het grotere achterliggende systeem.

Voor de uitvoering van een landschapsecologische systeemanalyse is het essentieel dat belangrijke landschapsvormen worden herkend en er inzicht is in de ecologie. Daarom wordt eerst een inleiding gegeven op de ecologie en belangrijke landschapsvormen van het dekzandlandschap. De daarop volgende paragrafen behandelen de landschapsecologie van de vier geselecteerde terreinen: de Boswachterij Gieten, het Dwingelderveld, het Haaksbergerveen en de Ronde Flaas op de Groote Heide. In dit rapport zijn voor elk van deze terreinen verschillende soorten kaarten weergegeven, gevolgd door resultaten van veldwerk en een beknopte landschapsecologische beschouwing. Het geheel wordt afgesloten door een korte beschouwing over het uitvoeren van een landschapsecologische analyse. Daarbij zijn ook enkele vuistregels aangegeven, gebaseerd op decennia van praktijkervaring in landschapsecologisch onderzoek.

1.2 Wordingsgeschiedenis als sleutel

De sleutel voor het begrip van een landschap ligt in de opbouw van de ondergrond. Het is daarom bij een gebiedsanalyse van groot belang om de wordingsgeschiedenis te volgen, dus van geologie en geomorfologie naar bodem en water, en vandaar naar vegetatie en menselijke invloed.

Nederland ligt in het hart van een vroegere poolwoestijn, die tijdens de laatste IJstijd een gebied omvatte van de Doggersbank tot in het Nauw van Calais en van de Ierse Zee tot aan Berlijn. Dit landschapstype kent in deze omvang geen hedendaags equivalent. Het grootste deel van de tijd heersten er zandverstuivingen en een permanent, zij het niet overal, bevroren ondergrond. De dikte van de bevroren laag varieerde daarbij van ca 15 m in Drenthe tot ca 2 m in Noord-Brabant (Berendsen 1997). Dat karakter bepaalde veel van de terreinkenmerken van het hoge deel van ons land, het zogenaamde dekzandlandschap¹, samen met enkele sporen van de voorlaatste IJstijd, in de vorm van stuwwallen, erosiegeulen en rechte ruggen zoals de Hondsrug. Ook tektonische activiteit liet sporen achter. Grote delen van het dekzandlandschap zijn nu verdrongen en in het lage deel van Nederland is het begraven onder zand, klei en veen. Aard en plaats van die jongere afzettingen zijn overigens verregaand beïnvloed door dat verdrongen dekzandlandschap, met name door de hydrologische eigenschappen daarvan.

Vanuit de landschapsvormen die ons resteren vanuit die tijd, kunnen we afleiden wat de principes achter hun ontstaansvorm moeten zijn geweest. De wind heeft als eerste de fijnste fractie van het bodemmateriaal weggeblazen. Vanuit de poolwoestijn verwaaiden enorme hoeveelheden materiaal. Vele duizenden kubieke kilometers daarvan belandden als löss in zuidelijker en oostelijker streken. Grovere fracties konden zich soms salterend verplaatsen, maar de grofste fractie: grove grinden en keien konden niet stuiven, en zodoende zullen er hoge plaatsen aanwezig zijn gebleven waar, gedurende de warmere perioden in het jaar, neerslagwater kon infiltreren. Waar dat water weer uittrad heersten dus vochtige bodemcondities.

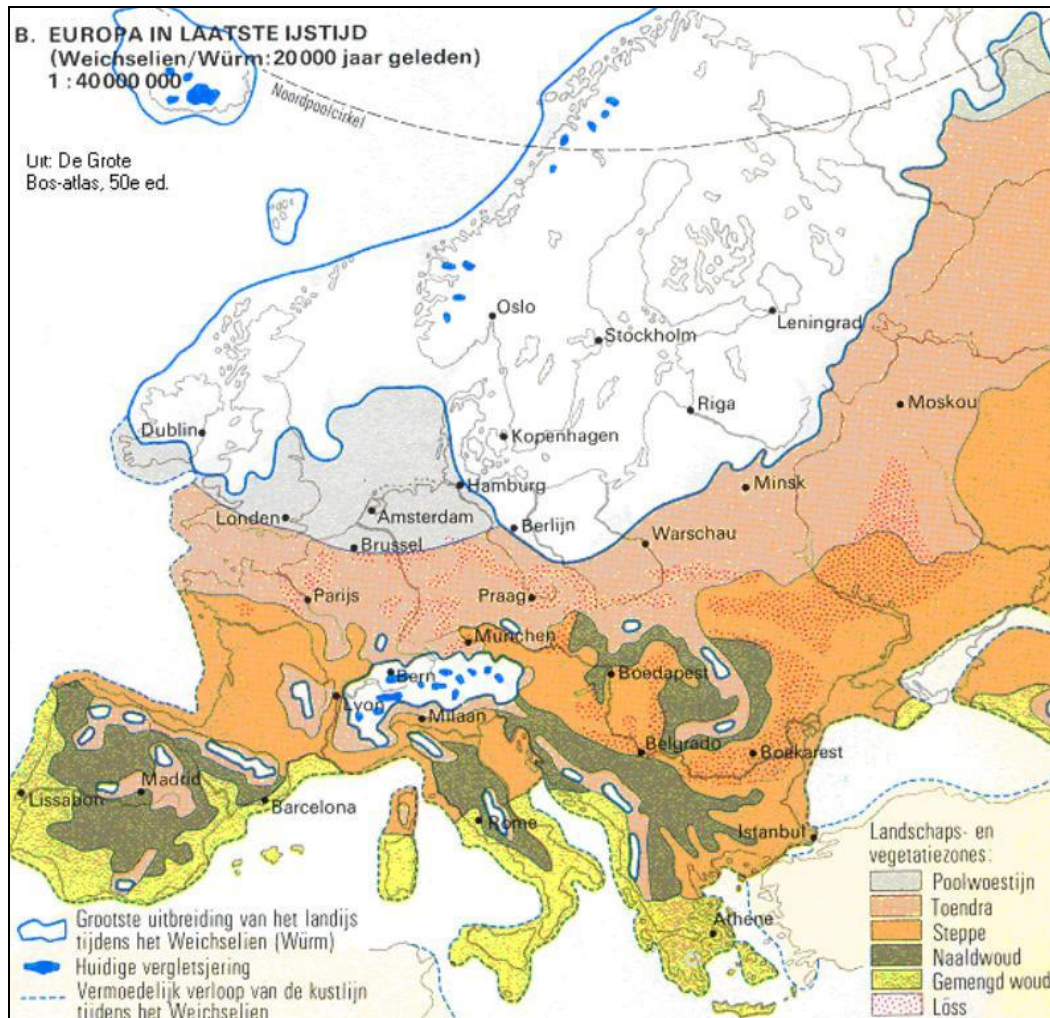
In deze beschouwing gaan wij er van uit dat op deze plaatsen structuren zich konden handhaven of dat zand zelfs werd ingevangen. Vanuit dit basisprincipe verklaren wij de vorm en het landschapsecologische functioneren van veel dekzandvormen. Het principe van zandinvang kunnen we heden ten dage op onze kuststranden nog goed waarnemen. Waar zand werd ingevangen raakten de bronnen verstopt. Hierdoor moet het water een andere uitweg zoeken. Mocht het op haar weg obstakels ontmoeten -bijvoorbeeld weerstand biedende leemlagen- dan bouwt zich druk op in het systeem, waardoor water elders uittreedt of stagneert.

¹ Dat draagt die naam omdat het als een deken, in dikte variërend van enkele cm's tot ca 15 m, oudere afzettingen bedekt.



Figuur 1. Zandstorm uit de lucht (Bron: www.hln.be)

Op plekken waar grondwater infiltreerde kon afstuiving plaatsvinden, tot op het niveau waarop het zand door het water werd vastgehouden. Omgekeerd: op plekken waar water uittrad kon zand opstuiven tot de maximale capillaire stijghoogte was bereikt. Dat hangt dus af van de mate van voeding: hoe sterker de kweldruk, des te hoger het zand kon opstuiven. Het gevolg is dat het landschap in een dergelijke poolwoestijn middels haar patroon van zandafzettingen, dus verschillen in grondwaterstanden en capillaire stijghoogten zal laten zien. Hiermee lezen we achteraf dus 'terug' wat het patroon van infiltratie en kwel was, door het beeld als het ware 'om te keren'. Alleen hoogten die door aanwezigheid van grof materiaal minder geërodeerd waren en bijvoorbeeld de resten van stuwwallen e.d., staken daar als drogere plekken boven uit. Na het stijgen van de grondwaterstanden na de IJstijd ontstond in de natter wordende laagten op grote schaal veen.

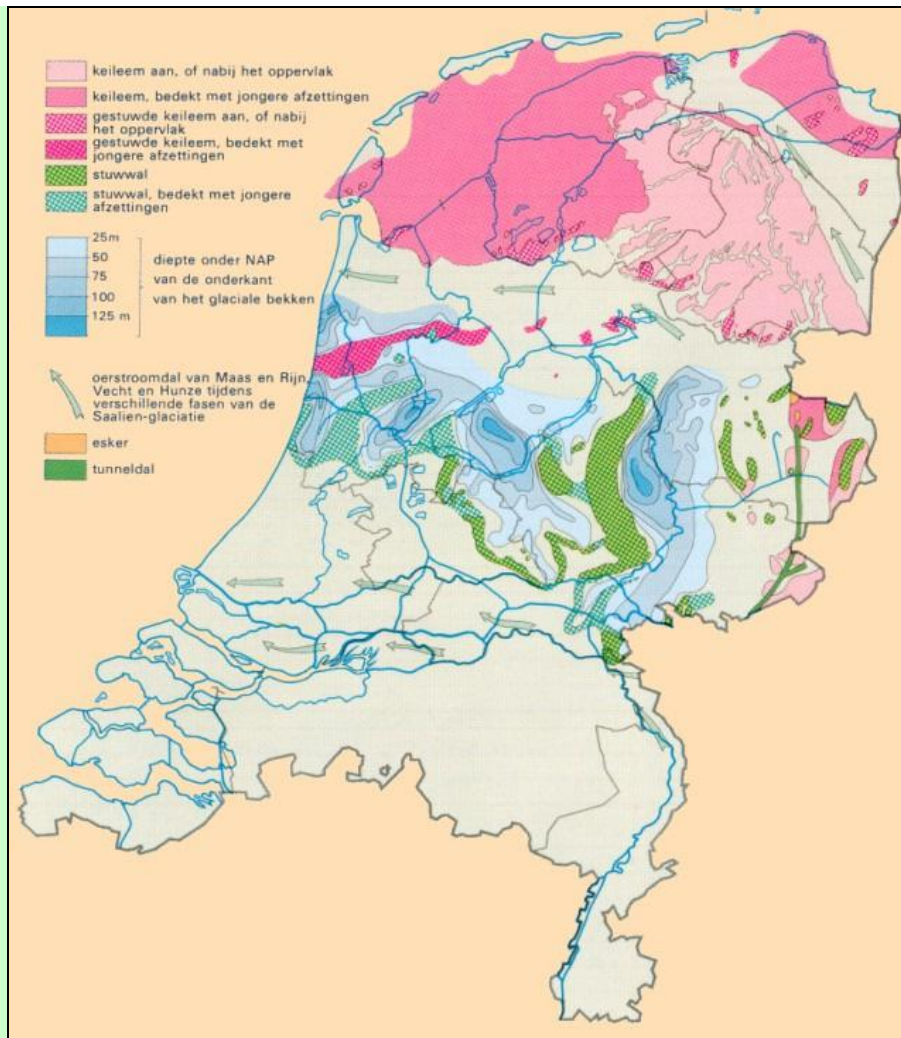


Figuur 2. Ontleend aan *Bosatlas*, 50^e ed. De lössvoorkomens laten zien tot welke afstanden door de wind getransporteerd sediment elders in Europa werd afgezet.

Er zijn in die koudere tijden duizenden kubieke kilometers grond uit die poolwoestijn verstoven en in soms tientallen meters dikke lagen als löss afgezet, tot in Midden-Rusland toe. Wat hier achterbleef was een grote verscheidenheid aan oppervlakkige vormen, die –zoals beschreven- goeddeels op de interactie tussen wind, zand en water zijn te herleiden. In een rapport over de waterhuishouding van Noord-Brabant is een aantal vormen van het dekzandlandschap beschreven (Baaijens en van der Molen 2004). Een tweetal ervan: slingerende dekzandruggen en ronde kwelvensters, komen we veelvuldig in andere delen van het land tegen. Deze beide structuren zullen we hierna kort bespreken, omdat ze van belang zijn bij het begrijpen van het ontstaan van onze huidige heideventjes.

INTERMEZZO: overzicht belangrijkste landschapsvormen

1. Esker: of smeltwaterrug is een heuvel in het landschap, die is veroorzaakt door smeltwater onder een ijskap. Deze heuvel bestaat uit glaciofluviaal sediment (zand vermengd met grind en keien die klein genoeg waren om door het water te worden meegenomen) wat is achtergelaten in de bedding van de smeltwaterstroom. Eskers kunnen honderden kilometers lang zijn en tientallen meters hoog, volgen de richting van de ijslaag en hebben een slingerend verloop.
2. Sandr: of spoelzandwaaiers zijn te vinden aan de buitenkant van stuwwallen. Het smeltwater stroomt voor de gletsjer van de stuwwallen af, hierbij neemt het water materiaal van deze wal mee naar beneden. Beneden aan de gletsjer neemt de bewegingskracht af en worden het materiaal afgezet. Hoog op de stuwwal zijn de spoelzandwaaiers smal, aan de voet van de stuwwal lopen ze breed uit. Als je een dwarsdoorsnede van een spoelzandwaaier zou maken, zou je lagen zien van zand en grind die bijna horizontaal zijn afgezet. Deze lagen hebben een heel kleine hellingshoek.
3. Drumlin: langgerekte heuvel die gevormd werd door een gletsjer. De lange as van de drumlin is parallel met de richting van de stroming van het ijs, de stompe kant wijst in de richting van waar het ijs kwam. Drumlins kunnen tot meer dan 50 m hoog zijn en tot een kilometer lang. Vaak komen ze voor in groepen van gelijkvormige, even grote en in dezelfde richting georiënteerde heuvels. De in het noorden van ons land voorkomende stuwwallen zijn als drumlinoid beschreven, omdat ze uiteindelijk door landijs overreden en vervormd zijn.
4. Kame: kame-terrassen vormen een tussenliggend niveau tussen een hoge stuwwal en het laaggelegen glaciële bekken. Ze bestaan uit grind, zand en leem, zijn ongeveer tweehonderd meter breed en volgen de ligging van de stuwwal. De terrassen zelf hebben vaak een pokdalig oppervlak. Er liggen hoge heuvels en diepe dalen op.
5. Morene: Grondmorenes bestaan uit keileem, een ongesorteerd mengsel van klei, leem, zand en grotere keien. Ze worden aan de onderkant van ijskappen of gletsjers gevormd en hebben daarom dezelfde tongvorm als de gletsjer zelf. Bijna overal waar gletsjers zijn geweest, blijft keileem achter. De kleur van grondmorenes kan donkergrijs of lichtgrijs zijn, afhankelijk van de samenstelling van het materiaal. Ook rode keileem komt voor; in dat geval bevat het geoxideerd ijzer. Soms resteert slechts een grof restant van keien en grof zand; men spreekt dan van keizand.
6. Glaciële bekkens: dit zijn een soort kommen in het landschap, omgeven door stuwwallen. Het materiaal uit de bekkens is opgeduwd tot stuwwal. De bekkens hebben een langgerekte vorm en kunnen tientallen kilometers breed zijn en tot 125 meter diep. Op de bodem van de bekkens ligt plaatselijk een laag keileem, afgezet door het ijs dat de bekkens vormde. Na terugtrekking van het ijs zijn de bekkens opgevuld met klei, zand en grind dat van de stuwwallen afspoelde of in het ijs was meegevoerd.

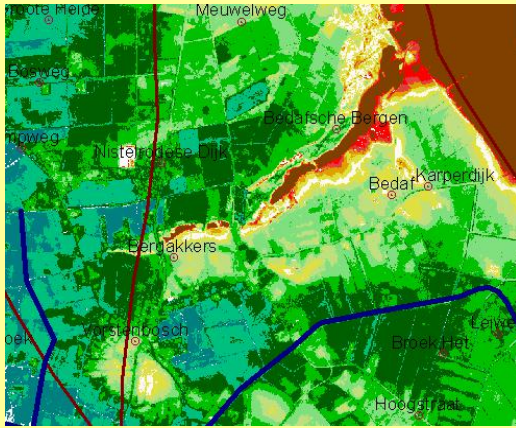
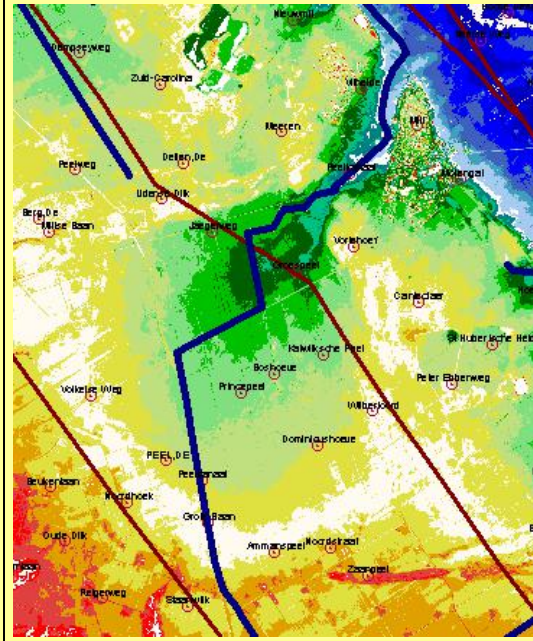
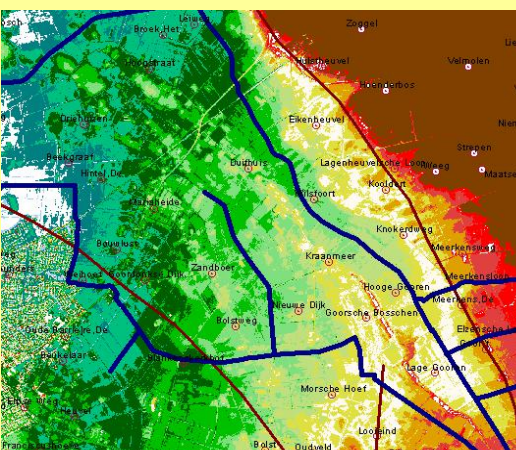
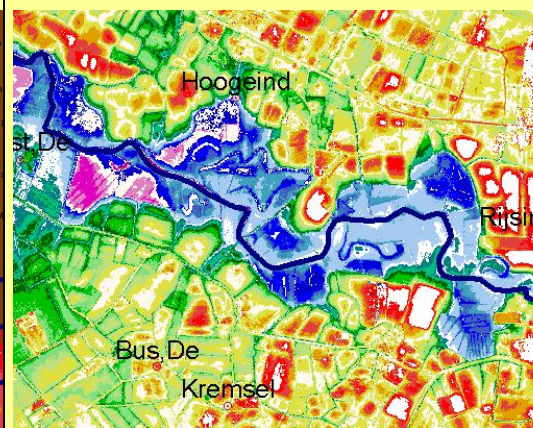


Figuur 3. Glaciële landvormen in Nederland (Bron: www.geologievannederland.nl en www.wikipedia.nl).

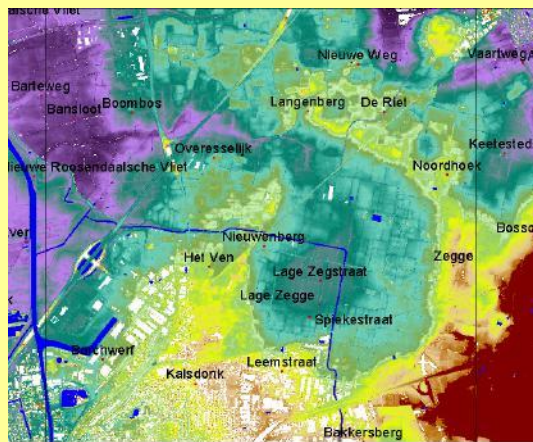
7. **Tunneldal:** Een tunneldal is een grootschalig smeltwaterdal, dat in bedrock of sediment ingesneden is. Tunneldalen kunnen alleen of in anastomoserende of dendritische systemen voorkomen. Ze worden aangetroffen in gebieden die gedurende het Pleistoceen met ijs bedekt zijn geweest. Tunneldalen zijn vaak geheel of gedeeltelijk opgevuld met sediment, dit kan glaciaal, glaciofluviaal, glaciolacustrien, glaciomarien of enig ander sediment betreffen. In het geval dat het dal geheel is opgevuld, is het mogelijk dat er aan de oppervlakte geen duidelijke landschapskenmerken zichtbaar zijn.
8. **Droge dalen:** Droge dalen zijn dalen waarin vandaag de dag geen beek of rivier stroomt, of ten hoogste een 'te kleine beek' voor de grootte van het dal. Ze zijn bijvoorbeeld te vinden op de stuwwallen en op de heuvels in Zuid-Limburg. Deze dalen zijn ontstaan tijdens de ijstijden. Smeltwater kon niet in de bodem wegzinken en nam bij het wegspoelen grond mee. Vandaag de dag trekt neerslag gewoon de grond in en hebben de dalen geen waterafvoerende functie meer; vandaar de term droge dalen of droogdalen.

Bronnen: www.geologievannederland.nl en www.wikipedia.nl

1.3 Overzicht landschapsvormen

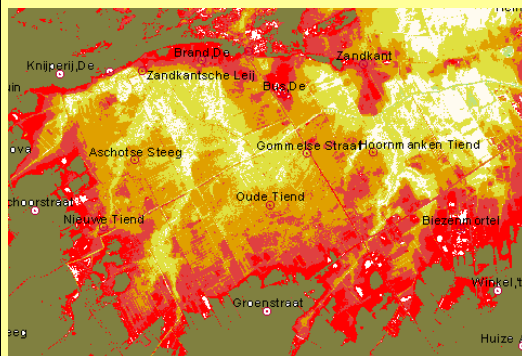
<p>Kronkelige dekzandruggen</p>  <p>Kronkelige dekzandruggen die vaak van breed naar smal verlopen. Vaak meerdere kilometers lang.</p>	<p>Terugschrijdende erosie</p>  <p>Ronde tot halfronde structuren zoals aan de Peulhorst. Grootte variërend <1 tot 8 km. Deze structuren hebben geen ringwal, maar een vloeiende overgang naar het omringende landschap.</p>
<p>Dekzandruggen op breuken</p>  <p>Lange dekzandruggen die een min of meer recht, of zwak gebogen verloop hebben. Deze ruggen zijn meerdere kilometers (< 10) lang</p>	<p>Beekdalen</p>  <p>Lage delen tussen dekzandcomplexen in, met beken die veelal van dekzandkop naar dekzandkop springen. Vaak aangevuld met laken en stuwkolken vormen ze bevoeiingsstelsels voor het opzetten en aflaten van water</p>

Kwelkraters



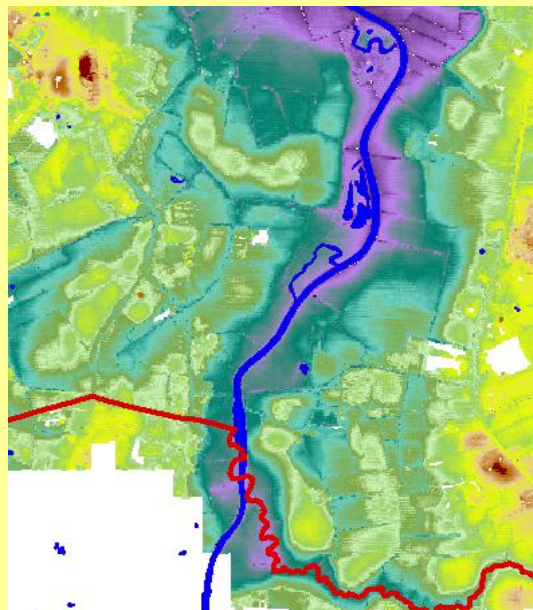
Ronde vormen in het landschap, variërend in grootte van <1 tot >20 km doorsnede. Veelal met één langere arm en met een ringwal. Eventueel kan deze ringwal later verstoven zijn, of is het centrum in een later stadium na hervatting hoog opgestoven.

Fossiele stelsels



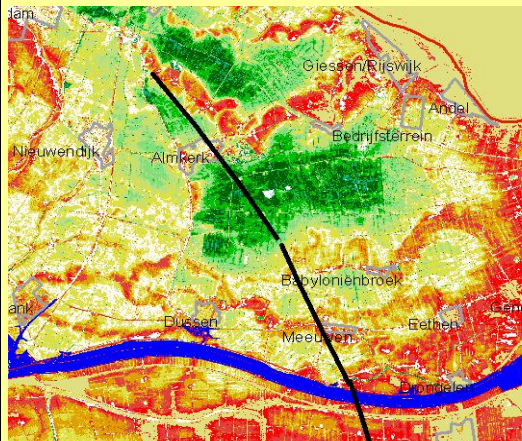
Fossiele beekstelsels die plotseling verdroogt zijn en in hun stervensfase bedekt zijn met een dun laagje klei. Hierdoor zijn ze later niet verstoven.

Kwelkoppen

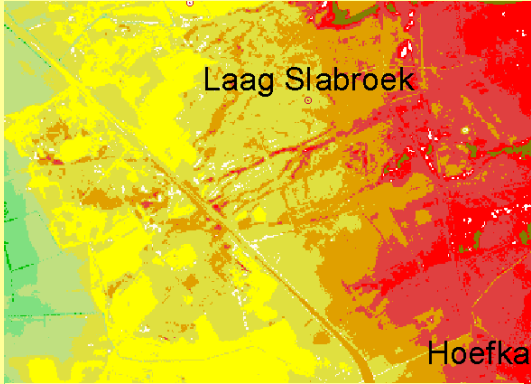
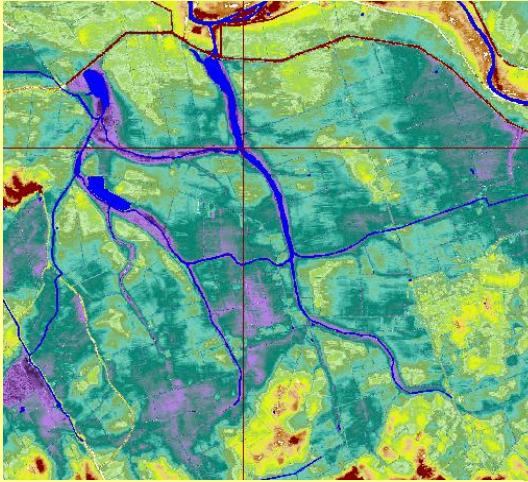
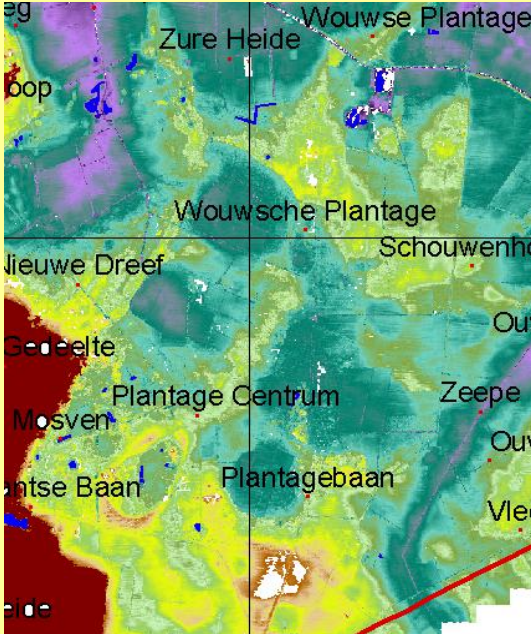
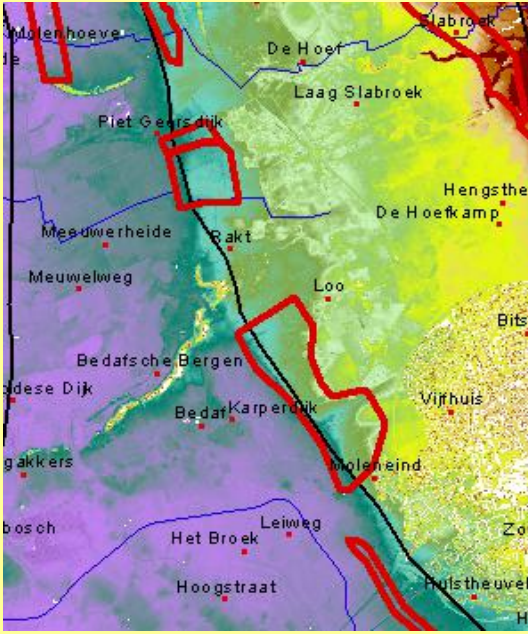


Kwelkoppen zijn tamelijk geïsoleerde hoog opgestoven punten in het landschap. De grootte kan variëren van enkele tientallen meters tot meerdere kilometers zoals bij Liempde. In beekdalen werden ze benut om kalkrijk kwelwater uit af te tappen. Soms gebeurde dat spontaan, zoals de Welberg bij Steenberg.

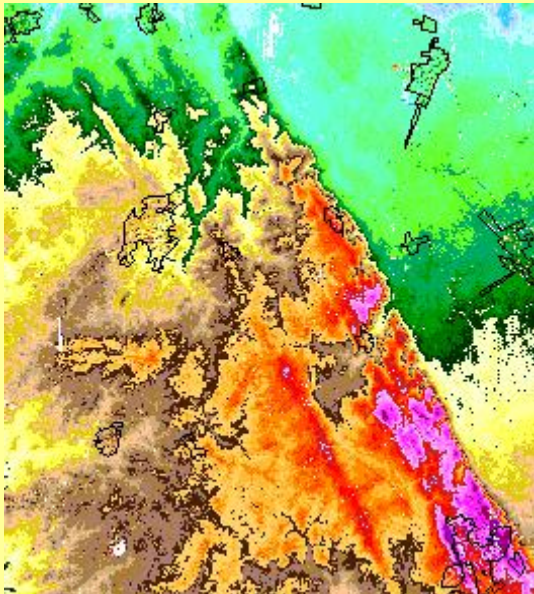
Huidige riviersystemen



Stroomruggen en komgronden vormen de begeleiding van de fossiele en huidige riviersystemen. Met name in het westen van Brabant zijn het contactzones door de klei heen met de zandige ondergrond.

<p>Deltavormen</p>  <p>Op verschillende punten in Brabant, waar sterke contourverschillen aanwezig zijn, vinden we deltavormingen. Ze onderscheiden zich van meanderende dekzandruggen doordat het vaak waaiers zijn vanuit één punt.</p>	<p>De Zee</p>  <p>In het westen van Brabant zijn eb- en vloedscharen en fossiele kreeksystemen goed te zien. Het landschap kent daarnaast kleine zandopduikingen die als kwelkop door de kleilagen heen contact hebben met de zandige ondergrond.</p>
<p>Meerbodems</p>  <p>Patronen van meerdere ronde depressies vlak naast een fossiel stromingsstelsel. De depressies zijn nu uitgeveend en hun oorspronkelijke ronde vorm is goed zichtbaar.</p>	<p>Wijstgronden</p>  <p>Wijstgronden zijn vanaf de hoogtekarten en luchtfoto's niet eenvoudig op te sporen. De weergegeven verspreiding is afkomstig van veldwerk door Waterschap Aa en Maas en Staatsbosbeheer.</p>

Flutings



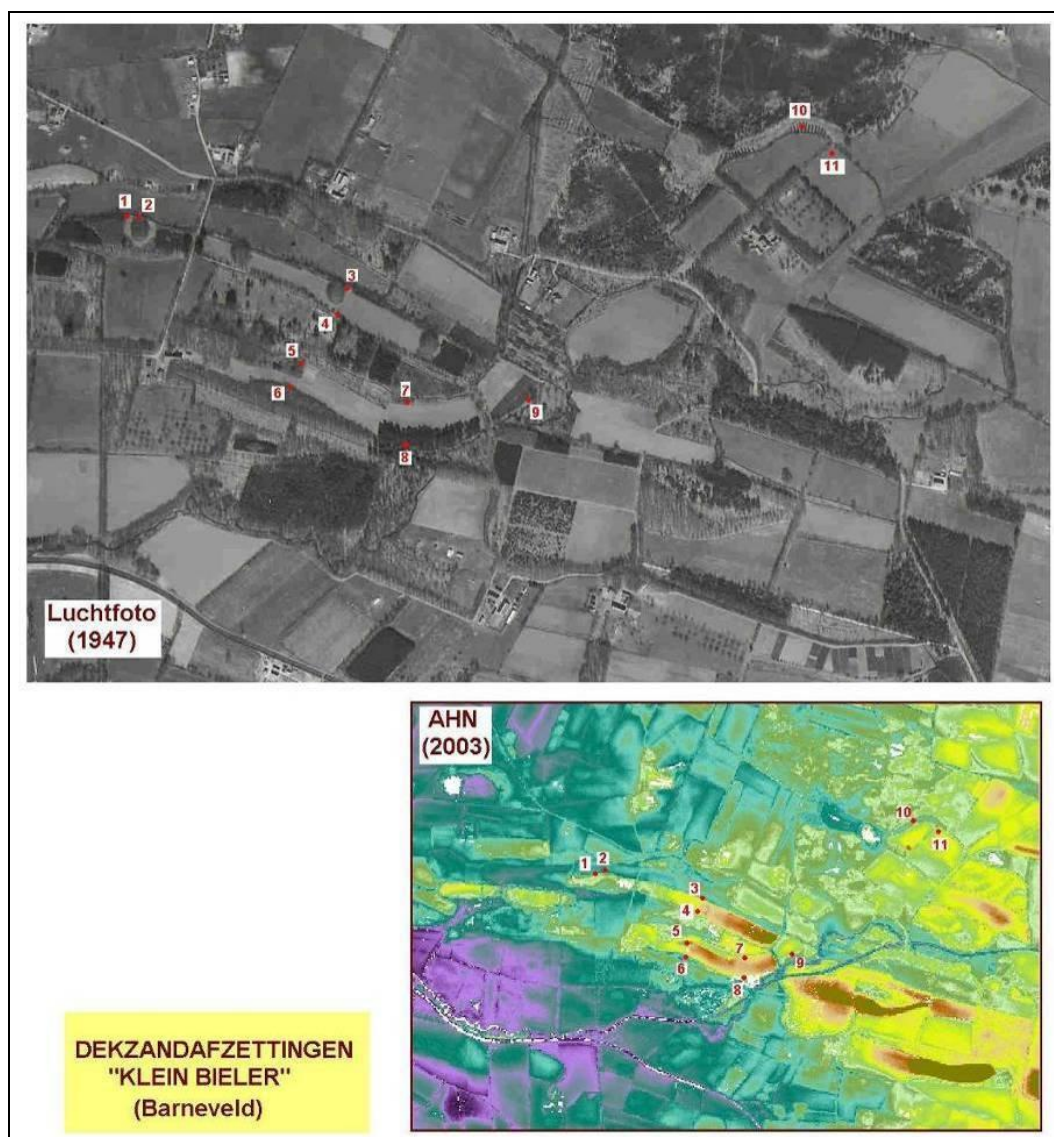
Patronen van langerechte rechte ruggen in het landschap. Ze strekken zich uit over meerdere honderden meters – tot tientallen kilometers.

In de volgende hoofdstukken worden deze landschapsvormen per stuk besproken. Eerst wordt een korte beschrijving gegeven van de landschapsvorm zoals die is aangetroffen in het veld, vervolgens wordt een interpretatie gegeven van ontstaan en functioneren.

2 Slingerende dekzandruggen

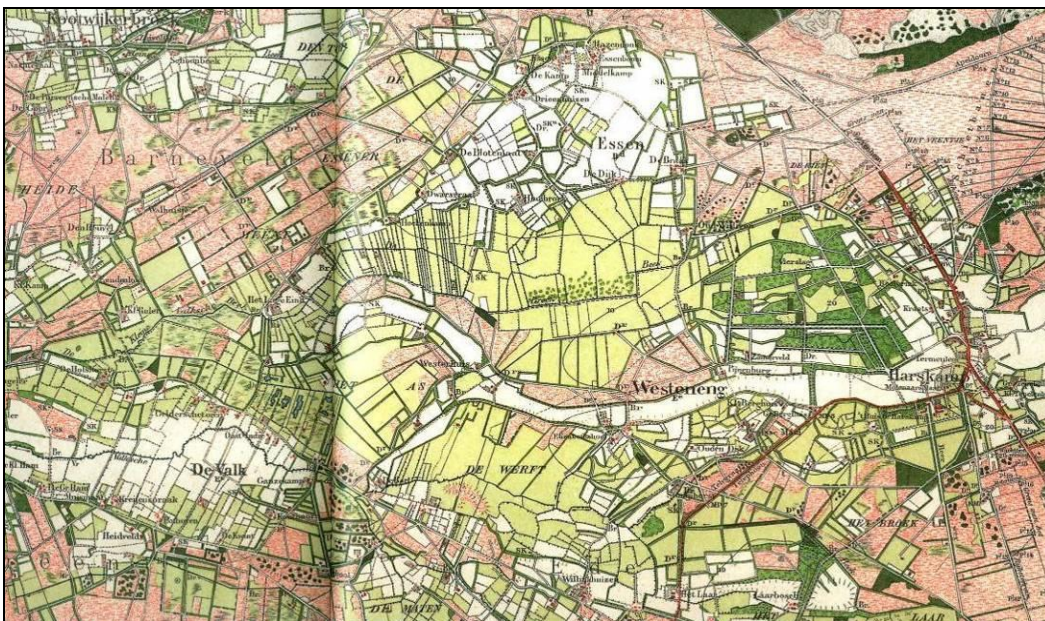
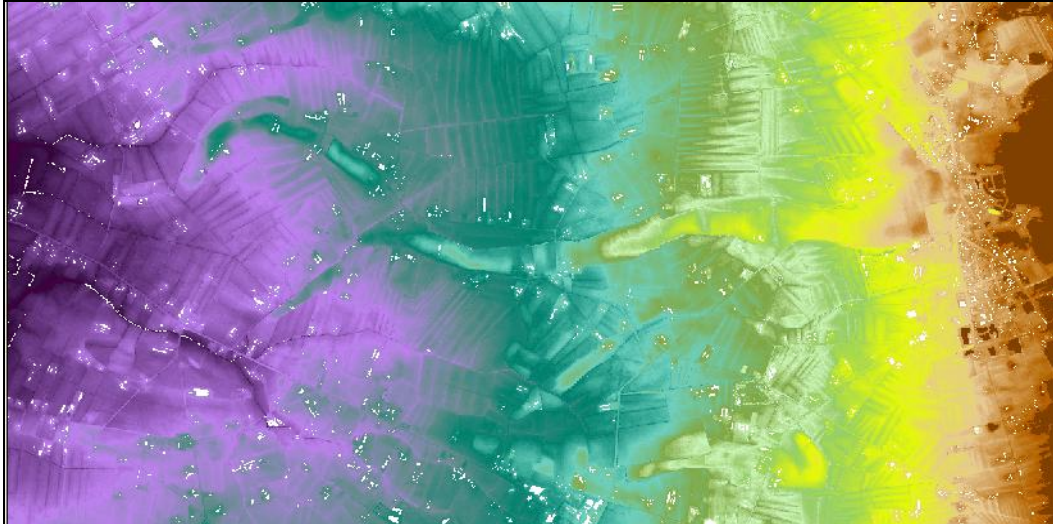
2.1 Veldbeschrijving landschapsvorm

De dekzandruggen die we in ons land aantreffen, hebben tal van vormen, maar opvallend vaak worden ruggen gevonden die een slingerende vorm hebben en zich vertakken.



Figuur 4. Dekzandruggen bij Barneveld: Klein Bieler. Bovenaan is een luchtfoto afgebeeld uit 1947 en onderaan een uitsnede van hetzelfde gebied met het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN).

Hieronder is een hoogtekaart van de Westeneng bij de Harskamp weergegeven. Als we hoogtekaart en topografische kaart combineren, dan zien we hier een slingerende rug, waaraan op verschillende afstanden zijruggen zijn opgehangen. Dergelijke situaties zijn zeer algemeen.



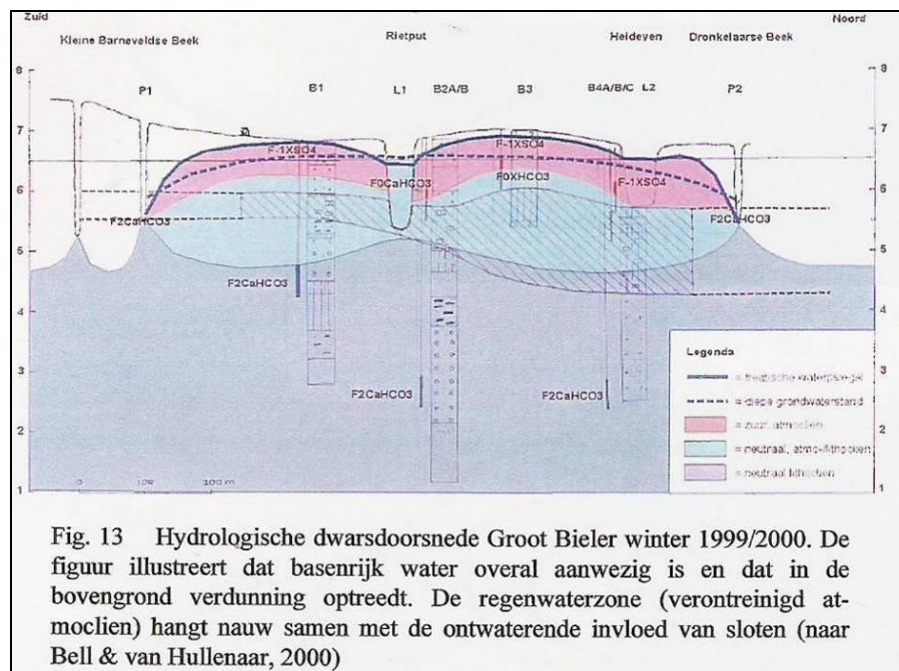
Figuur 5. Dekzandruggen van de Westeneng bij de Harskamp (Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN) boven en Bonneblad (ca 1900) beneden).

Dekzandruggen hebben niet alleen vaak een slingerende vorm, al dan niet met zijruggen, maar in het veld is daarnaast regelmatig geconstateerd dat zich in of aan de rand van dekzandruggen bronnen bevinden.

In de onderstaande figuur (Bell en Hullenaar 2000) is te zien zich dat in de dekzandruggen van Klein Bieler bij Barneveld opbollingen van baserijk grondwater bevinden. Bell en Hullenaar constateerden ook dat in het voorjaar zowel in de dekzandrug als in de aangrenzende laagte, de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld even hoog is. Het is dus even nat in de rug, als

in de laagte ernaast, met andere woorden: hoog is hier dus niet droog. Dit was reeds beschreven door Van Oosten (1975) voor Wouw, De Poel en Baaijens (1992) op Hackfort, Van der Schans in Otto (1959) voor de Gelderse Vallei.

We zouden verwachten dat in de dekzandrug wegzijging optreedt en dat zich hier dus relatief zure condities zouden voordoen. Die doen zich inderdaad ook soms voor, maar we vinden ook dekzandruggen, waar basenrijk water vlak onder het maaiveld wordt gevonden. Dit basenrijke water in de dekzandrug is echter te zeer verrijkt om alleen afkomstig te zijn van aangerijkt geïnfiltreerd regenwater. Het moet dus vooral afkomstig zijn van een andere aanvoer: van onderen of vanuit de lengterichting van de rug.

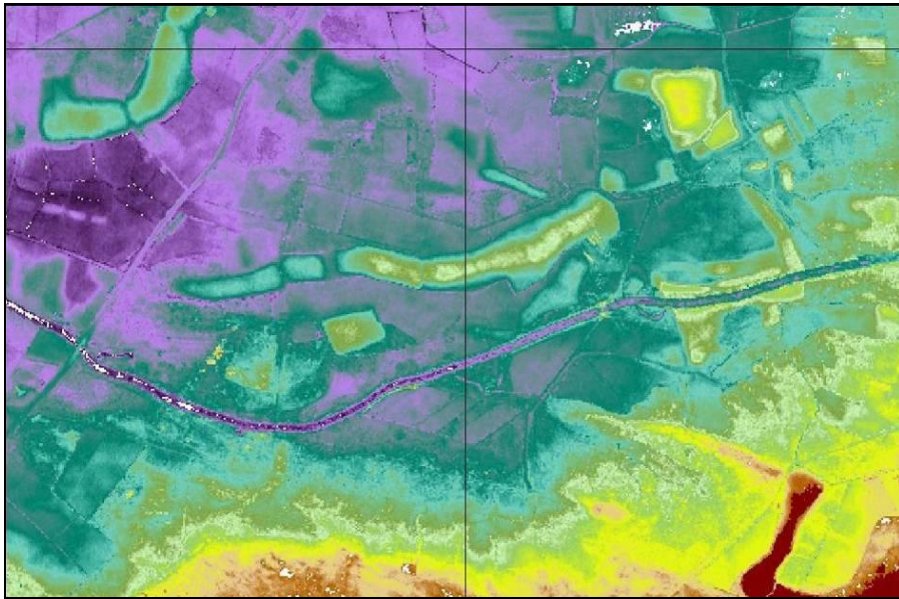


Figuur 6. Verschillende waterkwaliteiten in een profiel van een dekzandrug van Klein Bieler bij Barneveld.

Als het dekzandpatroon inderdaad de vochtcondities uit de tijd van de poolwoestijn weerspiegelt, dan zijn de hoogste ruggen dus die delen van het terrein waar het langst wateraanvoer heeft plaatsgevonden. In de periglaciale condities van de laatste ijstijd waren dit de vlechtende en meanderende smeltwaterstromen en kwelplaatsen. Invang van zand en omkering van het reliëf is voor het eerst beschreven voor het "oerdal" van de Boorne (Cnossen & Zandstra, 1965).

Een slingerende dekzandrug kan dus volgens ons ontstaan zijn, doordat een stroomgeul beter zand vasthoudt dan een droge zandvlakte. Smeltwaterstroomgeulen en kwelplekken vormden zich elke zomer. Als er vervolgens verstuing optreedt door de wind wordt het droge zand weggeblazen. Het lagere en nattere deel zal een deel van het wegstuivende zand invangen. Op deze wijze wordt wat droog is lager en wat nat was hoger, en: hoe natter hoe hoger. Het gebruikelijke "hoog en droog" gaat in deze omstandigheden dus alleen op als er iets is wat het wegstuiven op die hoge droge plek verhindert, zoals grof grind of keien. Dat komt terug in streeknamen als Steenbergen en Steenhaar (*haar* = hoogte): die bleven

hoog, omdat er veldkeien lagen. Bij Tilburg vindt men plaatsen met grote keien dicht onder het maaiveld, die hier zo'n 40.000 jaar geleden zijn gedeponerd.



Figuur 7. Slingerende dekzandrug bij landgoed Het Lankheet in Overijssel.

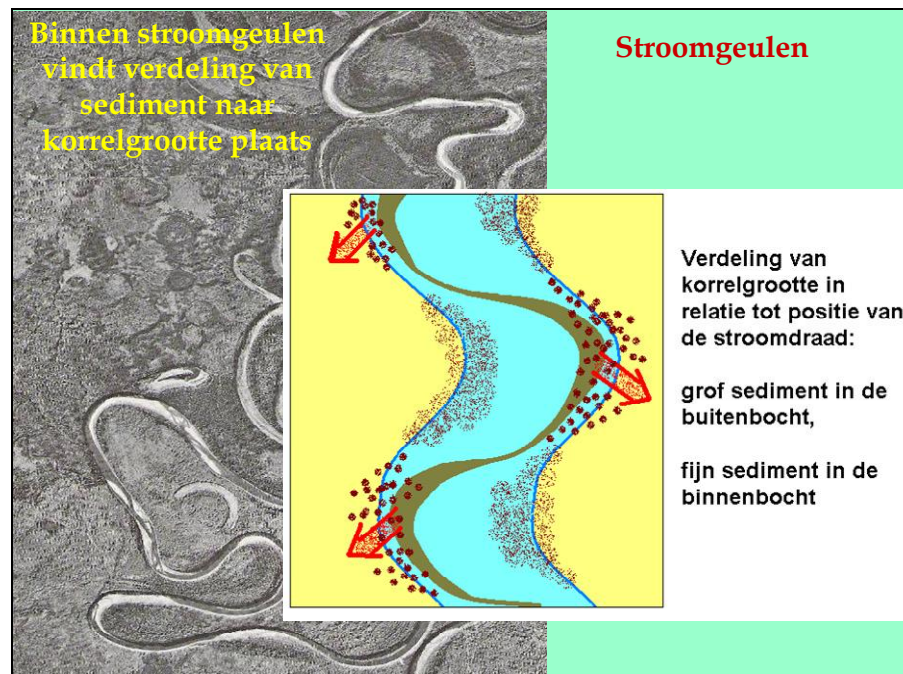
Zoals in elke rivier, bepaalde de stroomsnelheid van de smeltwaterstroomgeulen de korrelgrootte van het ingevangen sediment. Waar het relatief het snelst stroomde, bleef het grofste materiaal liggen (grof zand) en op de rustigste plaatsen het fijnste (leem).



Figuur 8. Meanderende en vlechtende stroomgeulen

Die verschillen bepalen uiteindelijk de hydrologische eigenschappen van de opgestoven rug: grof zand is beter doorlatend dan fijn zand, dan leem. Sommige opgestoven plekken zullen dus beter water doorlaten dan andere. Op de plaatsen met lemige afzettingen -voorheen die delen van het rivierstelsel met de laagste stromingssnelheden- wordt kwel ter plaatse dus bemoeilijkt.

Het resultaat is dat de stroomrichting en -snelheid in de oppervlakkige stromingsstelsels dus niet alleen de oriëntatie van de daardoor gevormde structuren bepaalde, maar ook die van de daarin besloten sedimenten en, daarmee, verschillen in doorlatendheid in verschillende richtingen. Men mag dus verwachten dat de korrelgrootteverdeling in de ruggen tevens de korrelgrootteverdeling van de stroomgeulen zal weerspiegelen. Omdat tijdens de laatste IJstijd verschillende warmere perioden voorkwamen, deden de hiervoor beschreven processen zich herhaaldelijk voor. In die warmere perioden kon ook veen worden gevormd, dat later de hydrologie weer beïnvloedde.



Figuur 9. Meanderende stroomgeulen.

Deze variatie in de wisselwerking tussen wind en water, leidde dus enerzijds tot grote verschillen in doorlatendheid in de ondergrond -zowel naar aard als richting- en anderzijds tot aan de oppervlakte geregeld verbrokkelde of zelfs elkaar kruisende landschapsvormen.



Figuur 10. Reliëfinversie.

Volgens ons ontstond zo een landschap, dat van hoog in de ruggen naar laag ernaast, steeds slechter doorlatend werd voor water. Het landschap is daardoor als het ware "omgekeerd": de lage voormalige rivierlopen zijn opgestoven tot slingerende ruggen, terwijl de vroegere hoge delen nu zijn afgestoven tot het bereik van het bodemwater en lemige depressies vormen. De goed doorlatende ruggen kunnen, wanneer ze nog steeds grondwater transporteren -ondanks hun verheven ligging- dus heel nat zijn. Voorbeelden van zulke hoge ruggen, die ook nu nog heel nat zijn, zijn hierboven beschreven (o.a. Van de Broek e.a. 2009).

Toen na de laatste IJstijd de grondwaterstanden weer stegen, gingen de grondwater transporterende ruggen 'lekker'. Dat gebeurde vooral bij vroegere buitenbochten, de plekken waar zich ooit het grofste zand ophoopte. Dat water belandde in de met leem meer of minder afgedichte laagten ernaast – en dat meer of minder houdt dus verband met de afstand tot de rug en de dikte en de samenstelling van de onderliggende leemlaag. Daar, in de natte plekken naast de dekzandruggen, kon zich veen ontwikkelen.

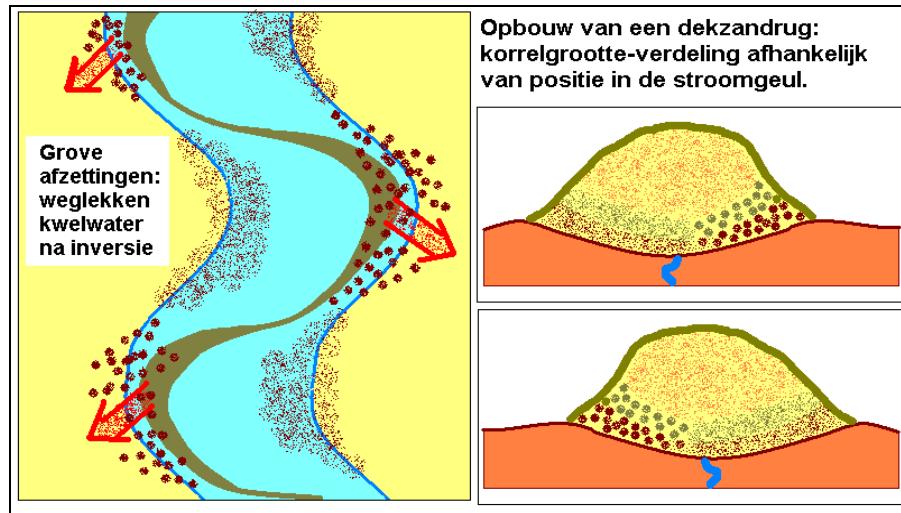
2.2 Interpretatie – genese en functioneren

Stellen we ons een meanderend stelsel voor ². De stroomdraad³ valt binnen de bedding niet precies samen met het midden van de stroom: in buitenbochten ligt ze dichterbij de oever dan in binnenbochten. Langs de stroomdraad zien we ondiepten en diepten (in de buitenbochten) afwisselen.

² Voor algemene beschouwingen over meandering kan bijv. Scheidegger, op. cit., worden gebruikt, of de nog altijd voortreffelijke inleiding van S.Leliavsky (1959): *An introduction to fluvial hydraulics*. Londen.

³ De lijn die de punten met de hoogste stroomsnelheid in een opeenvolgende reeks dwarsprofielen met elkaar verbindt.

In een droger wordende omgeving – en bij het smelten van de permafrost zal dat het geval zijn geweest – gaat het schaarse water dat nog in een dergelijk stelsel stroomt als zandvang fungeren. Op die manier vindt een omkering van het reliëf plaats: de natte en vochtige plekken worden hoger, de drogere lager. Uiteindelijk zal de maaiveldligging in een evenwichtssituatie bepaald worden door de capillaire stijghoogte van het grondwater en in principe is het dan overal even vochtig.



Figuur 11. Korrelgrootteverdelingen in een stromend stelsel.

Bij de invang van zand in een stromend stelsel vindt sortering plaats volgens dezelfde wetmatigheden als bij het transport van materiaal van verschillende korrelgrootte: bij hoge stroomsnelheden komt slechts het grofste materiaal tot afzetting, bij lage het fijnste. Binnen een opstuvend stelsel vindt dus selectie plaats, zowel haaks op de stroomrichting als in de lengte. De doorlatendheid van het sediment verschilt in verschillende richtingen dus aanmerkelijk. In het meest eenvoudige geval zal bij het stijgen van de grondwaterstanden een vroegere buitenbocht dus meer water verliezen dan een binnenbocht. Dat leidt tot verschillen in vegetatiesamenstelling. Indien de vroegere laagten naast de rug, die dus in het algemeen een ondergrond van klei of leem zullen hebben als gevolg van de selectie op stroomsnelheid, nadien vol met water zijn gelopen, is hier veenvorming mogelijk. Afhankelijk van de positie ten opzichte van de rug zal er dan een grotere (nabij buitenbocht) dan wel kleinere (nabij binnenbocht) invloed van grondwater merkbaar zijn en dat vertaalt zich in de vegetatie.

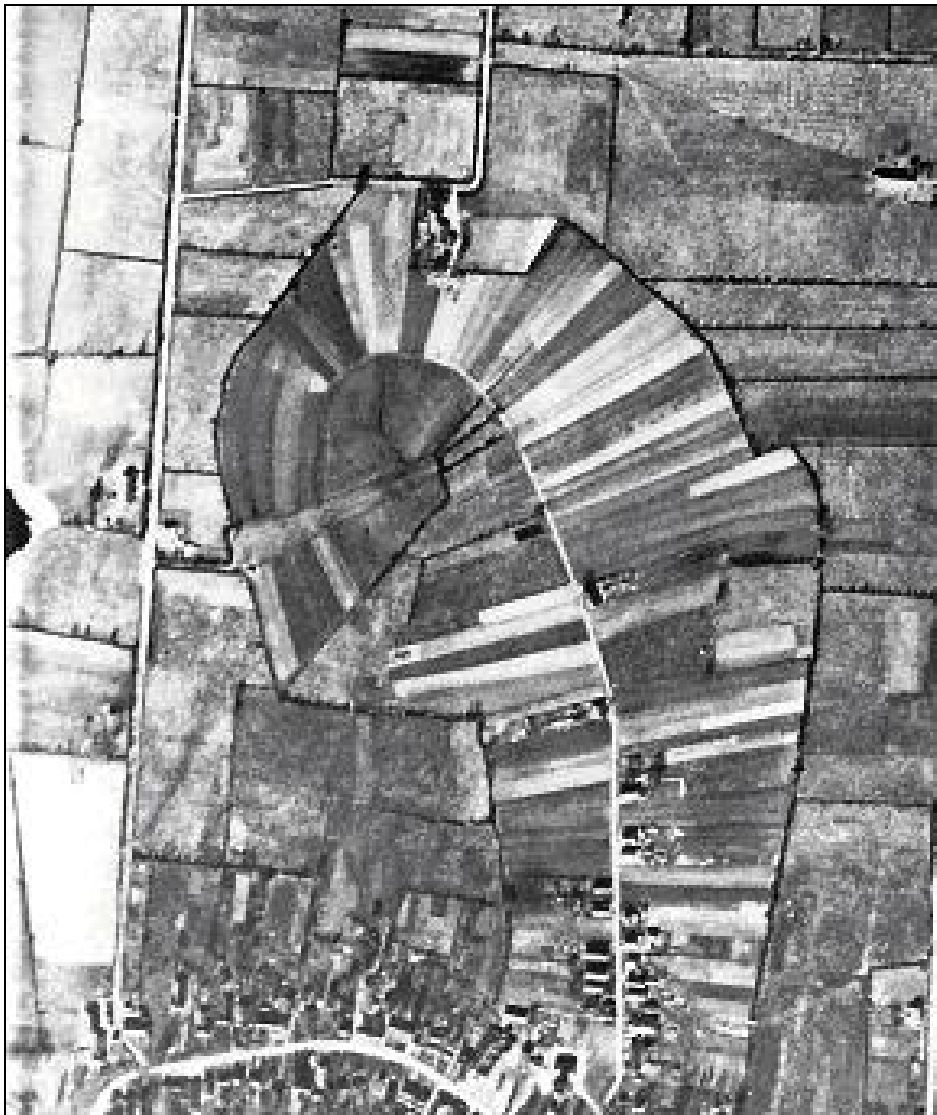
Op dit thema doen zich verschillende variaties voor. Een aantal daarvan is in Brabant nog niet ontmoet – en enkele zal men er vergeefs zoeken, omdat associatie met verschijnselen als vroeger landijs, grondmoraines en stuwwallen hoogstens in het uiterste noordoosten te vinden zouden kunnen zijn. Toch willen we een aantal variaties noemen, omdat ze wellicht in Brabant ook voorkomen, maar door ons over het hoofd zijn gezien.

Zo kan een stromend stelsel zó geleidelijk opstuiven, dat er uiteindelijk een hoog liggende beek op een dekzandrug komt te liggen⁴. Wellicht dat in

⁴ Een mooi voorbeeld daarvan is te vinden bij Eibergen, zuidelijk van de Berkel. De beekbedding, met grover zand, heeft hier zelfs echte oeverwallen en op een enkele plek is die doorgebroken, wat aanleiding geeft tot crevasse-afzettingen. Het stelsel ligt ongeveer 1 m hoger dan de naaste omgeving en verliest zich stroomafwaarts in hogere ruggetjes. Niet uitgesloten is overigens, dat

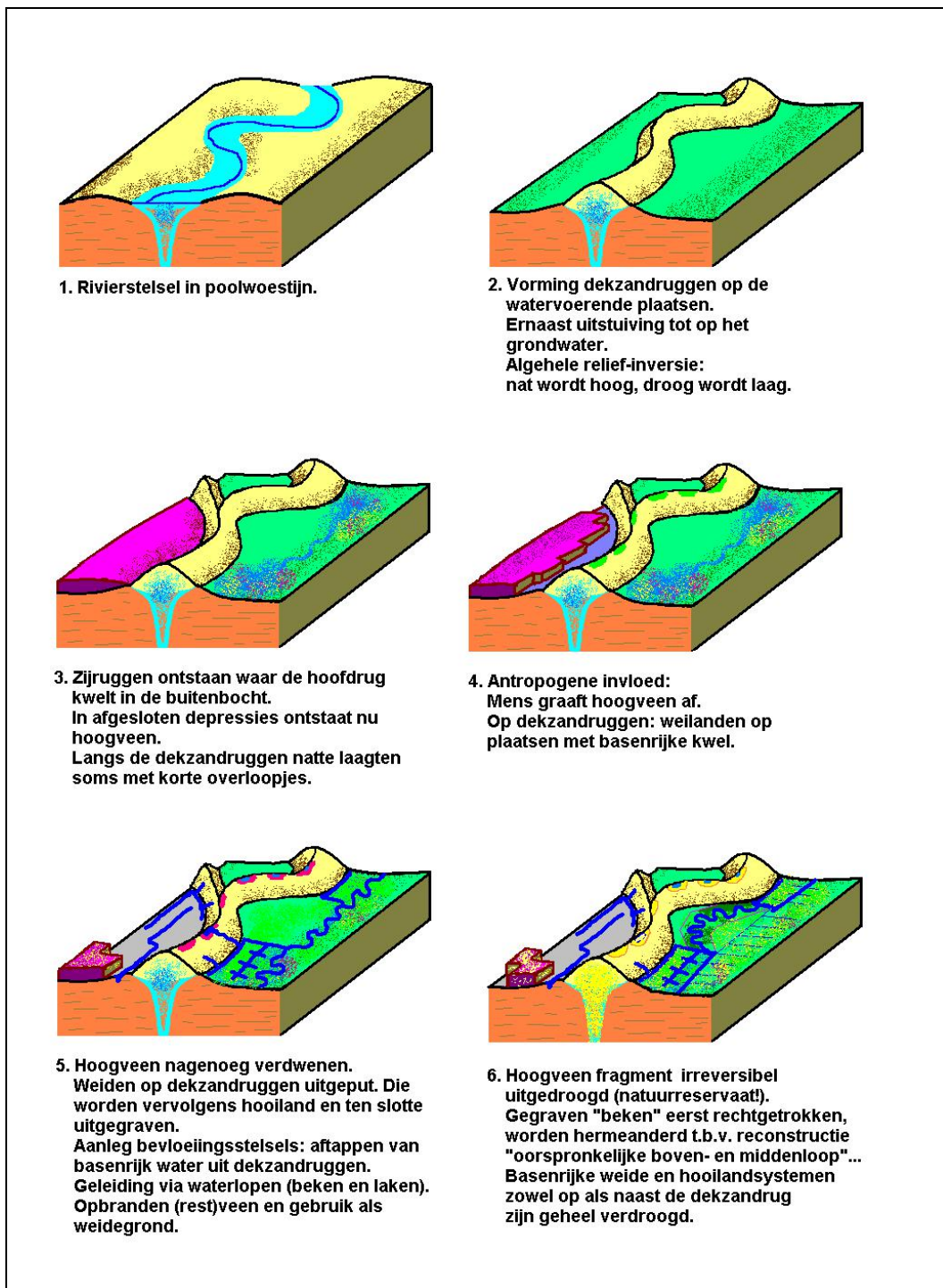
Brabant geldt voor delen van de Dommel, met name het stuk tussen Son en Boxtel. Het deel tussen Son en Sint-Oedenrode lijkt overigens al een keer verlegd te zijn; westelijk van de huidige loop tekent zich op de hoogtekaart vaag een paralleldal af. In de ondergrond is de situatie hier buitengewoon ingewikkeld.

De hoogten langs de Dommel worden overigens gewoonlijk opgevat als een oeverwallengordel, zoals elders in het land geïsoleerde kopjes langs beken wel als rivierduintjes zijn beschreven. Tegen dat laatste pleit, dat in praktisch alle gevallen de veronderstelde rivierduintjes eenzijdig langs de beken liggen en dat er ook beekloze rivierduintjes voorkomen; bij de Dommel valt op te merken, dat ze dan tamelijk geregeld de eigen oeverwallengordel haaks of achterlangs kruist.



Figuur 12. De es van De Wijk (Dr.) op een luchtfoto uit 1938

dit systeem al dan niet periodiek watervoerend was voordat de Berkel gegraven werd. Het onnatuurlijke karakter van de Berkel, de langste beek van ons land, blijkt wel hieruit, dat de bovenloop op een waterscheiding ligt.



Figuur 13. Het proces van reliëfinversie

Een andere variant – in Brabant nog niet ontmoet, maar niet onwaarschijnlijk – is het opstuiven van een oxbow-lake, een afgesnoerde tak van een beek of rivier. Hoewel meandering thans een uiterst zeldzaam verschijnsel is – alles wat aan beken als meandering wordt aangeduid, voldoet niet aan de voorwaarde van instabiliteit en van stroomafwaartse verlegging: recente oxbow-lakes zijn onbekend⁵ – moet het in het verleden een redelijk algemeen verschijnsel zijn geweest. Een voorbeeld van een opgestoven ouder oxbow-lake is de es van De Wijk (Dr.). Die lijkt wat op een grote)⁶. Het hart daarvan is nu een laagte, maar het is in feite de enige plek met min of meer de oorspronkelijke maaiveldhoogte.

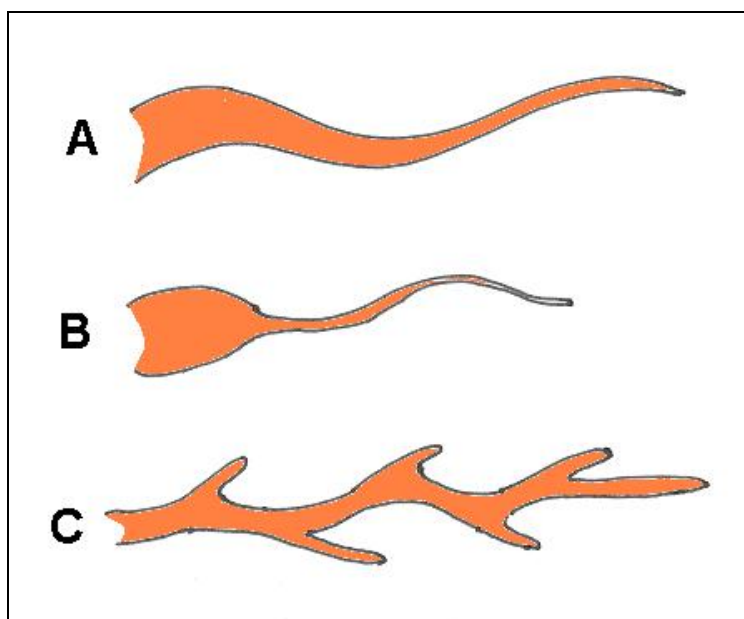
Uit het beloop van meanderende stelsels valt niet alleen de stroomrichting van de ondiepe systemen af te leiden, maar kan ook iets van toestroming of wegzijging zichtbaar worden. Neemt het oppervlakkige stelsel stroomafwaarts in omvang toe – en meestal zal dat te zien zijn aan de breedte – dan neemt de voeding toe. Relatief vaker ziet men echter stroomafwaarts juist versmallingen in het stelsel; teken, dat wegzijging plaats vindt.

In die gevallen is een aantal variaties mogelijk, waarvan er in bijgaande figuur een aantal geschetst zijn. Bij [a] is het eenvoudigste geval getekend; bij [b] is een verbreding opgevat als een puntbron in het systeem, als een extra 'injectie' van water vanuit de ondergrond. Dat komt relatief vaak voor; mooie voorbeelden vond men tussen Vught en Den Bosch. Op die puntbronnen in het systeem zijn daar forten aangelegd. Die relatie is niet toevallig: bij alle versterkingen van vóór de 19^e eeuw⁷ combineerde men een betrouwbare drinkwatervoorziening uit grondwater met natte grachten rond de versterking, die niet snel bevroren. Bij beide was de aanwezigheid van (relatief warm) grondwater dus van belang. Oudere forten, kloosters en kastelen wijzen dus praktisch altijd op water met een lange verblijftijd. Dat is warm en gewoonlijk relatief basenrijk – de adel (en andere grootgrondbezitters) ging bij voorkeur op de knooppunten in de verkalkte slagaders in het landschap zitten.

⁵ *Op de merkwaardige stabiliteit van de Nederlandse beken – eigenlijk is nooit een verplaatsing waargenomen – is al bij verschillende gelegenheden geweest. Als eersten, voor de Ratumsebeek in Winterswijk: V. Westhoff & H. de Miranda (1938) : Kotten, zoals de NJN het zag. Amsterdam. Specifiek voor een groot aantal Drentse beken: P.H. Kuenen (1945): De Drentsche riviertjes en het meandervraagstuk. Verh. Geol.-Mijnb. Gen. Geol. Ser. 14: 313-336. De onnatuurlijkheid van de talloze bochten in de dan nog niet rechtgetrokken Wold Aa blijkt fraai uit een luchtfoto uit begin jaren '30, afgedrukt in C.A.J. von Frijtag Drabbe (1972): Luchtfotografie. Den Haag, p. 26.*

⁶ *In deze omgeving, aan de rand van het oerdal van de Vecht, komen meer reusachtige structuren voor. Tussen De Wijk en Ruinerwold is een enorm oerdal zichtbaar, breder dan de Maas bij Maastricht. Over aanzienlijke lengten liggen Wold Aa en Koekanger Aa niet in dat oerdal en als ze er al in liggen is dat hoog op de flanken. Het illustreert eens te meer het al in 1926 door Teunis Vink in zijn proefschrift (De Lekstreek. Amsterdam. Diss. RU Utrecht) beschreven principe, dat stervende fluviale stelsels in leem en klei smoren. Stijgt daarna de grondwaterspiegel, dan belemmeren die afzettingen de kwel op het laagste punt. Het kunstmatige karakter van de Wold Aa blijkt overigens ook uit de middeleeuwse naam: Munnikensloot. Zie ook G.J. Baaijens (1987): Effecten van ontwateringswerken in de ruilverkaveling Ruinerwold-Koekange. RIN-rapport 87/11. Leersum. Nadien werden luchtfoto's ontdekt, die e.e.a. nog fraaier laten zien dan de bodemkaart.*

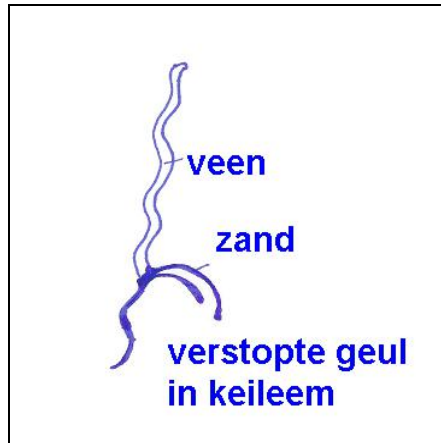
⁷ *Werken als die van de Hollandse Waterlinie lagen vaak niet in kwelgebieden. Voor de drinkwatervoorziening was men dan afhankelijk van lokale neerslag. Bij de mobilisatie van 1939-1940 werd de zwakte van het systeem in tijd van vorst duidelijk: de natte fronten voor de fortificaties bevroren tot zelfs voor vrachtwagens berijdbare dikten.*



Figuur 14. Dekzandruggen in wegzijgingsgebieden. a: geleidelijk aan wegzijgend; b: met puntbron, geheel links; c: met lekverliezen in buitenbochten.

De boomvormige structuur bij [c] wordt eveneens relatief vaak aangetroffen. Bij het opstuiven van het stromingsstelsel vindt, zoals we zagen, selectie plaats naar korrelgrootte; op plaatsen met relatief sterke stroming, i.c. buitenbochten, wordt het grofste materiaal afgezet. Dat is beter doorlatend en in stelsels waar als gevolg daarvan lekverliezen optreden kan het uittredende water opnieuw zand invangen. Zo verloor de puntbron onder Fort Isabella in het stelsel Vught – Den Bosch relatief veel water en dat leidde tot een zandrugje, dat de May westwaarts begrensdde. Dat ruggetje levert de kwel, door zijdelingse verliezen, die hier de bijzondere flora bepalen. Aardig is nu, dat hier twee rugjes evenwijdig aan en op korte afstand van elkaar lopen. Dat lijkt er op te wijzen, dat in de rug zelf bij het opstuiven nog een kleine verschuiving stroomafwaarts van het belangrijkste kwelpunt plaats vond: we moeten hier vermoedelijk een neveneffect van meandering in zien. Bij dat verschijnsel hoort ook dat aan de tegenoverliggende zijde van de rug, bij de eveneens verplaatste binnenbocht – verstopt met relatief fijn materiaal, als gevolg van de lage stroomsnelheden – op lekkage wijzende zandruggen ontbreken⁸.

⁸ Bij deze analyse is gebruik gemaakt van luchtfoto's van uiteenlopende jaren en van gegevens verschaft in het MER voor de Randweg 's-Hertogenbosch-Vught en de aanvulling daarop. Een beknopte reconstructie verscheen in het Toetsingsadvies over dit milieueffectrapport (C-mer, 2003). Een wat uitgebreidere, maar nog steeds tentatieve, versie werd beschikbaar gesteld aan de betrokken gemeenten (G.J.Baaijens (2003): May, Gement, Bossche Broek en Moerputten: een verkenning van de onderliggende landschapsecologische processen. Int. notitie C-mer). Het ruggetje zet zich voort tot aan Empel en is gekenmerkt door enkele grotere, zich als zandkopjes verradende, kwelvensters – Den Bosch ligt op één daarvan – en een reeks wielen die de dijk langs de Dieze begeleiden. Het kwelvenster waarop Den Bosch gebouwd is, was zo nat, dat het oorspronkelijke maaiveld een meter moest worden opgehoogd. Natuurtechnisch gezien moet Den Bosch en omgeving één van de meest belangwekkende gebieden van ons land zijn geweest: een groot aantal hydrologisch systemen komt er samen, elkaar nu weer onder- dan weer bovenlangs kruisend. Het besluit hier een jachthut te bouwen lijkt dus begrijpelijk; de uitbouw tot bestuurlijk centrum moest wel problemen oproepen, als we ons een speldenprik over dit klassieke naaldenmakerscentrum mogen veroorloven.



Figuur 16. Kruisende stelsels

Kruisende hydrologische stelsels vallen wat buiten het klassieke beeld van de waterhuishouding van ons land ¹⁰, maar ze zijn in een sedimentatielandschap vermoedelijk eerder regel dan uitzondering. In hydrologische studies komt men er in zoverre wel eens iets van tegen, dat uit isohypsenbeelden voor "diep" en "ondiep" grondwater verschillen in stromingsrichting naar voren kunnen komen. "Diep" en "ondiep" staat hier welbewust tussen aanhalingstekens; het onderscheid daartussen wordt gewoonlijk bepaald op grond van de aanwezigheid van als slecht doorlatend beschouwde lagen. In een sedimentatielandschap zijn dat gewoonlijk de komkleien, behorend bij stromende stelsels. De oppervlakte daarvan is meestal, in vergelijking met het door rivier en oeverwallen in beslag genomen terrein, aanzienlijk, maar voor het hydrologisch gedrag zijn die goed doorlatende gronden in en langs de rivieren en beken ongetwijfeld minstens even belangrijk.

In Brabant is daarbij nog van belang, dat op vele plaatsen aanzienlijk hiaten in de afzettingen voorkomen en voor de verlegging van de Maas zijn grote hoeveelheden uiterst grof materiaal afgezet – geen dorpsplein in de Peel of er ligt wel een reusachtige steen. Nu zullen die wel vooral door ijs zijn meegenomen, maar grind en keien op geringe diepte zijn bepaald geen zeldzaamheid. Voor het gedrag van water in de ondergrond is nu van belang, dat al die stromingsstelsels meerdere malen opdroogden, of semi-periodiek werden, en dat kan tot uiteenlopende zaken leiden: stervende stelsels worden heel vaak afgedekt met leem en klei – daarin schuilt de rechtvaardiging om bij hydrologische modelstudies slecht doorlatende afzettingen als een doorlopend geheel op te vatten – maar soms kreeg ook de wind vat op dat fijne materiaal. Die enorme löss-pakketten, zuidelijk van het dekzandlandschap – oudere lösslagen vindt men overigens ook noordelijker¹¹ – moeten immers ergens vandaan komen en een afzetting (eigenlijk een residu) als de laag van Beuningen – een snoertje fijn grind – laat zien dat regelmatig fijnere fracties verstoven.

¹⁰ Ze werden voor het eerst ontdekt in de Achterhoek. Zie G.J.Baaijens (2002): Korte schets van de ecohydrologische positie van Achterhoek en Liemers in verband met het bepalen van het duurzaam raamwerk. Bijlage 5 in C-mer(2002): Advies voor richtlijnen voor het milieueffectrapport Reconstructie Achterhoek en Liemers. Utrecht.

¹¹ Zie bijv. B. van Heuveln (1965): De bodem van Drenthe. Wageningen.



Figuur 17. Luchtfoto gebied tussen Den Dungen (rechtsonder) en Den Bosch (linksboven, buiten beeld). Rechtsboven nog juist de Zuidwillemsvaart. Wielen markeren de Keerdijk, die in feite de door dekzand verstopte monding van een oud glaciaal dal – herkenbaar aan de smalle, langgerekte percelen, die een wijde opgestoven meander verraden – afsluit. In de hoek linksonder is een smalle dekzandrug herkenbaar; haaks daarop is linksboven in de foto een ander ruggetje zichtbaar. De bij de dekzandhoogten behorende laagten – ten tijde van hun ontstaan dus relatief droge plekken – staan eveneens haaks op elkaar. De dekzandrug linksonder wordt gekruist door een vage laagte (donkere band), die halverwege in de foto links aansluit bij een bijna cirkelronde laagte.

Van belang nu lijkt, dat juist bij die stervende stelsels, preferente plekken voor grondwaterstroming immers, de kans op voortbestaan van vochtige toestanden relatief groot was. Dat houdt dus in, dat er een reeks min of meer tegen erosie door de wind beschermde, buisvormige en redelijk goed doorlatende structuren stand kon blijven houden: toestanden zoals die heersten ten tijde van de vorming van het huidige dekzandlandschap moeten zich tijdens alle IJstijden in meerdere of mindere mate hebben voorgedaan. Preferente plekken voor grondwaterstroming of, zo men wil, anisotropie, ook in het horizontale vlak, zal dus eerder regel dan uitzondering zijn, een omstandigheid, die eigenlijk in alle modelmatige studies verwaarloosd wordt¹². Toch was Simon Stevin (1548-1620) daar al van op de hoogte, blijkens zijn opmerking, dat de *grond "doordroncken is vant water als een spongie, dattet oock gaten ofte hollicheden heeft loopende deur het eertrijck als buysen, welke mede vol water ligghen"*¹³.

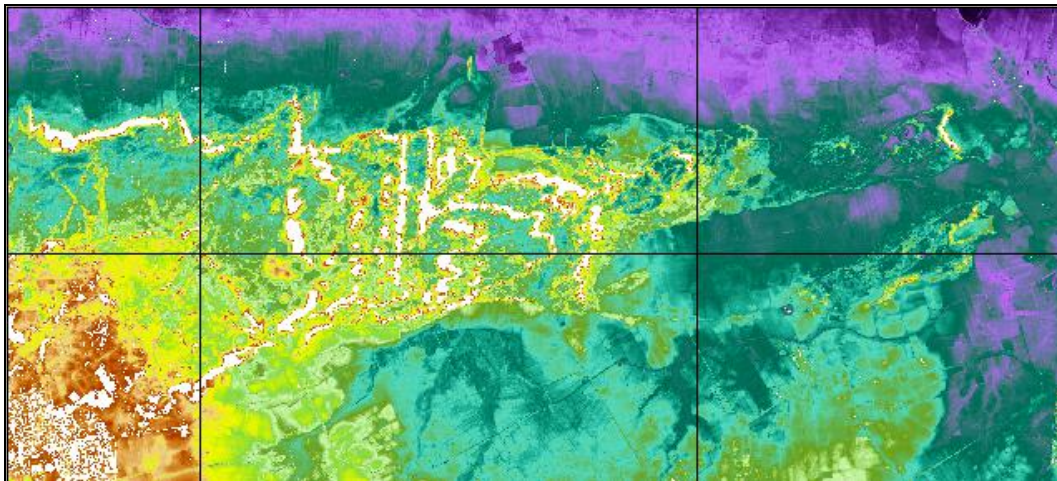
¹² Recent lijkt daar enige verandering in te komen; zie bijv. E.H. van den Berg (2003): *The impact of primary sedimentary structures on groundwater flow*. Diss. VU. Amsterdam.

¹³ *Gecit. in W.A.Visser & J.I.S.Zonneveld(1997): Stevins Stofroersel des Eertcloots en de aardwetenschappen. Grondboor en Hamer 51, 3/4:51-56.*

En wat voor fluviatiele stelsels in het rivierengebied geldt, namelijk dat verjonging gebonden is aan de flanken van oude stroomruggen¹⁴ geldt onder condities van sedimentatie ook op de hogere zandgronden. Men kan vermoeden dat mede in dit soort processen de ogenschijnlijke grilligheid zit van het dekzandrelief, zoals dat bijvoorbeeld zichtbaar is op bovenstaande figuur: men ziet als het ware sporen van oudere afvoerstelsels doorschemeren, met telkens weer dezelfde wetmatigheden: voortdurend vond omkering van het reliëf plaats. De hoofdrichting van de afvoer zal daarbij niet constant zijn geweest: de geleidelijke verlegging, in het spoor van de zeespiegelstijging, van de terrassenkruising – omslagpunt van erosie en sedimentatie – stroomopwaarts zal het verhang beïnvloed hebben.

2.3 Paraboolduinen

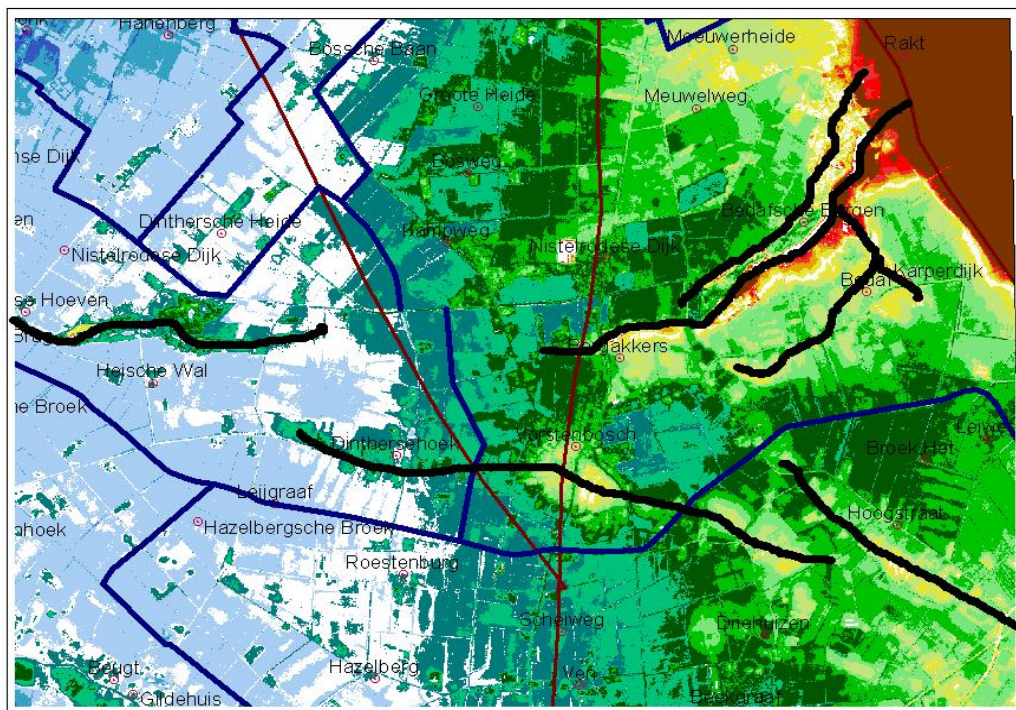
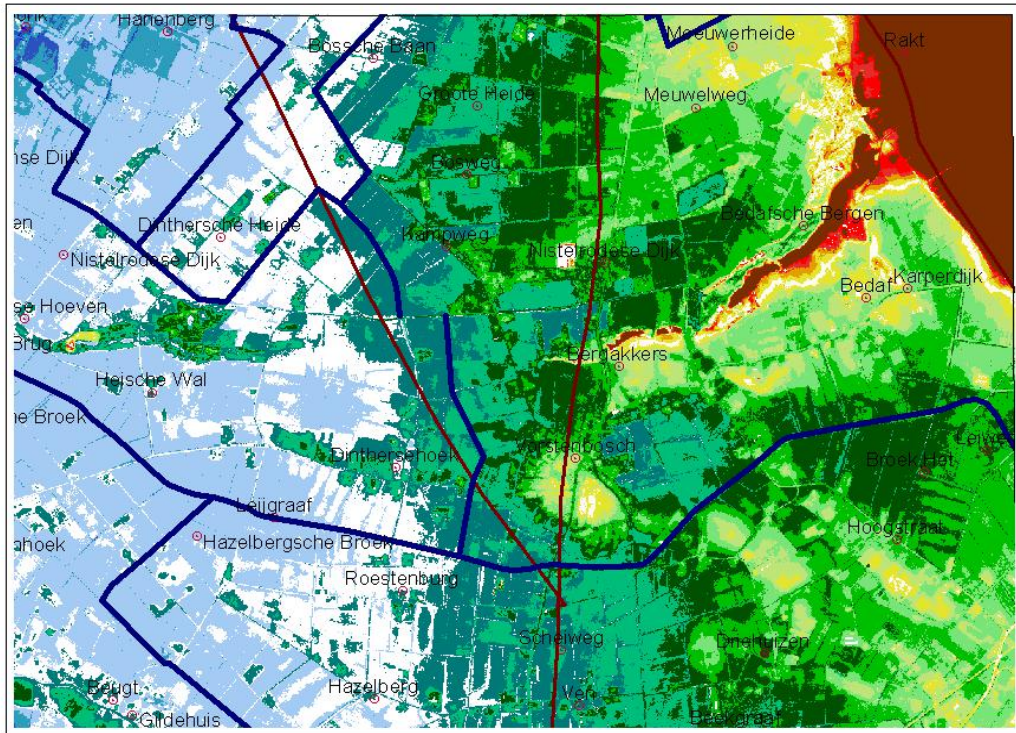
Zoals hierboven al werd opgemerkt, heeft men in veel open, hoefijzervormige structuren gemeend paraboolduinen te herkennen. Ze behoren, naar het zich laat aanzien, tot de zeldzaamste structuren in het zandlandschap, niet alleen van Brabant, maar van ons hele land. Oorzaak daarvan is vermoedelijk, dat er altijd een tekort aan sediment is geweest en dat dat leidde tot ofwel verre-afstandtransport van de fijnste fractie, dan wel accumulatie op natte en vochtige plekken. Dat lijken ook de enige plekken te zijn geweest waar nog enige begroeiing mogelijk was en dat verklaart, wellicht, de schaarste aan paraboolduinen: zoals Van Dieren¹⁵ al aangaf, zijn dat "*organogene Bildungen*" – er is een vegetatie voor nodig. Vandaar wellicht, dat we ze wel hier en daar aantreffen (bijv. in de Loonse en Drunense Duinen), maar dan als recente vorming, over oudere structuren heen. Verreweg de meerderheid van de aldus aangeduide structuren vatten wij op als kwelkraters.



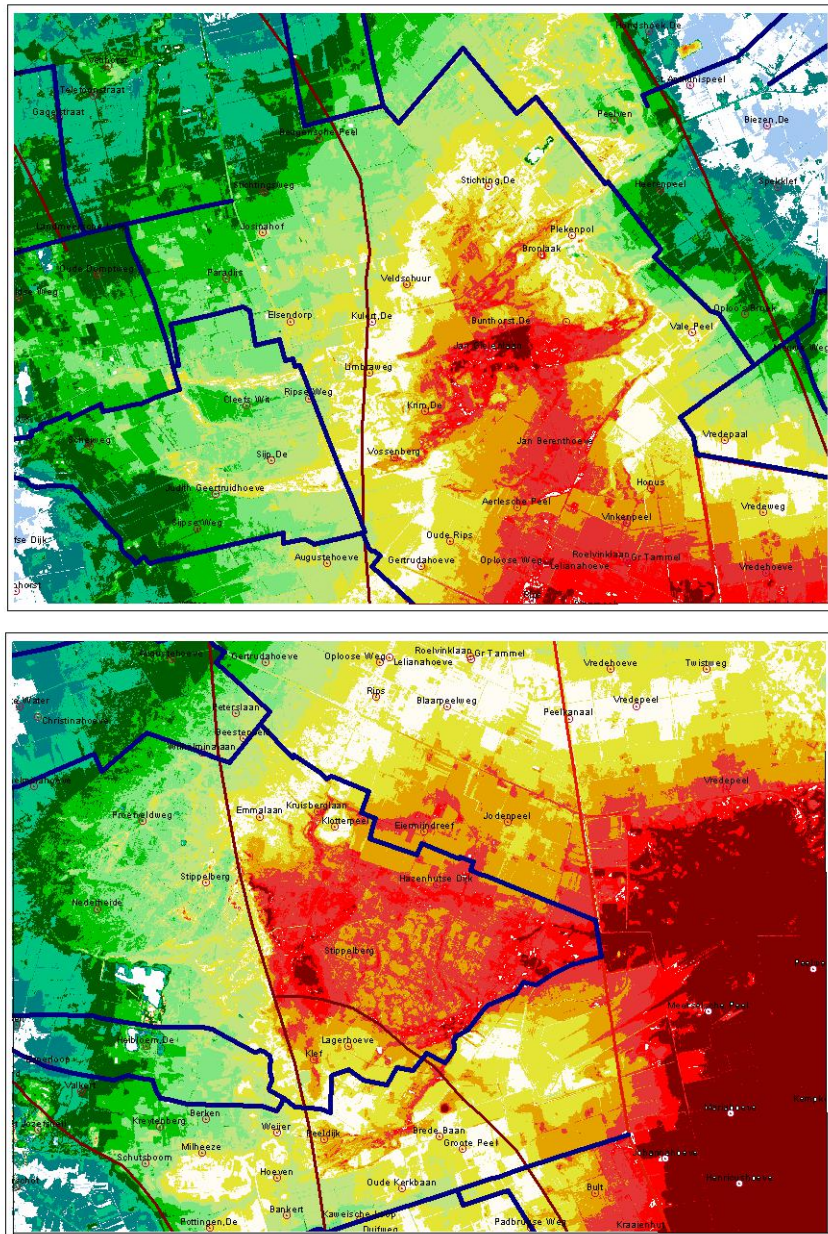
Figuur 18. De Loonse en Drunense Duinen.

¹⁴ T.Vink, op.cit. en id.(1953): *De Rivierstreek. Baarn.*

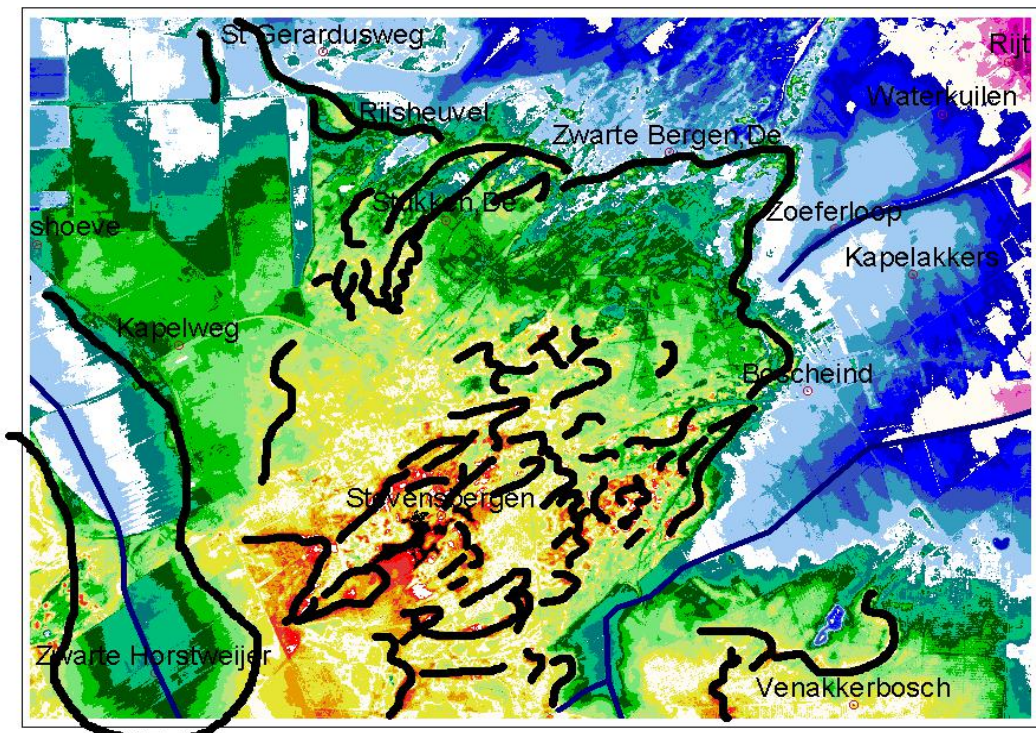
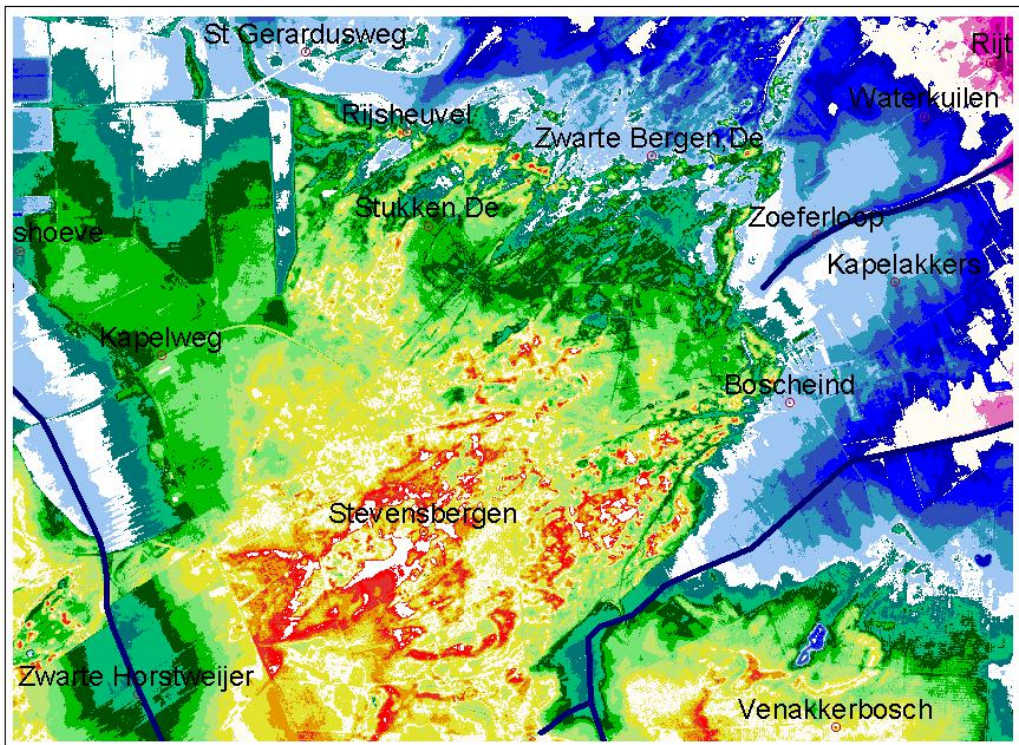
¹⁵ W. van Dieren, op.cit.



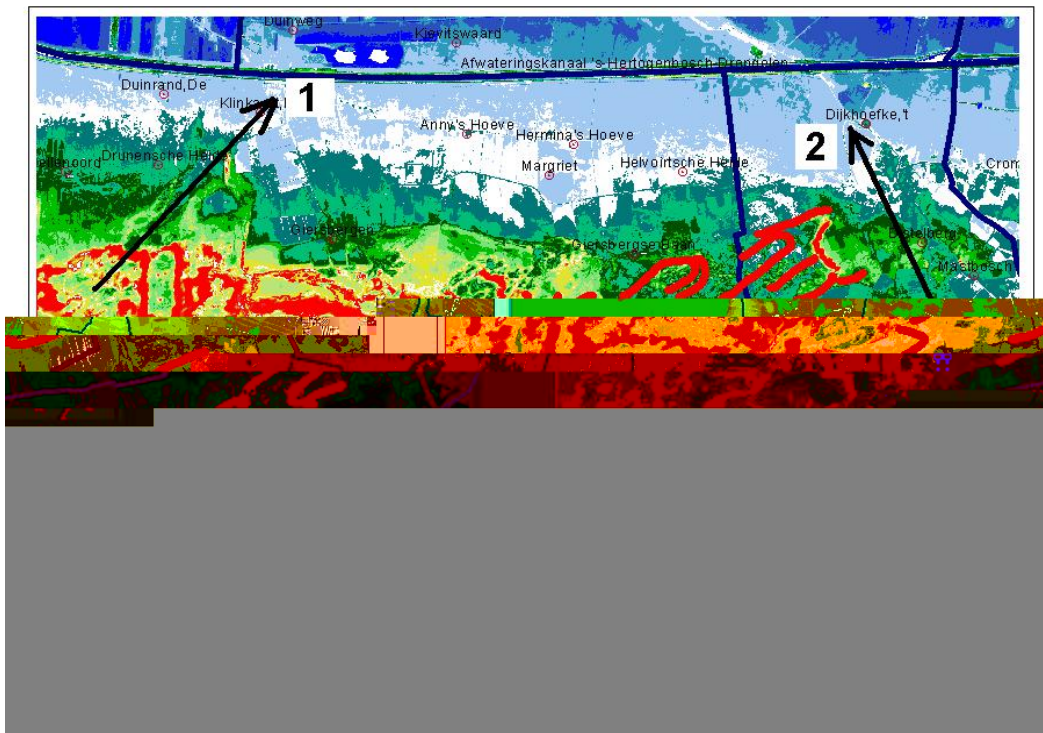
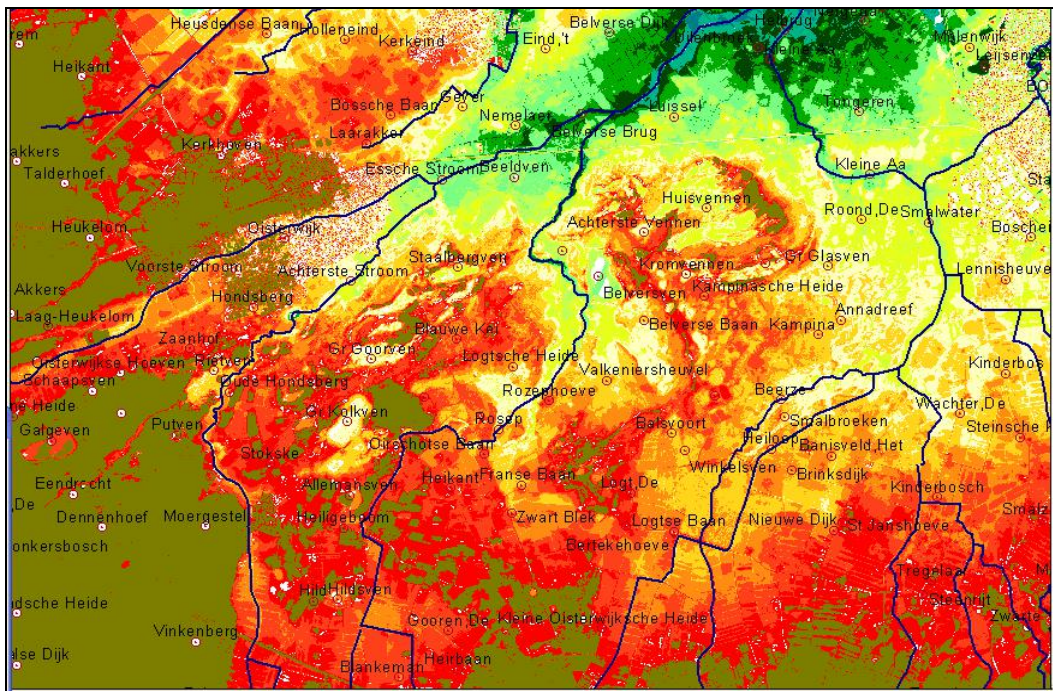
Figuur 19. De Bedafsche bergen, een voorbeeld van een meanderende dekzanddrug die zich vanaf de Peelhorst uitstrekt in de Centrale Slenk. Langs de Peelrandbreuk liggen in dit gebied ook veel wijstgronden. Op de onderste figuur zijn de grootste dekzanddruggen met zwarte lijnen nader aangeduid.



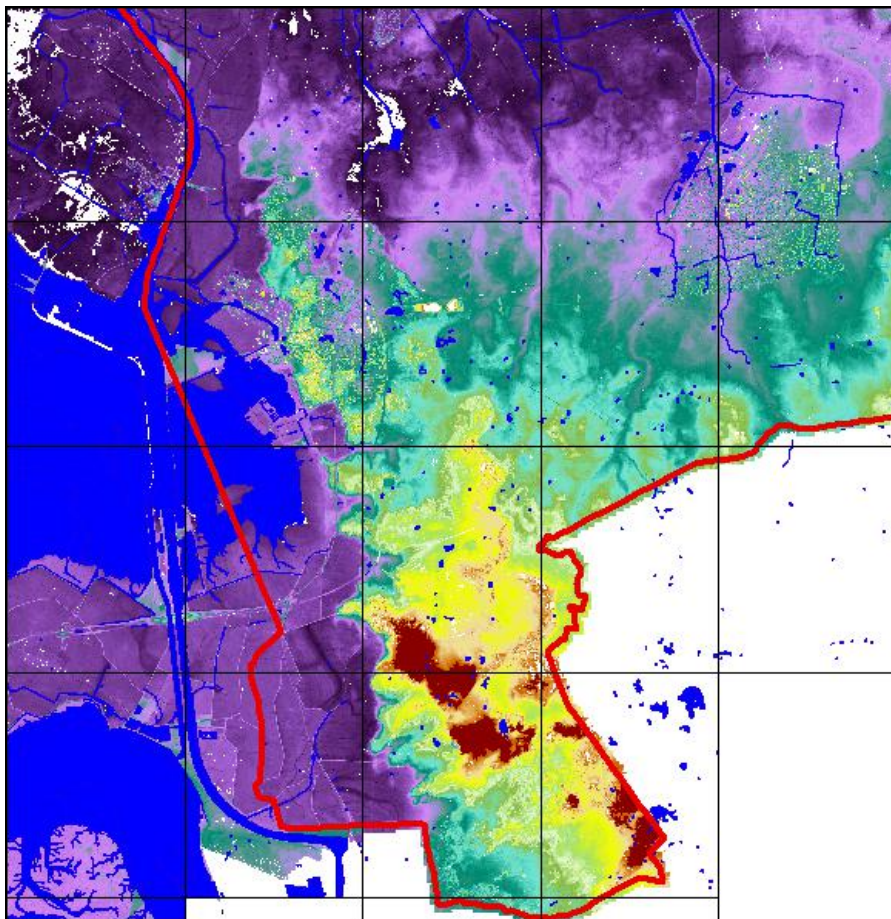
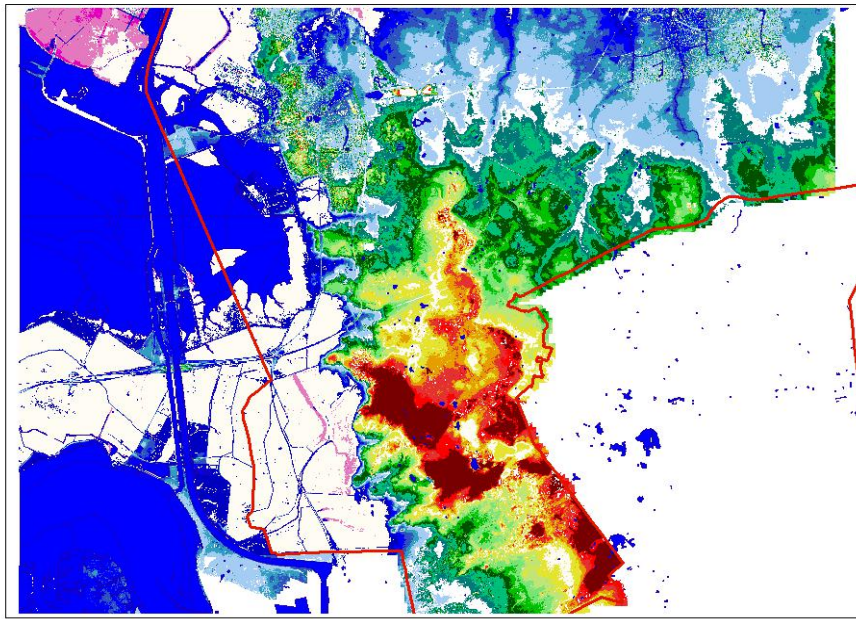
Figuur 20. Meanderende dekzandruggen: in de bovenste figuur staat het stelsel van Grote Slink-Bunthorst – Cleefs-Wit – de Sijp weergegeven. Lange dekzandarmen reiken vanaf de Peelhorst naar weerszijden, nadat water dat van zuid naar noord stroomde door de Peelhorst op de aanwezige anticlinaal botste en een uitweg zocht. Op die weg werd het aan de oostzijde opnieuw tegengehouden en zocht water zich via kronkels een weg noordwaarts. Op de onderste figuur is het stelsel van de Stippelberg te zien. Water dat hier van de Peelhorst stroomde stootte op de wijf van de Milheeze breuk. Lokaal werd enorm veel zand ingevangen en werden de "stippels", de hoge dekzandkoppen langs de breuk gevormd. Water ontsnapte opnieuw zuidwaarts en vormde nieuwe dekzandruggen en deltasystemen voor de breuk. Het water dat uiteindelijk over de breuk stroomde ving opnieuw zand in, maar nu in geringere mate, waardoor langgerekte dunne dekzandruggen zijn gevormd.



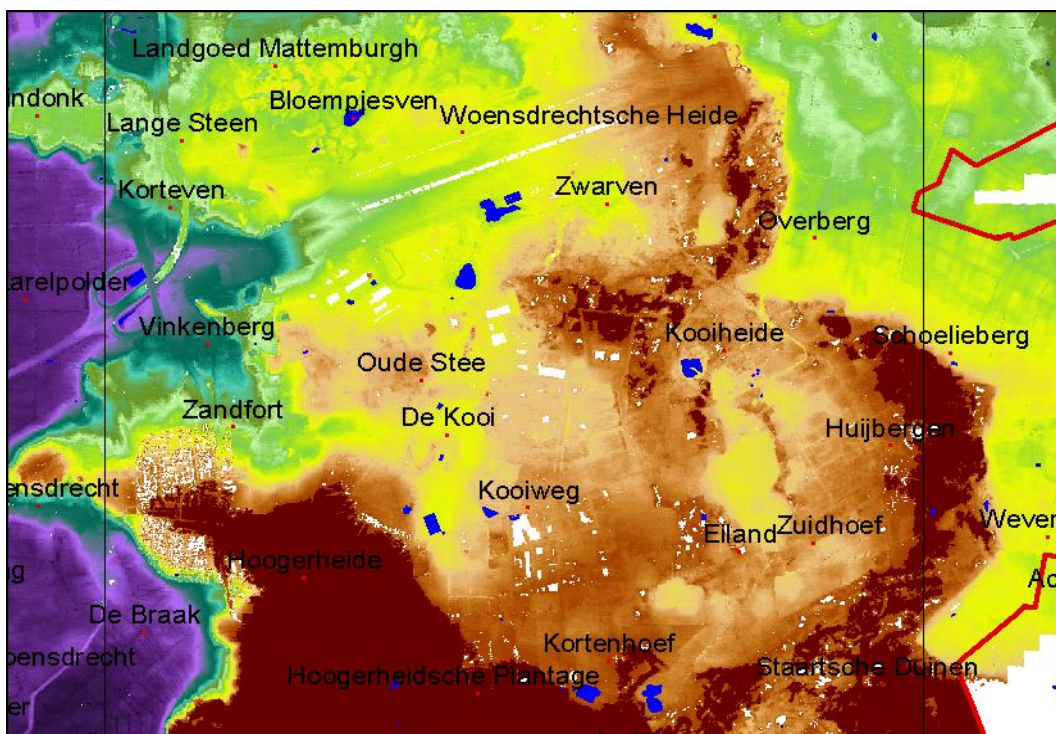
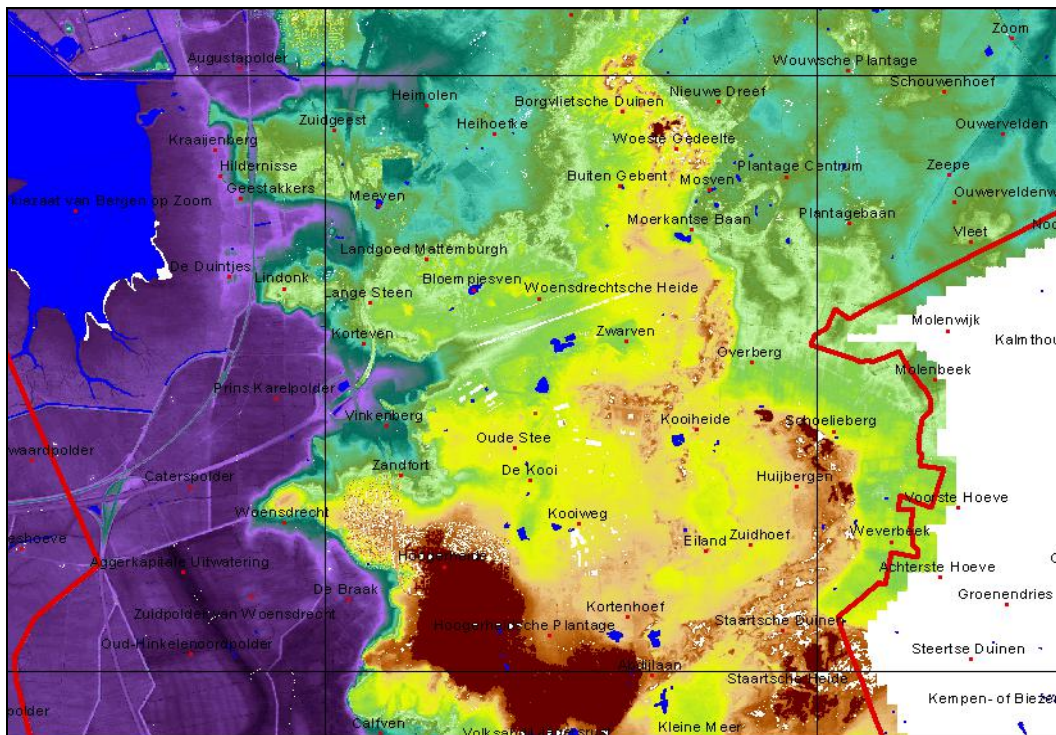
Figuur 21. Meanderende dekzandruggen: zeer complexe meanderende stelsel bij de Stevensbergen bij Luyksgestel. In de onderste figuur zijn de belangrijkste ruggen met zwarte lijnen verduidelijkt. Daaruit blijkt ook dat aan de zuidwestzijde zich een kwelkrater bevindt die een geheel andere oriëntatie heeft, namelijk noordwest, i.p.v. de noordoostelijk gerichte dekzandruggen.



Figuur 22. Dekzanddruggen: bovenaan zijn de enorme slingerende dekzanddruggen van de Kampina weergegeven. In de onderste figuur zijn de recente verstuingen in de Loonse en Drunense duinen te zien, die gesuperponeerd zijn op oudere dekzandcomplexen en onderdeel uitmaken van een groot meervoudig kwelsysteem.



Figuur 23. Dekzandruggen: twee afbeeldingen van de Brabantse wal. Met name op de onderste afbeelding zijn de grote aaneengesloten V-vormen te zien die de kern vormen van het gebied. Daarnaast zijn de lange slingerende ruggen te zien die zich naar het noordnoordwesten uitstrekken.

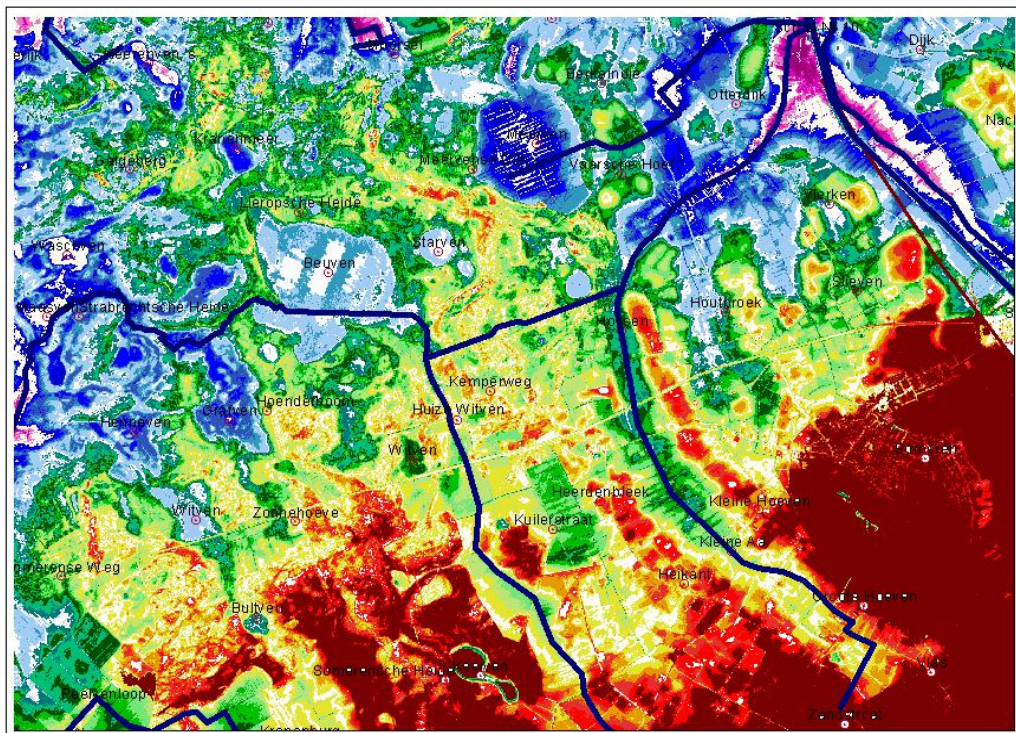


Figuur 24. Dekzandruggen: de grote U-vormige structuren in het hart van de Brabantse Wal in meer detail.

3 Dekzandvormen bij breuken

3.1 Veldbeschrijving landschapsvorm

Zoals in de vorige paragraaf is uitgelegd zijn de dekzandruggen gevormd door het vastleggen van stuivend zand onder periglaciale condities, in vochtige locaties. Naast de meanderende dekzandruggen en de kwelkraters zijn ook lange licht gebogen vormen aangetroffen die niet kronkelen.



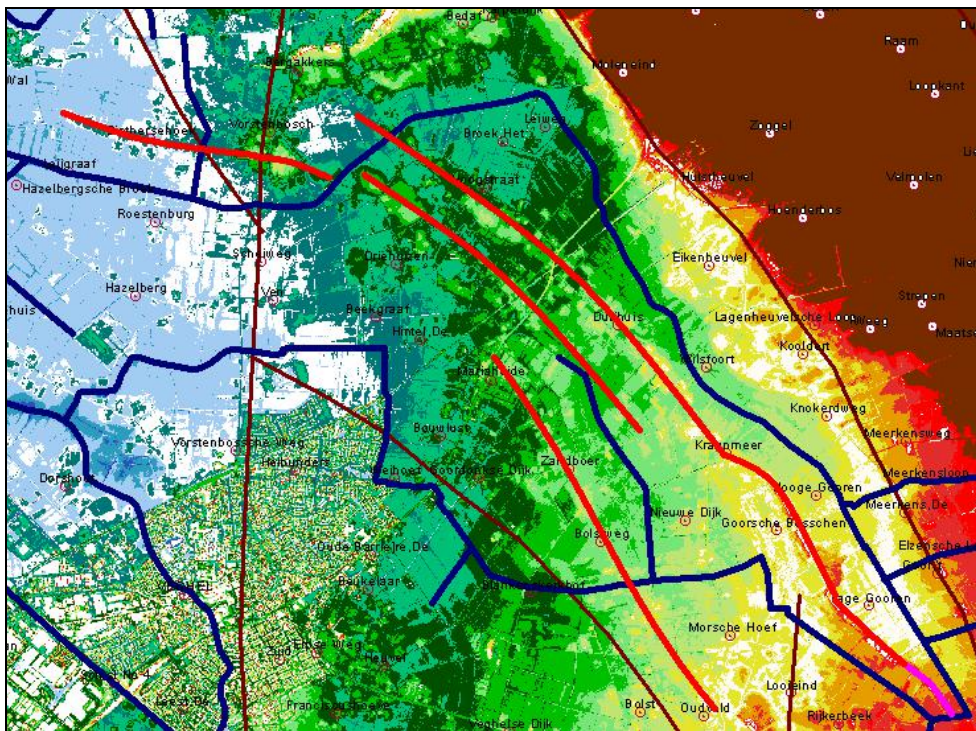
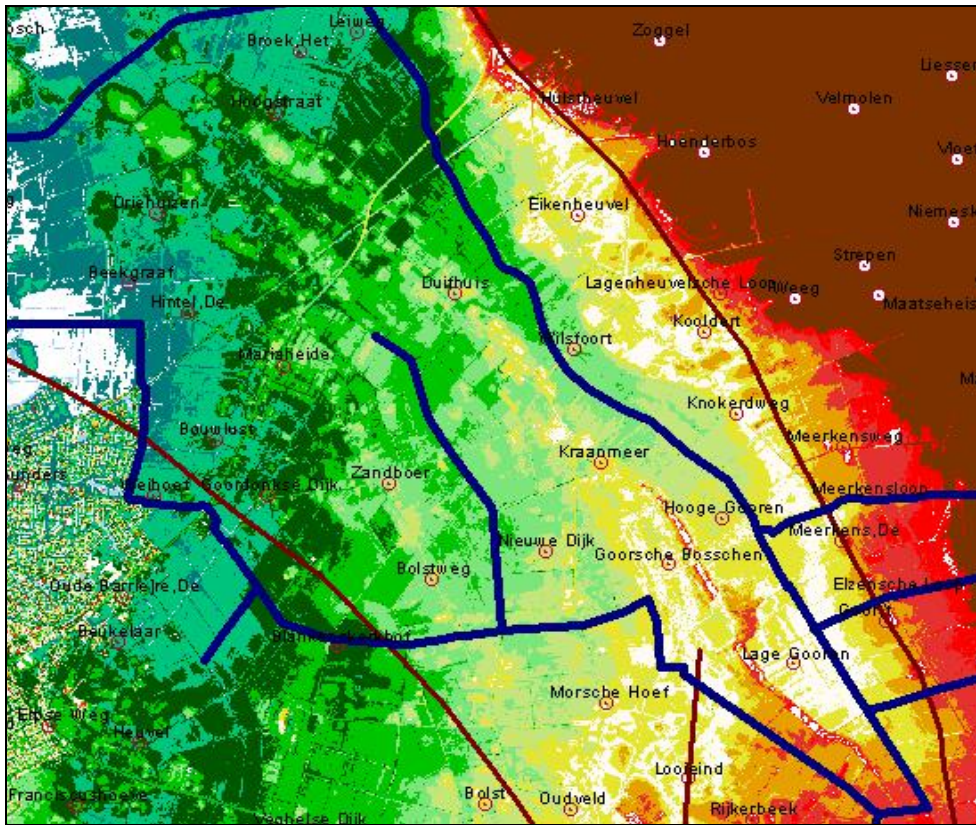
Figuur 25. Dekzandruggen: lange doorlopende en enigszins gekromde dekzandruggen tussen Someren en Lierop.

Interpretatie – genese en functioneren

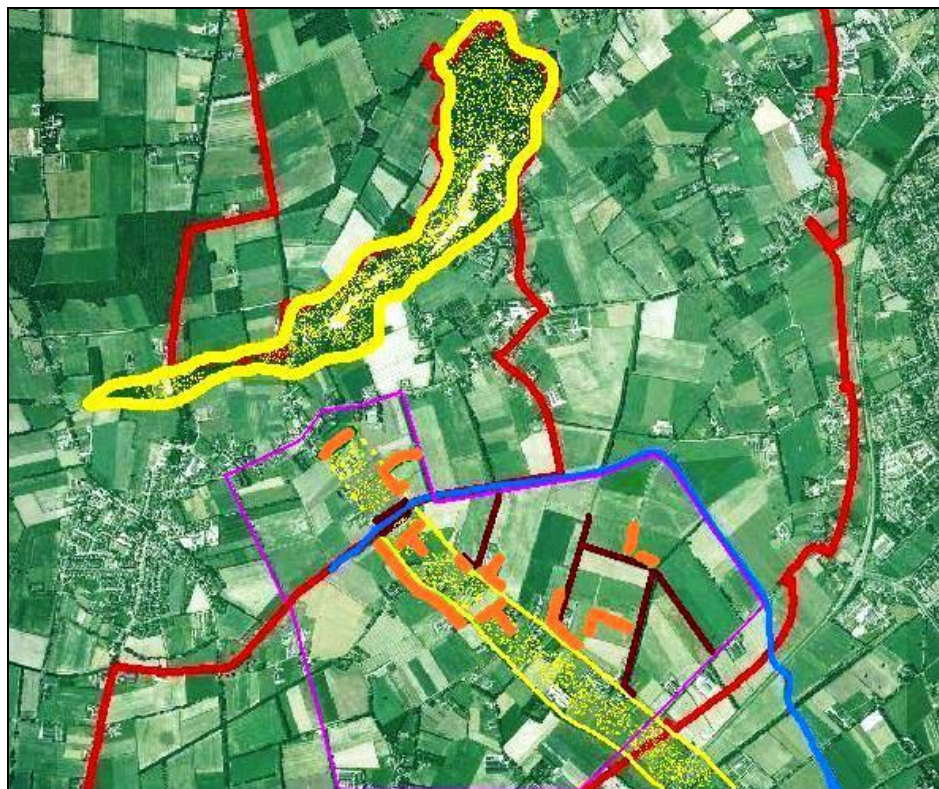
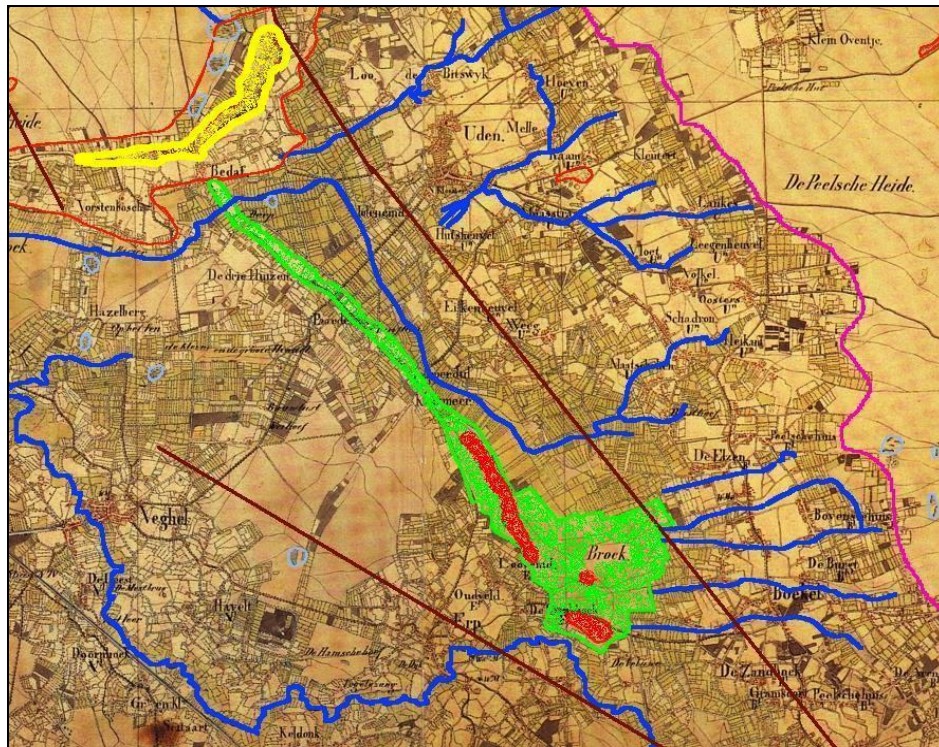
De aanwezigheid van lange, doorlopende ruggen kan verklaard worden door de aanwezigheid van kleine breuken in de ondergrond, waarlangs water het maaiveld bereikt. Door deze gestage voeding van onderaf is het maaiveld vernat en heeft de dekzandrug kunnen groeien.

Een dergelijk systeem is ook aangetroffen onder de Peelrandbreuk, tussen Veghel en Uden bij de dekzandrug van De Hoogstraat. De rug is, zoals de figuren hieronder laten zien, al op de oudere topografische kaarten zichtbaar. Opvallend is in deze ook bijvoorbeeld het toponiem 'Het Broek' op de hoogste punt van deze dekzandrug!

Een klein veldonderzoek naar voorkomen van kwelindicatoren heeft aangetoond dat binnen het onderzochte gebied (paarse lijn op de luchtfoto hieronder) kwel duidelijk geassocieerd is met de rug zelf. In de omgeving ervan komt op zeer veel plaatsen roestkleurig water voor of water met bacterievliezen of afgeschoven slootkanten, die bezwijken onder de hoeveelheid water die ter plaatse opwelt.



Figuur 26. Dekzandruggen: langgerekte rugen bij De Hoogtstraat ten noordoosten van Veghel. De rugen, die in de onderste figuur met rode lijnen zijn verduidelijkt volgen waarschijnlijk breuksystemen die parallel lopen aan de Peelrandbreuk.



Figuur 27. Dekzanddruggen: de dekzanddrug van de Hoogstraat is duidelijk herkenbaar op de Militair Topografische Kaart (1838-1857). Veldonderzoek gaf aan dat binnen het op de onderste foto paars omliggende gebied, kwelsoorten (lichtbruine lijnen) en sloten met ijzerrijke kwel (donkerbruine lijnen) nauw geassocieerd zijn met de dekzandrug zelf. (Bron Eurosense B.V. Breda 2000)

4 Kwelvensters

4.1 Veldbeschrijving landschapsvorm

Von Frijtag Drabbe ontdekte in zijn werk aan de analyse van luchtfoto's in de veertiger en vijftiger jaren diverse opmerkelijke ronde structuren in het Nederlandse landschap. Op zijn Rood-Blauw kaarten werden deze vormen getrouw aangegeven, maar een verklaring ervoor ontbrak.

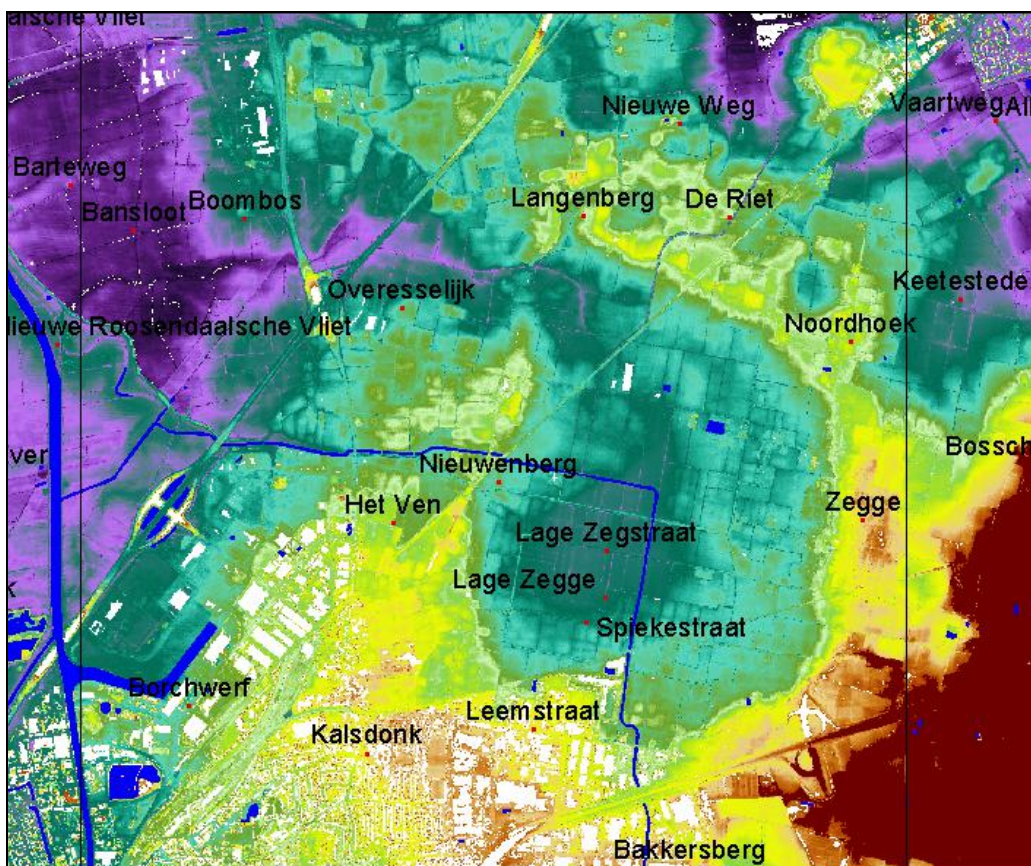
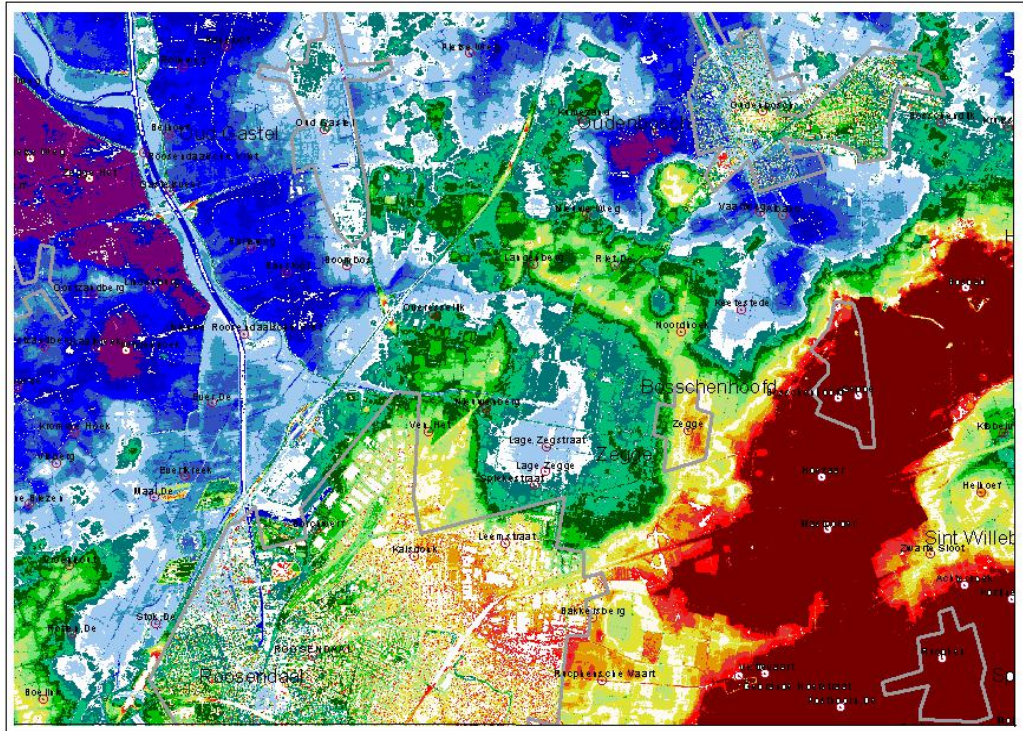
Ook op het AHN zijn deze structuren bijzonder goed zichtbaar en in de loop van de jaren zijn er zeer vele van ontdekt en beschreven, vooral in Oostelijk en Zuidelijk Nederland. Veelal betreft het min of meer ronde vormen, vaak met een opening waardoor het op een geknepen hoefijzer lijkt. Soms is een van de twee poten van het hoefijzer langer. Deze vormen hebben niet een vaste oriëntatie, waardoor vorming door de wind als verklaring voor het ontstaan niet voor de hand ligt.

Tijdens een studie in te jaren 1980-1990 op Landgoed Hackfort¹⁶ bij Vorden in de Gelderse Achterhoek, werden wederom ringvormige laagten ontdekt, met, in één geval, een meanderend overloopgeultje naar een volgende laagte¹⁷. De bodem daarvan was, als gevolg van ophoping van ijzeroer, steenhard. In het hart ervan was een laagte, waarin het nog steeds kwelde. Analoog aan kleine kwelkratertjes, zoals men die wel op slootbodems ziet, werden ze als kwelkraters betiteld¹⁸.

¹⁶ Zie Baaijens(1988), op.cit. en Baaijens & De Poel(1992), op.cit.

¹⁷ Helaas is dit geomorfologische monumentje thans weggeploegd.

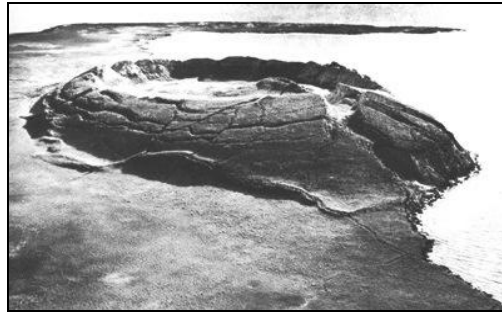
¹⁸ Baaijens(1988), op.cit. en Baaijens & De Poel, op.cit.



Figuur 28. Kwelkraters: grote kwelkrater bij Roosendaal – Zegge. Langs de buitenrand van deze kwelkrater heeft het systeem opnieuw kleine ronde kwelkraters gevormd.

4.2 Pingo-ruïnes

Zowel op het Dwingelderveld als in Gieten liggen veentjes hoog in het landschap en naast de huidige beekdalen. De dikte van de veenpakketten in die veentjes en ook de samenstelling ervan geven aan dat ze lange tijd door baserijk grondwater zijn beïnvloed (De Gans 1981, Bakker e.a. 1986, Everts & de Vries 1991). Dit zijn zogenaamde pingo-ruïnes.



Figuur 1. Actuele pingo's in Alaska (Bron US Geological Survey).

Pingo's (ook wel aangeduid als hydro-accolieten of ijsvulkanen) zijn heuvels gevormd door ondergronds ijs, vaak liggend in oude stromingsstelsels en vaak gevoed door kwelstromen. Na het smelten van het ijs blijft een ringwal achter en een natte laagte, een zogenaamde pingo-ruïne. Pingo-ruïnes worden vaak aangetroffen nabij waterscheidingen, en de diepte wordt geacht overeen te komen met de diepte van de permafrost ten tijde van de vorming. In Brabant zijn ze dus tot 2 m diep en in Drenthe 15 m (Berendsen 1997-2000). Pingo-ruïnes zijn dus door kwel ontstaan en vertonen, hoewel vaak hooggelegen, ook nu vaak nog mesotrofe soorten, zoals Veenmoszegge, Draadzegge, Moerasviooltje en het uiterst zeldzame Spinnepkopveenmos.

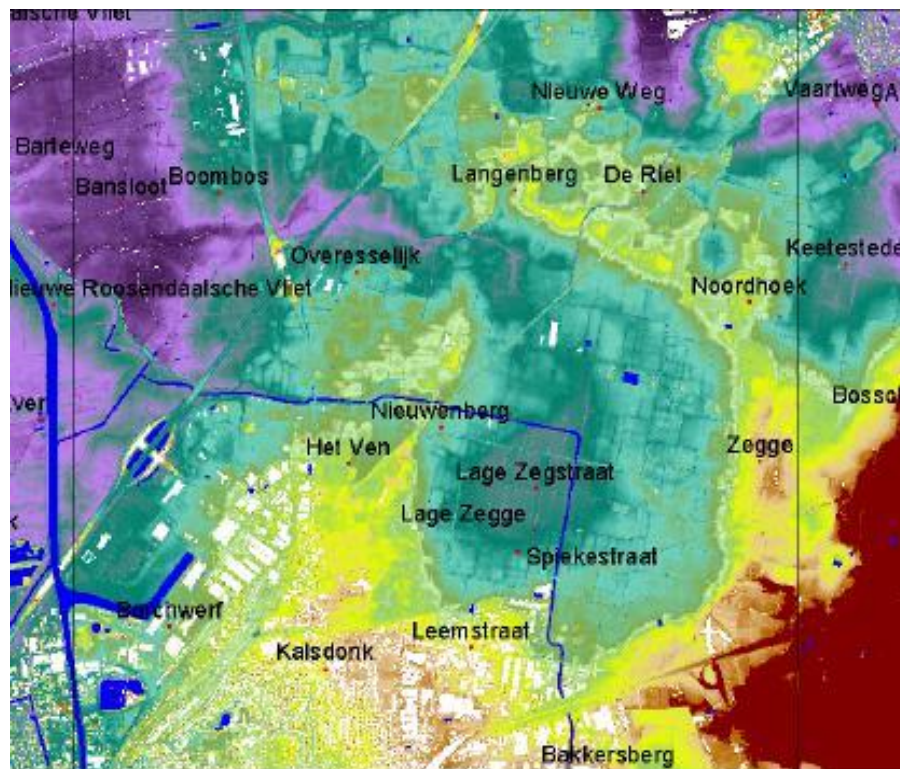


Figuur 2. Pingo vorming.

Het feit dat pingo-ruïnes -hoog op de helling-, nabij de waterscheiding het langst gevoed blijven door kwel, wil zeggen dat ze complexe aanvoersystemen moeten bezitten, en dat er niet of niet alleen wegzijging heerst, zoals je bij een waterscheiding zou verwachten. Je mag dus verwachten dat pingo's ook in drogere jaren nat blijven door hun constantere voeding, dit in tegenstelling tot soms naastgelegen ondiepe veentjes met alleen regenwatervoeding.

4.3 Ronde kwelvensters

Het heeft er alles van, dat vergelijkbare structuren als pingo-ruïnes, ook lager op hellingen voor kunnen komen, maar dan in dichtgestoven vorm. In de studies van Baaijens (1992) en later van Baaijens & van der Molen (2004) zijn andersoortige ronde plekken in het landschap gevonden die eveneens geassocieerd lijken te zijn met kwel. Dit zijn lagere plekken in het landschap, met een lage ringwal. In het hart ervan stroomt water omhoog wat zich veelal een weg baant door de ringwal. Deze is dus vaak stroomafwaarts open. Stroomt het water hard, dan kan zich stroomafwaarts zelfs een klein meanderend stelseltje invreten in de bodem. Deze kwelvensters hebben meestal een hoefijzervormige structuur. Binnen in het hoefijzer vinden we ook vaak een geïsoleerde heuvel. In veel gevallen zijn deze hoefijzervormige structuren scheef ontwikkeld, in die zin, dat de armen verschillen in lengte, hoogte en voedselrijkdom. In extremo kan dat leiden tot een goed ontwikkelde rug aan één zijde en een berkenbroekbos aan de andere en op de achterrand heide.

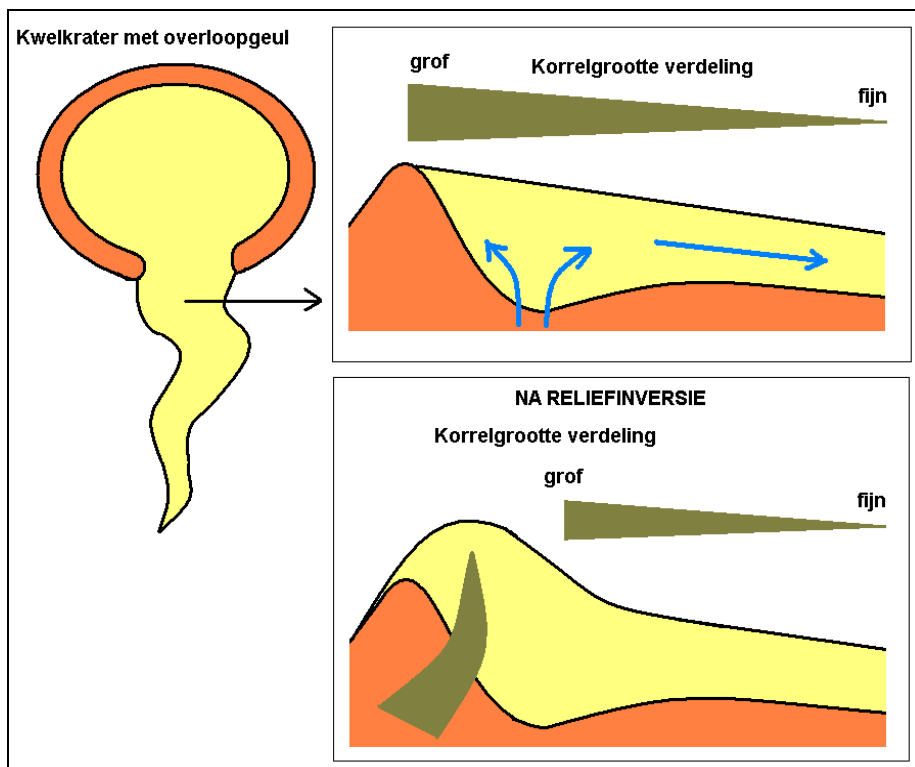


Figuur 3. Rond kwelvenster bij Zegge in Noord-Brabant.

Boringen in dergelijke structuren (Baaijens et al. 2007) hebben laten zien dat in het midden grove zanden voorkomen die naar de ringwal toe geleidelijk overgaan in fijnere afzettingen. Dit laat zien dat door een voortdurende kwelstroom sortering van het bodemmateriaal is opgetreden. Zo is in een rond kwelvenster op het landgoed het Lankheet in het centrum grof zand aangetroffen, naast ijzeroer. Verder naar de rand toe werden fijnere sedimenten gevonden.

4.4 Interpretatie – genese en functioneren

De interpretatie van deze ronde vormen is dat het gaat om puntbronnen, die ooit hard genoeg kwelden dan dat zich hier geen zand in kon ophopen. In totaal zijn er inmiddels op het ca 600 ha grote landgoed Hackfort ruim 140 van dergelijke bronnen gevonden. De grootste daarvan is ca. 120 m doorsnee. Hieronder is een afbeelding opgenomen waarin de korrelgrootteverdeling binnen een kwelkrater wordt geïllustreerd.



Figuur 28. Korrelgrootteverdelingen in een kwelkrater.

Het mechanisme dat we veronderstellen achter deze vormen is een bijzonder krachtige en aanhoudende kwelstroom, die in staat is zand opzij te duwen tot een ringwal en uiteindelijk daar doorheen breekt. Dergelijke kwelstromen kunnen zich hebben voorgedaan onder invloed van grote drukverschillen. Die drukverschillen kunnen zijn veroorzaakt door tektoniek (Centrale Slenk in Noord-Brabant en tussen Zuidwolde en Ommen), maar vaker is het oorspronkelijk reliëf van het einde van het Eemien verantwoordelijk. Op dat moment bestonden drukverschillen tussen bijvoorbeeld de Centrale Slenk en de randen daarvan; de stuwwallen en flanken – en aangrenzende glaciële bekkens; de hogere delen van het Drents Plateau en randen daarvan en de smeltwatergeulen daarin.

Deze hoogteverschillen en dus de drukverschillen zijn momenteel aanzienlijk lager dan ten tijde van de vorming, als gevolg van erosie. Het verspoelde materiaal van bijvoorbeeld de Veluwe heeft de valleien van de Eem en IJssel gevuld. Een voorbeeld van het mechanisme van het opwellen en uitwerpen van fijnere sedimenten door tektonische werking, is te zien op de onderstaande figuur. Daarbij is tevens te zien dat er bij eenzelfde maaiveldligging verschillen bestaan in kweldruk en dus verschillen in opbouw van de ondergrond. Dat is te zien aan de geïsoleerde uitwerping in de achtergrond.

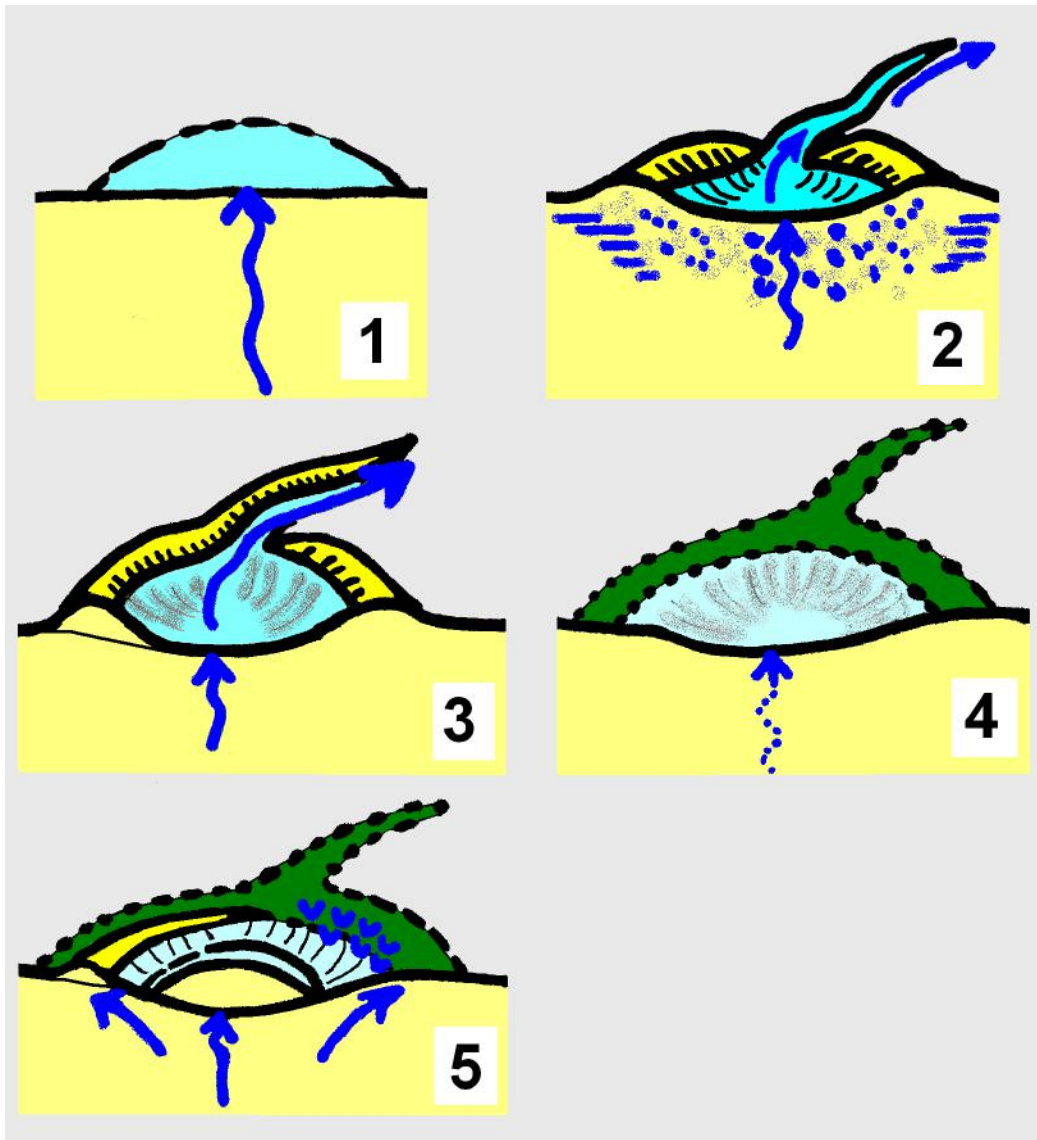


Figuur 4. Uitbraak van zand na een aardbeving in zuid Nederland (Bron: auteur onbekend)

De geïsoleerde heuvel die we in verschillende van deze ronde kwelvensters in het centrum aantreffen is nat gebleven door voortdurende kwel en heeft vervolgens zand ingevangen. Hoe sterker de kwelstroom, hoe hoger dus de bult in het midden van het hoefijzer.

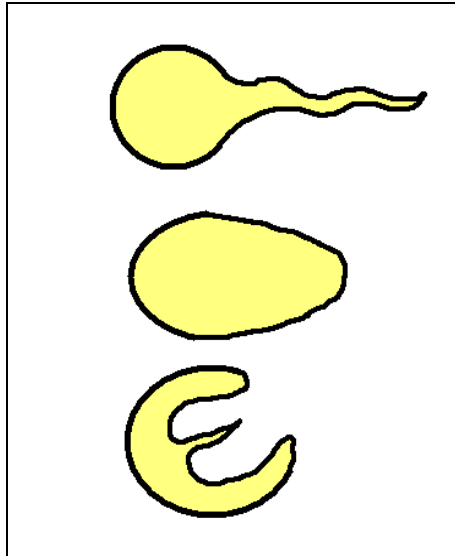
Momenteel zijn veel van deze kwelvensters nog min of meer in werking. We vinden dergelijke ronde kwelvensters in nagenoeg geheel pleistoceen Nederland in verschillende grootte. We veronderstellen dat ze op min of meer vergelijkbare wijze zijn gevormd. Die veronderstellingen over het ontstaan van ronde kwelvensters maken het mogelijk te voorspellen hoe de opbouw van de ondergrond moet zijn en waar men grover en fijner zand aan zal treffen: de verschillen in korrelgrootte leiden tot verschillen in erosiegevoeligheid; men mag verwachten dat de achterranden van ronde kwelvensters met hun fijnere korrelgroottes gevoeliger zijn dan de binnenkant en het hart met grovere korrels. Nader onderzoek naar de korrelgrootte binnen dergelijke dekzandruggen zou dus meer helderheid kunnen verschaffen over de juistheid van bovengenoemde interpretaties.

Een schematisch overzicht van het ontstaan van een kwelkrater is hieronder weergegeven in *Figuur* . Kwelwater stroomt uit (1) en werpt een ringwal op (2), deze breekt uit en een lange rug wordt gevormd (3). Na verdroging (4) verstuift de ringwal, maar wordt bij hervatting het eerst weer voorzien van water. Lokaal kunnen dus opnieuw dekzandruggen ontstaan (5 links) maar ook veen (5 rechts) en ook kan de kwelbron in het midden opstuiven.



Figuur 30. Het ontstaan van een kwelkrater.

Op en rond Hackfort werden ook enkele variaties op het thema kwelkrater gevonden: in mindere of meerdere mate verstopte puntbronnen. We spreken dan van kwelkoppen.

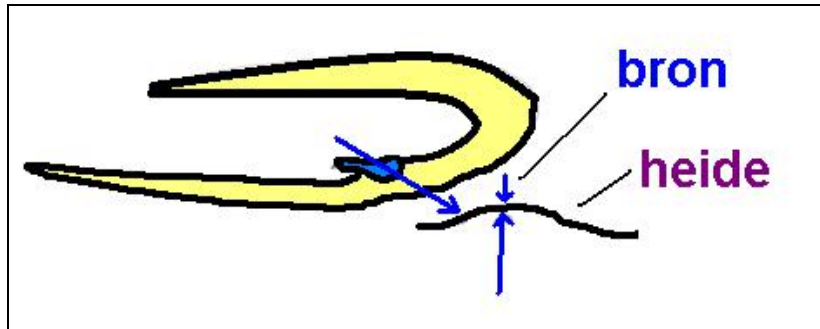


Figuur 31. Kvelkraters - van boven naar onder : kvelkrater met uitloop; geheel verstopte puntbron (min of meer eirond, door interactie van wind en water); dubbele puntbron, met krachtige stroming.

Kwelkoppen kunnen in verschillende afmetingen worden aangetroffen. Bij Hackfort ligt Huize de Voorst op het laatste type; het nabij gelegen Warnsveld op het middelste. Die bij Warnsveld is enkele honderden meters lang. Ook in Brabant hebben we kvelkoppen gevonden; één daarvan heet, karakteristiek genoeg, de Welberg. Terzijde zij opgemerkt, dat men als toponiem ook wel eens IJzerhorst of Weehorst aantreft. Dat verwijst dan naar de boerenervaring, dat koeien met bloedarmoede –geregeld verschijnsel na de stalperiode – die graasden op de (ijzerrijke) kvelkoppen van de wee (bloedarmoede) herstelden.

Bij onderzoek in de Gelderse Vallei, nabij Barneveld, werd een kvelkrater van werkelijk immense afmetingen aangetroffen: ca 13 km lang, bij een breedte van ca 4 km¹⁹. Op de binnenrand daarvan bevinden zich meerdere kleinere kvelkraters. De afmetingen van de grote omhullende krater laten zien, dat ten tijde van de vorming van enorme drukverschillen sprake moet zijn geweest. Op zich is dat alleen begrijpelijk bij een hoogteverschil dat aanzienlijk groter is dan nu het geval is – deze structuren moeten dus zijn gevormd bij een nog minder gerodeerde stuwwal. De kwaterwand is daarbij, mag men veronderstellen, vooral opgebouwd uit goed doorlatend materiaal en op de binnenwand daarvan vormden zich, na het verminderen van de drukverschillen, kleine kraters. De omhullende grote kraterwand fungeerde daarbij als vereffeningsinstrument voor drukverschillen en kennelijk was er van enige asymmetrie sprake, want nadat men beken had aangelegd en de grondwaterstanden dus wat had verlaagd, ontwikkelde zich op de hele noordzijde heide, terwijl op de zuidelijker tak, die ook langer is en dus altijd al wat meer voeding kreeg, alleen lokaal heiden ontwikkelden. Het vreemde is nu, dat men in die zuidelijke arm naast elkaar laaggelegen heiden en hoger gelegen bronnen kan vinden!

¹⁹ G.J.Baaijens, F.H.Everts & N.P.J. de Vries (in voorber.): *Vloeiweidesysteem Klein Bieler – leven op kvelkraters. Lab. voor Plantenecologie/EGG consult Everts & de vries. Haren/Groningen.*



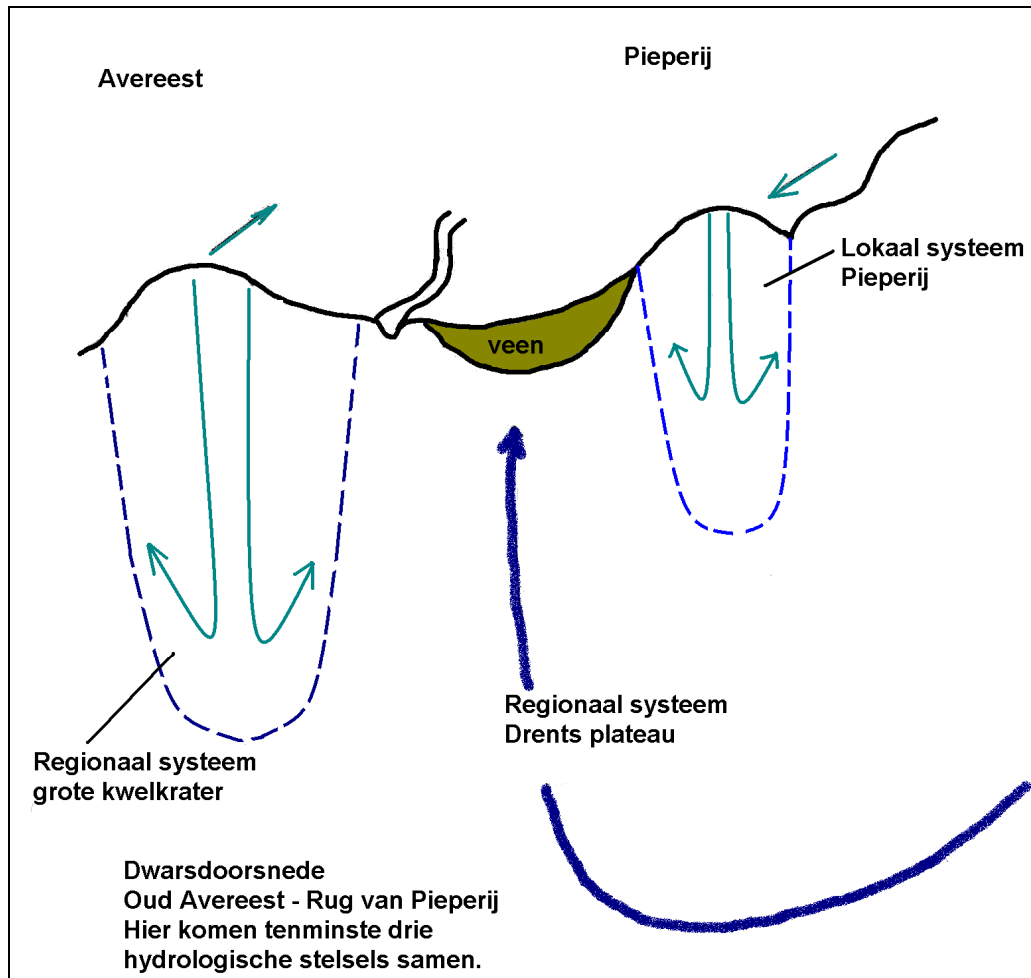
Figuur 32. Lage heiden en hoge bronnen

De verklaring daarvoor is dat de bron laag aan de binnenzijde van de kraterwand wortelt en de voeding dus niet vanuit het aangrenzende heideveldje krijgt, maar vanuit een groter, achterliggend systeem. Terzijde zij opgemerkt, dat ontwerpers van verbindingzones in dit soort "verbrokkelde" systemen dus niet het resultaat van versnippering mogen zien – tenzij men de oorspronkelijke situatie, dus zonder beken, zou willen herstellen – maar dat die gescheiden heideveldjes nu juist kenmerkend voor het systeem zijn en, daarmee, de sleutel voor een beter begrip daarvan..

Kort na de ontdekking van deze structuur werd ten zuiden van Zuidwolde (Dr.) een vergelijkbare structuur ontdekt: een "kleine" krater (ca 2 km doorsnee) in de wand van een kwelkrater van ca 20 km doorsnede. Binnen die grote ringwal komen dekzandruggen voor, die als spaken in een wiel op het centrum gericht zijn, maar in het zuidwesten is de ringwal kennelijk op enig moment doorbroken. Van de "kleine" krater is de ligging in het grotere systeem op bijgaande tekening aangegeven en voorts is een dwarsdoorsnede gegeven, die illustreert hoe juist buiten die krater een drietal systemen met elkaar interfereert²⁰. De buitenrand van de kleine krater was zó nat, dat een daarin aangelegde turfwijk telkens weer instortte. Dat leidde tot de naam de Ongelukkige Wijk en het nabij gelegen Drogteropslagen, werd daarnaar als Het Ongeluk aangeduid²¹.

²⁰ Ontleend aan bijl. 6 in C-mer(2003):Toetsingsadvies over het milieueffectrapport Herinrichting Zuidwolde-Zuid en de aanvulling daarop. Utrecht.

²¹ W. de Boer (1993): Drogteropslagen "toen en nu". Dedemsvaart. Een opmerkelijk verschijnsel is intussen, dat de buitenwand van de omhullende "grote" krater genoeg draineerde dan dat het immense noordelijk ervan liggende hoogveen waaraan Hoogeveen haar naam dankt er moeiteloos haar neerslagoverschot in kwijt kon. In die zin dringt zich de parallel op met de kwelkrater bij Barneveld die we hiervoor bespraken.



Figuur 33. Systemen bij Zuidwolde (profiel).

De vraag waardoor de drukverschillen veroorzaakt werden die tot een zo enorme structuur leidde, met een stroming die krachtig genoeg was dan dat een stuwwal meters diep versneden werd, bleef bij die gelegenheid open. Het vermoedelijke antwoord kwam in Brabant. Daar werd een vergelijkbare structuur gevonden, met Veghel in het hart. De achterrand ervan, het deel van de Midden-Brabantse dekzandrug²² oostelijk van de Dommel, kent echter niet of nauwelijks kwel – alleen enkele min of meer ingesloten laagten hebben vermoedelijk enige oppervlakkige toestroming: Böllingveen in het centrum²³ levert vermoedelijk een slecht doorlatend laagje.. Toch heeft deze structuur veel weg van een kwelkrater en aan de westelijke uiteinden ziet men zelfs wat kleinere verwante structuren.

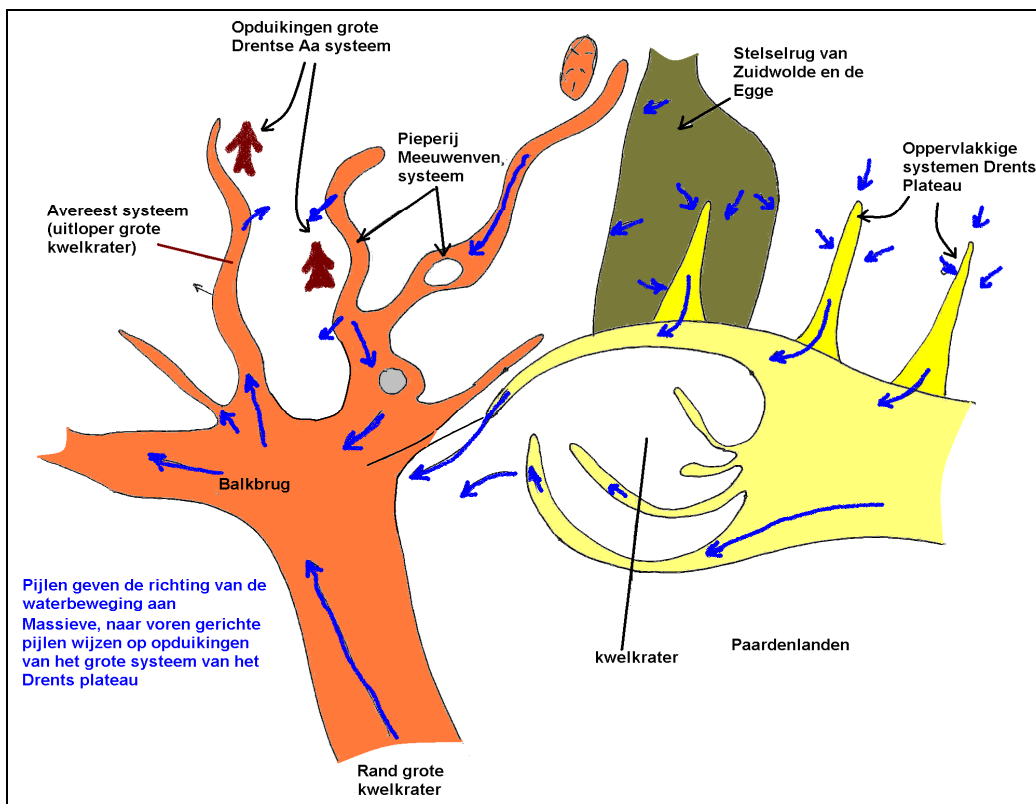
Het antwoord ligt mogelijk in een vergelijkbare tektonische gebeurtenis als zorgde voor de verlegging van de Maas²⁴ naar het huidige stroombed. Een

²² Bestudering van de AHN laat zien, dat van een enkele rug geen sprake is. De zuidrand ligt niet in elkaars verlengde en het westelijke deel vormt ook geen eigenlijk rug, maar bestaat uit een aaneengesloten strook drogere (podzol-)gronden, vroegere heidevelden. Oostelijk van de Dommel is wel van een duidelijke rug sprake.

²³ J.H.Bisschops (1982): Toelichtingen bij de geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Eindhoven Oost 51 O.2^e druk. Haarlem.

²⁴ O.m.T.E. Wong et al.(2001): Toelichting bij kaartbladen XIII en XIV Breda-Valkenswaard en Oss-Roermond. Geologische atlas van de diepere ondergrond van Nederland. Utrecht. J. Vandenberghe, L.Krook & L. van der Valk (1986): On the provenance of the early-pleistocene fluvial system in the southern Netherlands. Geol. en Mijnb. 65:3-12.

kleine daling van het maaiveld – en we zitten hier bij een forse synclinaal met een reeks breuken in de (miocene) basis van de Boven-Noordzeegroep, die een snijpunt bij Veghel vertonen²⁵ – en, daarmee, een verandering van de helling van het maaiveld lijkt het ingesloten water onder grote druk te hebben gezet. Dat lijkt de achtergrond van dit soort reusachtige structuren in zowel het oer-Vechtdal als hier. Opmerkelijk is daarbij, dat de zuidrand een indeuking vertoont, die op afschuiving lijkt te wijzen, dat zuidelijk van de kraterrand een fossiel vlechtend stelsel wordt aangetroffen, wat wijst op hoge stroomsnelheden en, daarna, tamelijk abrupte verdroging en dat Wiggers er de dikste dekzandruggen van ons land aantrof (tot 15 m)²⁶. Vooral dat laatste lijkt op een forse maaiveldsdaling te wijzen en in dat beeld van sterk toenemend verhang past ook eigenlijk wel zo'n vlechtend stelsel, naar het zich laat aanzien. Het zuidelijk liggende deel lijkt daarbij zoveel lager te zijn komen te liggen, dat zich langdurig een afwateringsstel vanaf de Peelhorst naar het noordwesten kon ontwikkelen²⁷. We vermoeden, dat de benedenloop daarvan zichtbaar is in een kwelkrater bij Liempde. Als dat zo is, is het een mooi voorbeeld van kruisende stelsels.



Figuur 34. Systemen bij Zuidwolde (bovenaanzicht)

Belangrijker voor de dag van vandaag is echter, dat de achterrand zich als een vereffeningsinstrument voor drukverschillen lijkt te gedragen. Bij een aantal gelegenheden is het drukverschil met de Peelhorst toegenomen door afschuiving en de nevenkraters aan het uiteinde van de meest westelijke hoorn van de Veghelse krater lijken daar mee samen te hangen. Dat wijst op een opbouw, die uit betrekkelijk grof materiaal moet bestaan, terwijl het

²⁵ Zie Wong et al., op.cit., de aansluitende kaartbladen XIV.

²⁶ A.J.Wiggers (1962): Med.Geol.St.N.S. 15

²⁷ Zie Bisschops, op.cit. Helaas is op het aansluitende blad Eindhoven West van een vergelijkbare kartering geen sprake.

centrum min of meer verstopt lijkt. Ook hier, net als bij Zuidwolde, zien we overigens een structuur van dekzandruggen, die, vooral vanaf de Peelhorst, alle min of meer naar het centrum wijzen en de neiging hebben smaller te worden. Dat wijst op wegzijging.

In dat beeld van wegzijging past ook, dat het zoet-zout-scheidingsvlak hier weggedrukt lijkt te zijn. Sinds Meinardi's baanbrekende studies over opwelling van zoet-zout-scheidingsvlakken door diepe stroombanen ter weerszijden van het Veluwe-massief²⁸ is men geneigd om, enerzijds, dergelijke vlakken als min of meer vaste systeemgrenzen te beschouwen, zowel in het horizontale²⁹ als het verticale³⁰ vlak, en, anderzijds, zoet water altijd als drijvende kracht van onder af te beschouwen. Niet dat Meinardi aanleiding geeft tot dergelijke gedachten, overigens, maar men zou bijna vergeten, dat ook het wegdrücken van zout water een algemeen verschijnsel is – met als beroemdste voorbeeld natuurlijk de zoetwaterlens onder de kustduinen – terwijl ook, langs breukvlakken bijv., zout of brak water omhoog geperst kan worden. De (vroegere) voorkomens van brakwatersoorten in het Kromme Rijngebied en de Vechtstreek, geregistreerd door Gevers Deynoot³¹, zijn daarvan getuigen.

Het illustreert, dat van eenduidige verklaringen voor de diepteligging van het zoet-zout-scheidingsvlak geen sprake kan zijn. De diepteligging van mariene miocene kleien is primair bepalend, maar langs lekkende breukranden is opwaartse beweging van sterk halien water van, bijvoorbeeld, Carboon ouderdom mogelijk. Anderzijds lijkt in de Centrale Slenk de ligging bepaald door tektonische beweging: de diepe zoetwaterzak onder Eindhoven lijkt onder invloed van in die richting afhellende afzettingen en door de daaraan ten grondslag liggende tektonische bewegingen van zowel de Peelhorst als het Kempisch Plateau tot stand te zijn gekomen: het zoete water is er als het ware ingeperst en de helling van slecht doorlatende lagen blijft bepalend voor de instandhouding ervan. En onder de kraterrand van Veghel lijkt van een stabiele toestand nog geen sprake te zijn.

De vraag wat nu precies bepalend is, is niet alleen theoretisch van belang, want de diepte van zoetwaterlensen bepaalt ook de drukverschillen in kwelgebieden. Een kleine greppel in een infiltratiegebied kan daardoor, omdat de opbolling maatgevend is, samen met de horizontale uitbreiding van het

²⁸ O.m. C.R. Meinardi (1974): *De chemische samenstelling van het grondwater van de Veluwe. RID-med. 74-4. Z.pl.*; S.Jelgersma & C.R.Meinardi (1979): *Toelichting bij de hydrogeologische gegevens van Gelderland en Flevoland. Haarlem/Voorburg. Bijl. bij T.J. van de Nes & E.Romijn (red.): Een systeembenadering voor de waterhuishouding van Gelderland. Verkorte versie van het eindrapport van de Commissie bestudering waterhuishouding Gelderland. Arnhem, 1980. Voor brakwateropwellingen in de Alblasserwaard had Meinardi dat al eerder betoogd, n.a.v. het proefschrift van W. Geirnaert (1973): *The hydrogeology and hydrochemistry of the lower Rhine fluvial plain. Leidse Geol.Med. 49:59-84.**

²⁹ Alle waterbeweging zou zich dan daarboven afspelen. Deze redentatie leidde tot de beschouwingen over het effect van bruinkoolwinning op grondwaterstanden in Brabant.

³⁰ Brakwaterwellingen worden dan beschouwd als grenzen tussen hydrologische systemen. Op die regel lijken minder uitzonderingen te zijn.

³¹ P.M.E.Gevers Deynoot (1843): *Flora van Utrecht. Utrecht. Een heruitgave werd in 1970 bezorgd door J.T. de Smidt en F.A.Stafleu, die in hun voorwoord terecht en met verbazing op die brakwaterinvloed wezen. E. van der Maarel (Enkele opmerkingen over de flora van Utrecht. Gorteria 6(1972)17-19), meende er zouttongen op de Vecht in te zien. Voor het Kromme Rijngebied kan dat zeker niet gelden en daar zijn soorten als Heemst, Zulte, Engels Gras en Zilte Zegge gevonden. Interessant in dit verband is overigens, dat een Moorse gezant, Ibrahim ibn Ahmed ad-Tartusch in 973 melding maakte van zoutsteppen rond Utrecht. Men heeft daar hoogvenen in willen zien (M.Succow & L.Jeschke (1990). Moore in der Landschaft. Thun/Frankfurt/Main), maar het lijkt niet echt waarschijnlijk dat iemand die met zoutsteppen vertrouwd is die met hoogvenen verward zou hebben. De brakwaterinvloed is beëindigd door de aanleg van het Amsterdam-Rijnkanaal.*

systeem, voor de diepte van de onderliggende zoetwaterzak, een groot effect hebben op de kwel elders. De Wet van Badon-Ghyben-Herzberg geldt bij alle dichtheidsverschillen. In dit licht moet men ook het effect van beekaanleg zien: door kwelkoppen af te tappen kon daardoor de regenwaterinvloed lokaal toenemen. (Zie voor een nadere uitleg het INTERMEZZO).

Zo'n slootje in een rug laag in het systeem kan er dus toe leiden, dat men, als men grondwaterstandsbuizen met filters op verschillende diepte in die rug plaatst, al snel in basenverzadigd water belandt. Waar in de meest kalkrijke jonge duinen gewoonlijk toch een passage van 15 m nodig is om basenverzadiging te bereiken, moet het dus als "verdacht" beschouwd worden wanneer binnen die afstand al "gerijpt" grondwater wordt aangetroffen. Die argwaan blijkt maar weinig onderzoekers aan te kleven, met als gevolg dat men de omvang van de te beschrijven systemen grotelijks onderschat en buitengewoon belangrijke zaken, als eenvoudige herstelmogelijkheden, mist. Voor natuurbeheerders is deze kwestie van belang in die zin, dat zelfs demping van gewoonlijk droogstaande sloten een niet te onderschatten bijdrage levert aan herstel van de oorspronkelijke hydrologische systemen en, daarmee, aan vergroting van de bergingsmogelijkheden en bevordering van basisafvoer van beken en kwel in lager gelegen gebieden. Versimpelend: demping van de sloten in de Chaamse bossen leidt tot vermindering van de overstromingsrisico's bij Breda., eenvoudig omdat, in cultuurtechnische termen, de reactiefactor van het systeem gewijzigd wordt in een, vanuit waterbeheersingsoogpunt, positieve zin. En de kwel in de Haagse Beemden wordt er, langs een omweg, door bevorderd.

INTERMEZZO – De Wet van Badon Ghyben-Herzberg

De Wet van Badon Ghyben-Herzberg geldt bij alle dichtheidsverschillen. In dit licht moet men ook het effect van beekaanleg zien: door kwelkoppen af te tappen kon daardoor de regenwaterinvoer lokaal toenemen. Onafhankelijk van elkaar ontdekten rond 1900 een Nederlandse (Badon Ghyben) en een Duitse ingenieur (Herzberg), dat onder duinen het zeewaterniveau niet doorliep, maar dat zich daar een min of meer eirond complex zoet water bevond, dat met de stompe kant boven het zeeniveau uitsteeg en er met de spitse kant diep instak. De hoogte van de opbolling en de duinen en de diepte van de zoetwaterzak daaronder bleek afhankelijk te zijn van het verschil in dichtheid (het soortelijk gewicht, zou men kunnen zeggen) van zoet en zout water. duincomplex. De door hen beschreven wetmatigheid staat bekend als de wet van Badon Ghyben-Herzberg of Ghyben-Herzberg³².

De Wet van Badon Ghyben-Herzberg is voor rekenkundige exercities eigenlijk alleen toegepast bij infiltratiewerken in duingebieden, waar door grondwaterwinning zout water omhoog kwam en de winningsputten bereikte. Verwaarlozing van die betrekkingen in het binnenland is regel, maar niet altijd gerechtvaardigd. Die wet wordt gewoonlijk verwaarloosd in studies in zoete gebieden, maar ook daar komen dichtheidsverschillen voor, bijv. tussen infiltrerend regenwater en uittredend grondwater. De verschillen zijn weliswaar gering – in de duinen leidt het verschil in dichtheid van zeewater en zoet water tot een zoetwaterzak die ongeveer 40 x zo diep steekt als de opbolling boven zeewaterniveau hoog is – maar naarmate ze geringer zijn, zal de infiltratiediepte toenemen. Dat heeft in Brabant bijvoorbeeld gevolgen voor de ligging van het zoet-zout-scheidingsvlak, dat hier is gedefinieerd als het vlak, waar het grondwater 100 mg chloride/l heeft³³.

Een ander gevolg van een dergelijke verwaarlozing is, dat ecohydrologen menen basenverzadiging te zien waar in werkelijkheid van ontwateringseffecten sprake is³⁴. Bij infiltratie van regenwater in een rug zal verdringing van het onderliggende water plaats vinden. Omdat water niet samendrukbaar is, zal elders water uittreden en onder de rug zal zich op den duur een regenwaterbel vormen, waarvan de diepte bepaald wordt door dichtheidsverschillen met het omringende, basenrijkere water

³² De relatie is in elk handboek over hydrologie te vinden, bijv. in D.K.Todd 1959): *Ground water hydrology*. New York/London/Tokyo of J.J. de Vries(1980): *Inleiding tot de hydrologie van Nederland*. Amsterdam. De afbeelding is uit: I.W. Nortier en H. van der Velde (1961) *Hydraulica voor waterbouwkundigen*. Technische Uitgeverij Stam; Culemborg. Ook de breedte van het duincomplex speelt een rol, omdat altijd stroming optreedt en van een statische toestand nooit sprake is. Een voorbeeldige samenvatting van de verschillende complicaties, toegespitst op Nederlandse omstandigheden, is te vinden in T.W.M. Bakker(1981): *Nederlandse kustduinen – geohydrologie*. Diss. LH Wageningen. Wageningen.

³³ Elders is 300 mg/l gangbaar. Elke grens is willekeurig, maar afgaand op de indikking als gevolg van verdamping van regenwater zou ca 30 mg/l als grens genomen moeten worden. De 300 mg Cl/l komt voort uit de bovengrens van water, dat nog voor veedrenking geschikt is. De 100 mg grens in Brabant lijkt vooral ingegeven te zijn door de wens althans nog iets zichtbaar te kunnen maken op kaarten. Daarbij wordt er aan voorbijgegaan – en vanuit een oogpunt van systeembeschrijving is nu juist die vraag van belang – of dat niveau bepaald wordt door verzoeting van een van oorsprong zoute ondergrond, dus door neerwaartse beweging, door verzilting van door opwaartse beweging van stroomopwaarts geïnfilteerd zoet water, of door tektonische oorzaken, m.a.w. het opwaarts rijzen van oudere mariene afzettingen. Dat laatste lijkt bepalend voor de brakwateropwelling in het centrum van het Land van Heusden en Altena en dat proces beïnvloedt het afstromingspatroon van de gronden westelijk van de Centrale Slenk en lijkt, daarmee, bepalend voor de strekking van dekzandruggen in het westelijke deel van diezelfde Slenk.

³⁴ Uit piëteit met de betreffende onderzoekers zien we hier af van literatuurverwijzingen.

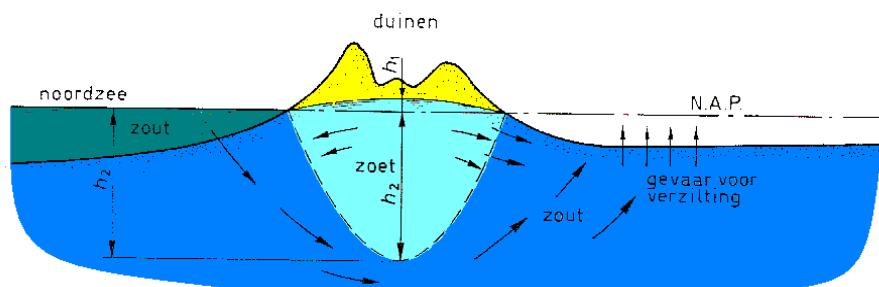


Fig. I. 18

Het zoete water ($\gamma = 1000 \text{ kgf/m}^3$) mengt zich bijna niet met het zwaardere zeewater ($\gamma = 1025 \text{ kgf/m}^3$). Het drijft als het ware op het zee-water zoals ook lichte olie op water drijft (fig. I. 18).

Voor de toestand van *evenwicht* moet gelden :

$$\gamma_{\text{zout}} \cdot h_2 = \gamma_{\text{zoet}} (h_1 + h_2)$$

Deze betrekking is reeds in 1889 door de genie-officier Badon Ghyben afgeleid.

Figuur 35. Illustratie van de betrekkingen in de wet Badon Ghyben-Herzberg.

Als, wat in lagere delen van het gebied regel is, de infiltratie bemoeilijkt wordt door toestroming van water van elders, zal het neerslagoverschot zijdelings afstromen naar laagten – dat is het proces dat in het Atlanticum geleid heeft tot veenvorming in diezelfde laagten. In die dichtheidsverschillen schuilt ook de verklaring voor geneste systemen: het hoogste punt in een stroomgebied zal een 'infiltratiekegel' genereren, wat lagere hoogten binnen datzelfde stroomgebied doen hetzelfde en als gevolg van de interactie zal een reeks infiltratiekegeltjes ontstaan, ingebed in een door het hoogste punt bepaalde stelsel³⁵.

Consequentie daarvan is, dat wanneer in een infiltratiegebied een ondiep slootje wordt gegraven de infiltratiebel aanzienlijk minder diep wordt en de kwel in het aangrenzende lagere deel sterk afneemt: die wordt immers mede bepaald door de 'infiltratiekegel'. Een slootje aan de rand van een hoogte, die bepaald werd door toestroming van water van elders, anderzijds, leidt tot ontwikkeling van een 'infiltratiekegel' onder die hoogte en daarmee wordt dus niet alleen de kwelstroom afgetapt, maar geconcentreerd in de nieuwe watergang. Daarin schuilt de ratio van de middeleeuwse beekaanleg; daarin ook schuilt de ratio van de van de ene flank van het beekdal naar de andere wippende beken als de Berkel en de Dommel en tientallen, zoniet honderden andere beken.

³⁵ Een en ander wordt overigens gecompliceerd doordat die dichtheid en de dichtheidsverschillen niet constant zijn, maar door oplossing van stoffen geleidelijk veranderen en het aanbod aan oplosbare stoffen niet gelijkmatig verdeeld behoort te zijn.

4.5 Ringwaloze laagten en forten

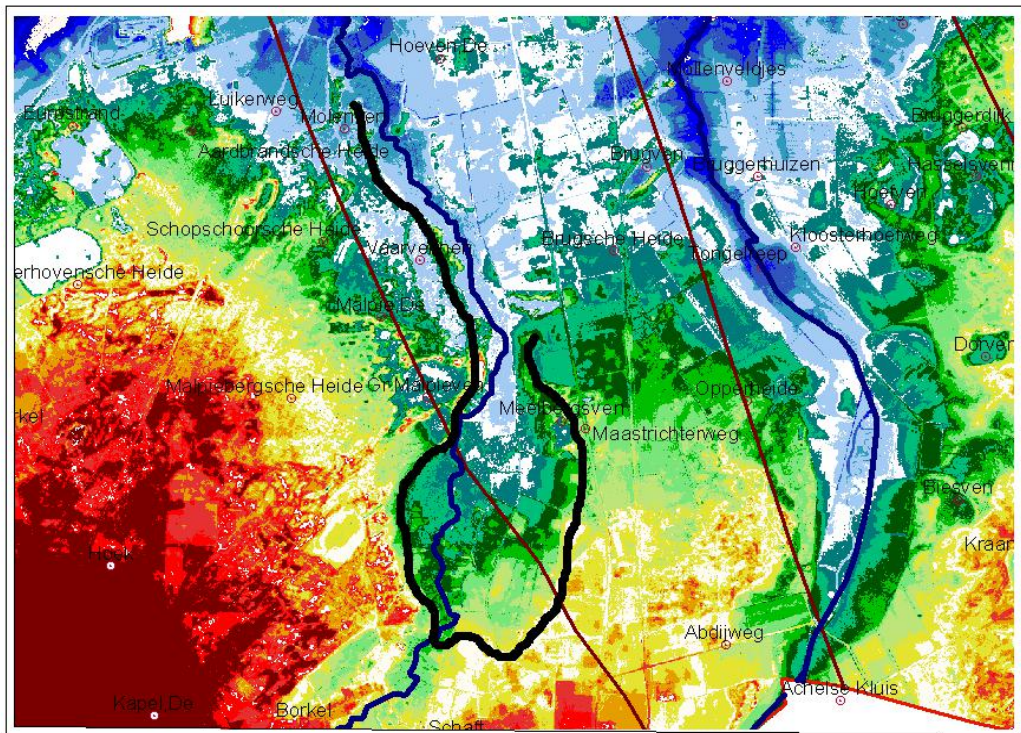
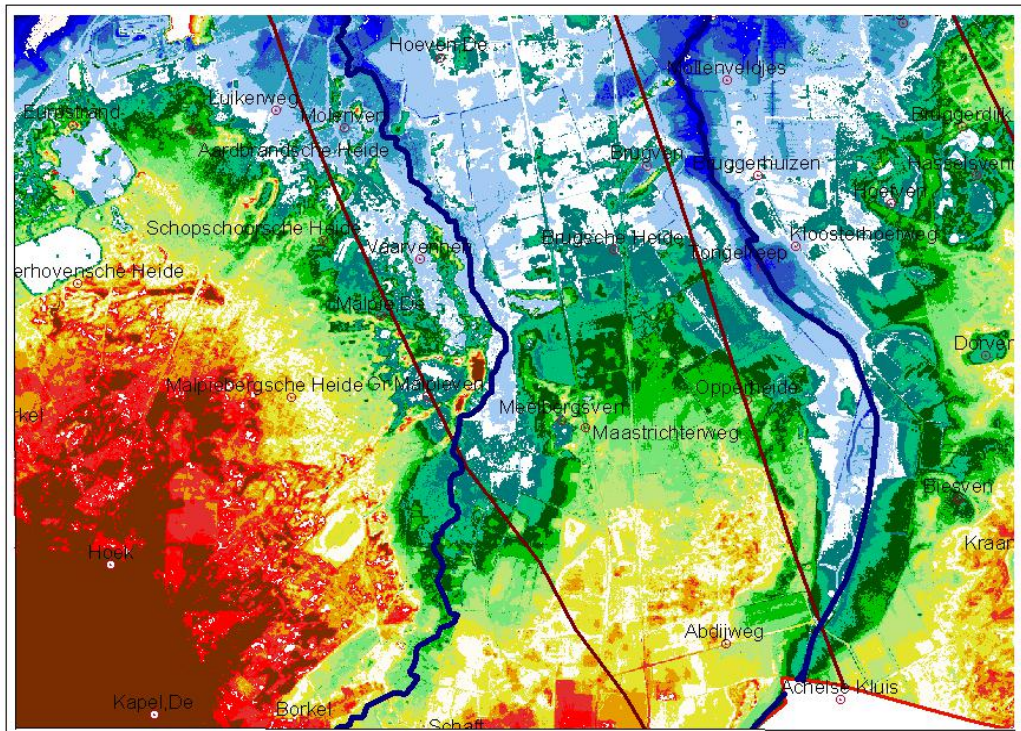
In sterk contrast met de hierboven besproken pingo's staan de ringwaloze laagten. Dit type laagten is gevormd onder invloed van lokale wegzijging en de ondergrond kan eventueel wat lemig zijn. Vegetaties lopen uiteen van berkenbroekbos tot vochtige heide en hoogveen en alles ertussen. De zeer vlak oplopende bodems bieden in de randen vaak goede kansen op het voorkomen van soorten als Rondbladvige Zonnedauw, Witte Snavelbies, Gevlekte Orchis, Klokjesgentiaan, Moeraswolfsklauw en Bruine Snavelbies.

Ringwaloze laagten zijn in het algemeen ook nu nog door wegzijging gekenmerkt. Als er vochtige heide groeit of veenvorming plaats heeft gevonden, is dat afhankelijk van de slechte doorlatendheid van de ondergrond. Als dat leem is -zoals lokaal in Noord-Limburg- kan verlaging van de diepere grondwaterstanden tot scheurvorming en dus lekkage leiden. De slechte doorlatendheid kan echter ook samenhangen met ingespoelde humus, in de vorm van gliedelaagjes op de grens van zand en veen. Daarnaast, of in plaats daarvan, kan ook verkitting door ingespoelde humus in de zandondergrond plaats vinden. Dat kan zich bij textuursprongen voordoen (een abrupte verandering in korrelgrootte), zoals bij sommige veentjes in de boswachterij Gieten zich dat voor lijkt te doen. Grof zand rust hier op fijner zand en op het grensvlak lijken verkitte lagen op te treden.

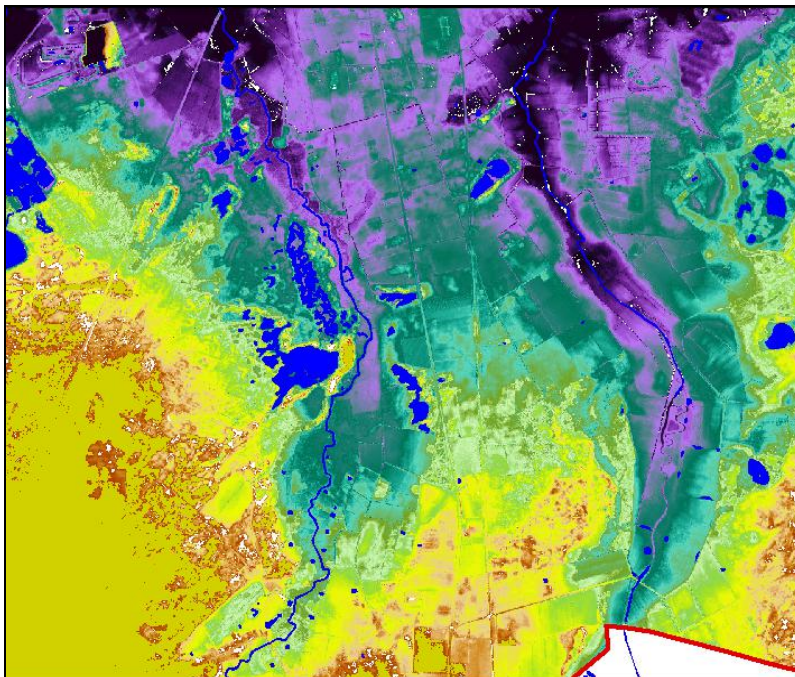
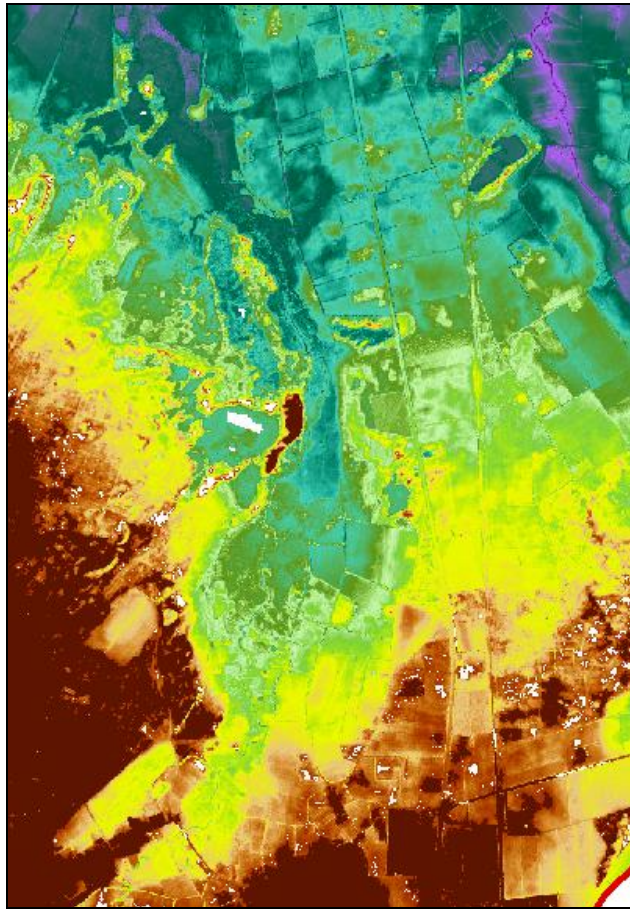
Een soort intermediair tussen ringwaloze laagten en grondwatergevoede kwelvensters vonden we bij terreinbezoek aan de Grootte Heide in Noord-Brabant. In de onlangs geplagde oevers van een ven troffen we op een zeer klein oppervlak een plekje met ijzeroer aan en wat lager, in het ven zelf, Gele Lis. Dit wijst dus op aanvoer van lokaal ijzerrijk grondwater uit de omgeving. De afhankelijkheid van de omgeving lijkt in de Brabantse veentjes ook groter te zijn dan in de Drentse veentjes. De vegetatie van de Brabantse veentjes is, waarschijnlijk daarom ook meer mesotroof (zie bijv. Westhoff et al. 1973: Wilde Planten 3). Mesotrofie kan overigens ook samenhangen met waterberging - veel Brabantse vennen werden, nadat het hoogveen verwijderd was, gebruikt voor waterberging en het peil werd er in de zomer kunstmatig verlaagd.

Men vindt er tamelijk regelmatig een nieuwe vorm van omkering van het reliëf: door verdroging en overbeweiding kreeg de wind vat op de omgeving en als gevolg daarvan kunnen veentjes nu hoger liggen dan hun omgeving. Men spreekt dan wel van 'plateaveentjes' of, indien de overstuiving compleet is, van 'forten'. Het verschijnsel is bij praktisch elke zandverstuiving in ons land waarneembaar. Het leidt -in de gespaarde veentjes- tot een soort "kunstmatige mesotrofiëring": door ingewaaid zand wordt de warmtehuishouding waarschijnlijk gewijzigd, omdat een mengsel van zand en veen eerder opwarmt dan puur veen. Daardoor wordt veen er iets sneller afgebroken dan in onbezande veentjes en daarbij komen meer nutriënten vrij. Door het zand verschuift ook de verhouding van opgeloste ionen; er komt iets meer kalk en magnesium vrij. De ionenverhoudingen, belangrijke ecologische factor, verschuiven daardoor in een richting, die normaal gesproken slechts in de randen van grotere veentjes wordt aangetroffen. Soorten van die randen, zoals Beenbreek, Gevlekte Orchis, Veenbloembies, Waterdriehblad, Veenmosorchis, Veenmoszegge, Wateraardbei, e.d. kunnen daardoor naar verlandingsvegetaties in veenputjes verschuiven.

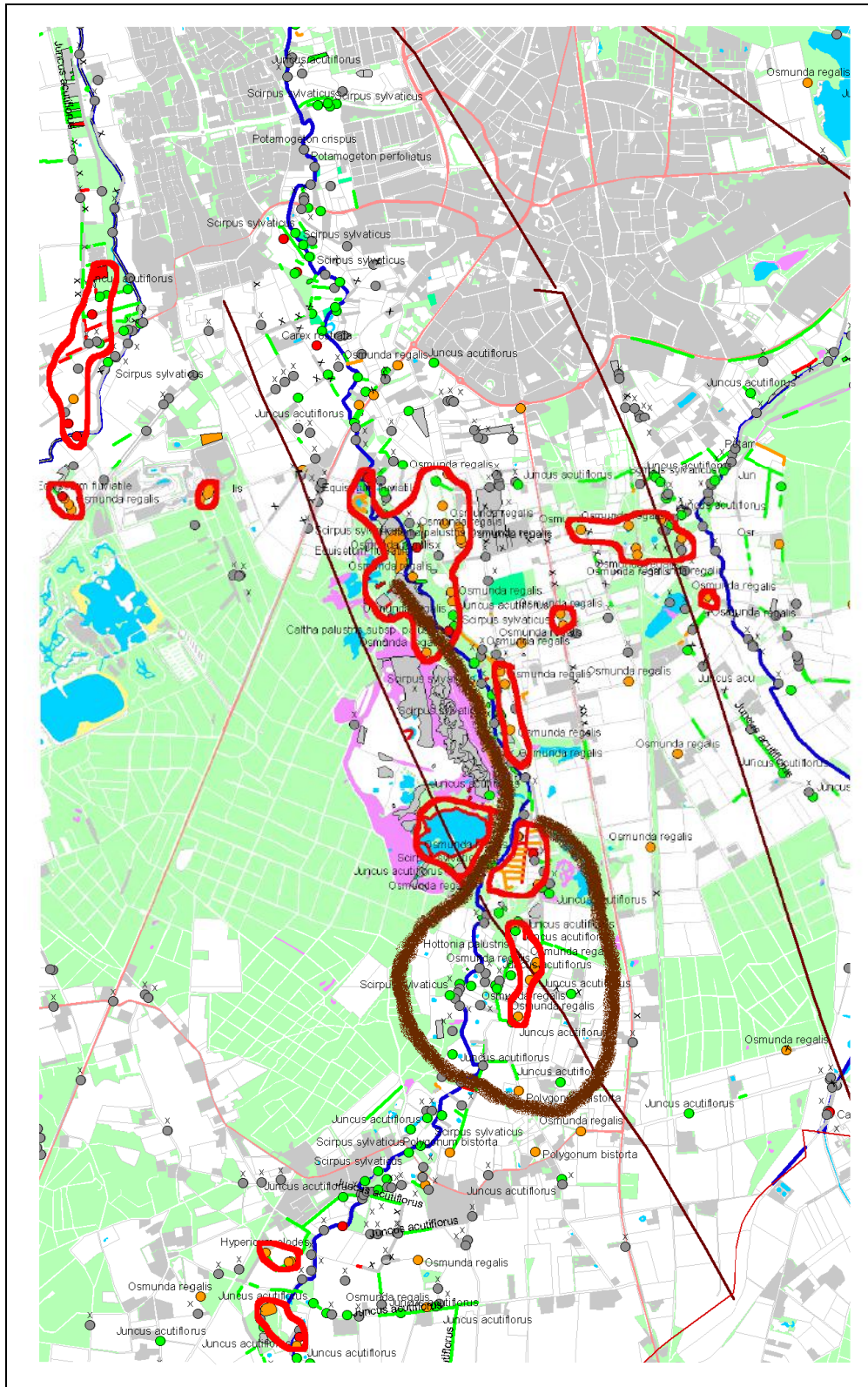
Ingespoelde humus kan ook uitvlokken bij contact met basenrijker water, als gevolg van een pH-sprong. Dat laatste zien we geregeld aan de randen van beekdalen: met het infiltrerende regenwater meegevoerde opgeloste humuszuren vlokken dan uit op het grensvlak met basenrijk water. Dergelijke systemen zijn ook gevoelig voor grondwaterstandsverlaging (Verschoor e.a. 2001): de schotelvormige slecht doorlatende uitvlokkingsslaagjes lossen dan aan de laagste kant op en de schotel krijgt als het ware een schenktuitje. Dergelijke lekke vennen zijn te herkennen aan voorkomens van, bijvoorbeeld, Vlotgras, dat de lekke plekken markeert: daar vindt iets meer doorstroming plaats. Aan de beekdalzijde is vaak sprake van voorkomen van Gagel met daaronder Pijpenstrootje; als de laatste soort zich uitbreidt naar de venbodem levert dat een extra aanwijzing voor lekkage (Everts & de Vries 1991, Everts e.a. 2004).



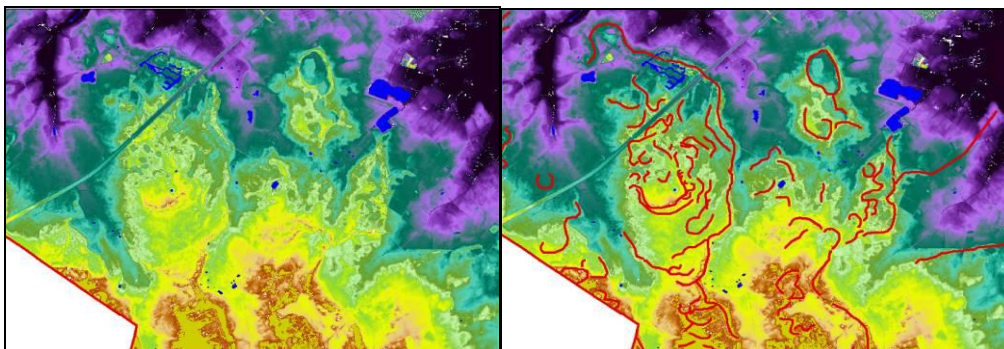
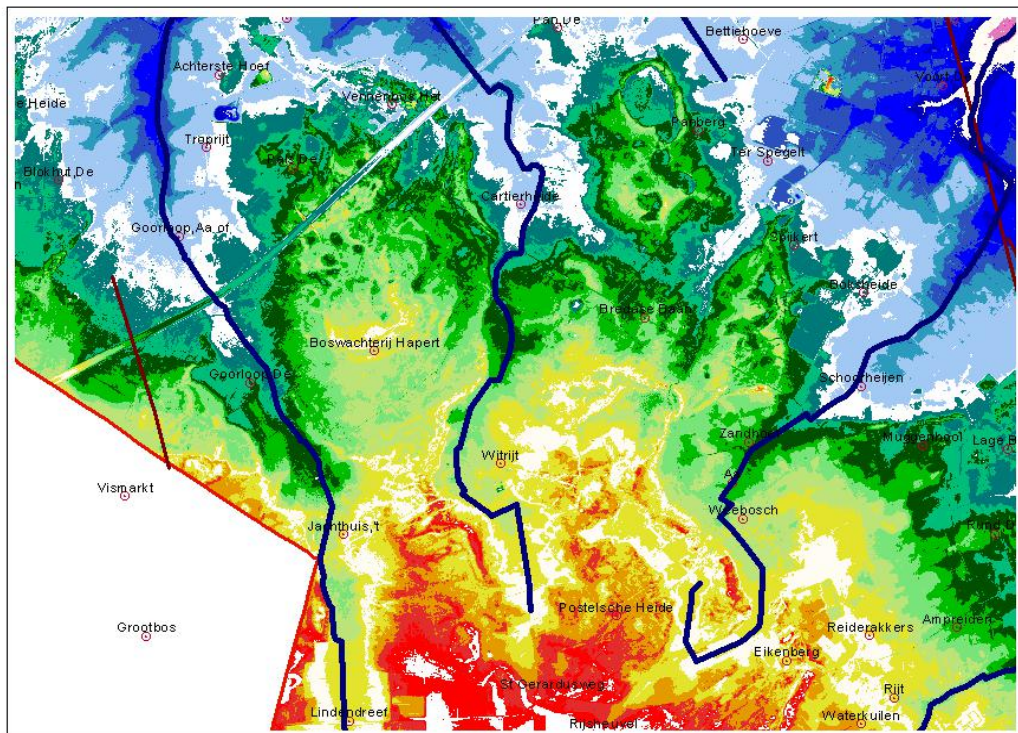
Figuur 36. De kwelkrater van de Malpie met een diameter van ca. 800 m. Op de onderste afbeelding is de contour van de kwelkrater met een zwarte lijn verduidelijkt.



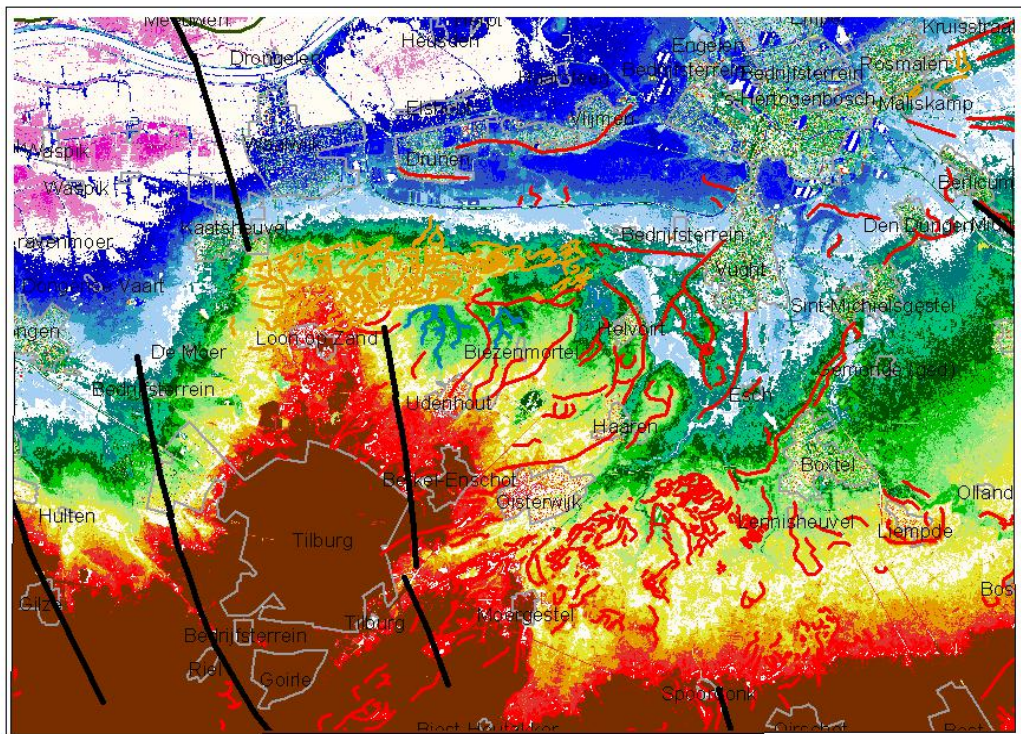
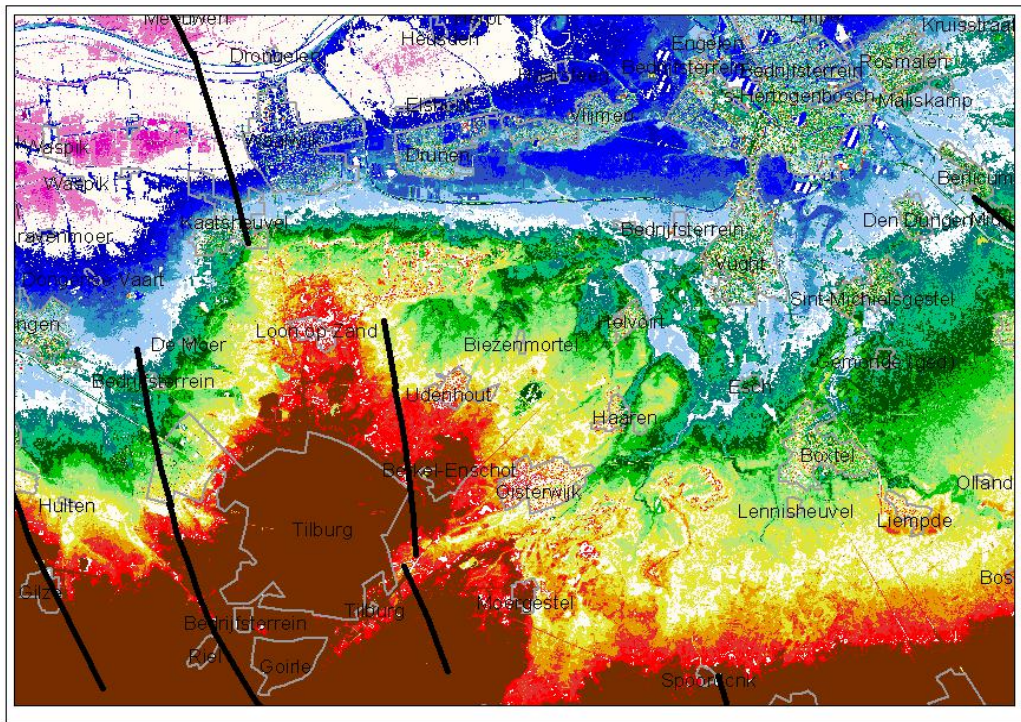
Figuur 37. Kwelkraters: twee afbeeldingen van de kwelkrater van de Malpie met de Bosatlas kleurenset. Vooral op de bovenste afbeelding is de hogere rand aan de westzijde van de Dommel goed zichtbaar. Deze zijde kreeg dus de meeste kwel aangevoerd en kon dus het hoogst opstuiven.



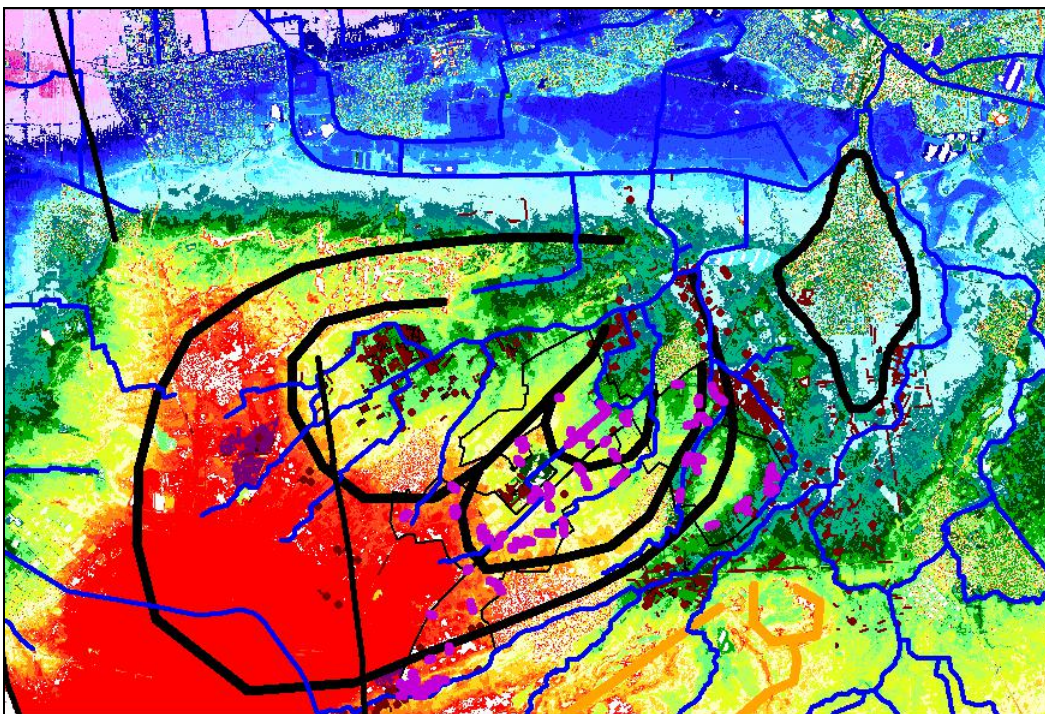
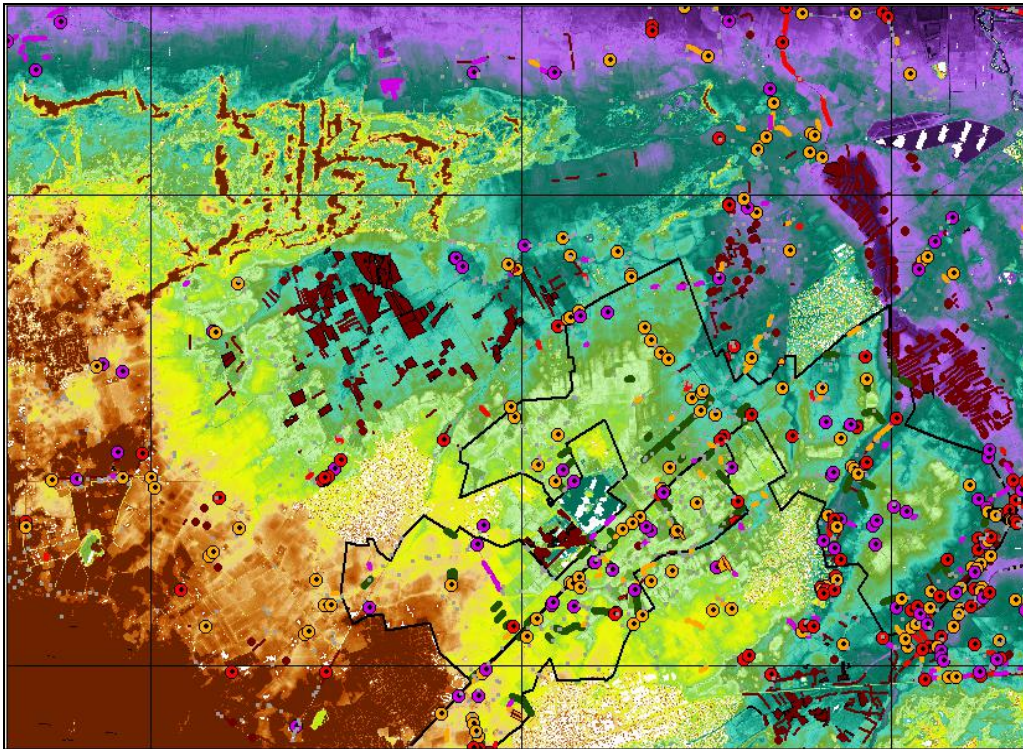
Figuur 38. Kwelkraters: de locaties van kwelindicerende soorten. Deze zijn met rode lijnen omkaderd. Zoals verwacht mag worden is er kwel in het hart van het systeem en langs de rand waar de meeste voeding plaatsvindt.



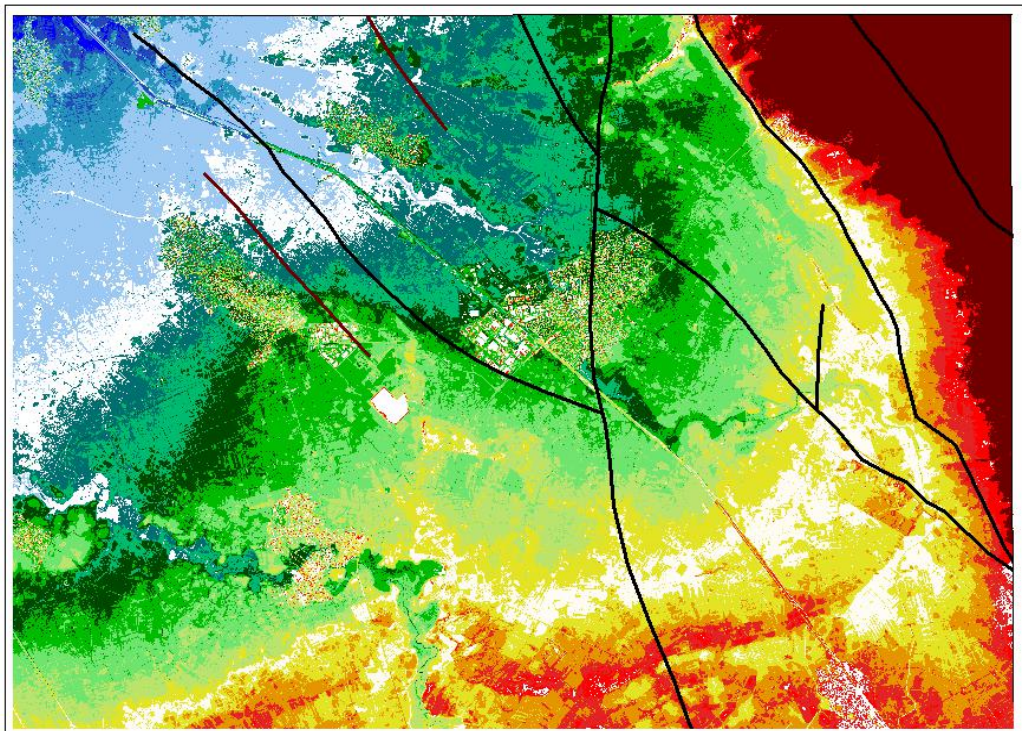
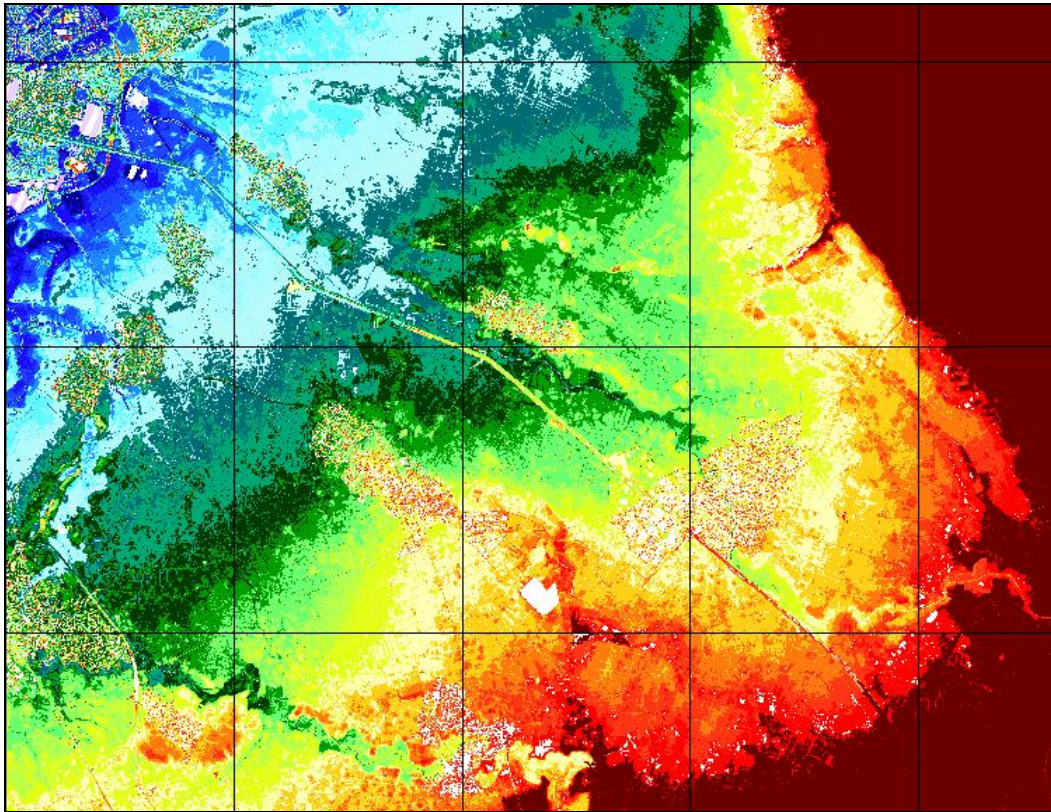
Figuur 39. Kwelkraters in de Kempen – Cartierheide. Verschillende kwelkraters liggen in een zich telkens verjongend stelsel achter elkaar. De rode lijnen in de tweede figuur aan de onderkant zijn bedoeld om de belangrijkste dekzandvormen te verduidelijken.



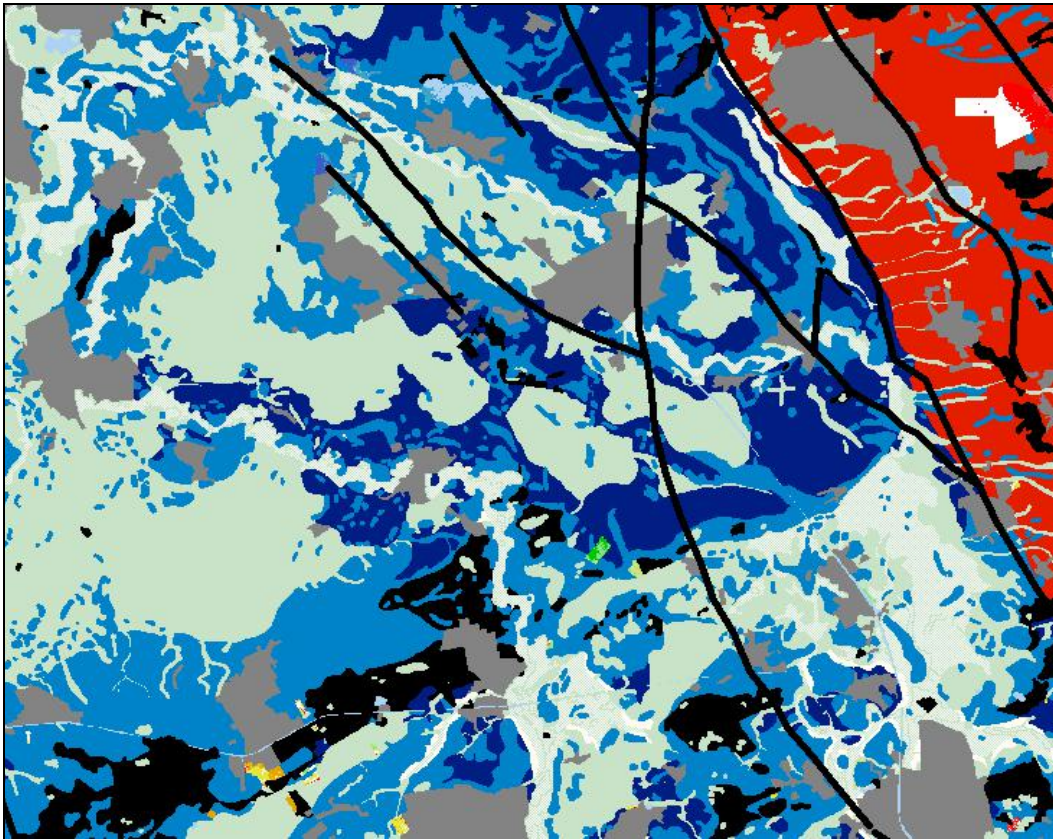
Figuur 40. Kwelkraters: het grote meervoudige kwelkratersysteem van de Leijen. Op de onderste figuur zijn de recente verstuivingen op de Loonse en Drunense Duinen in oranje aangegeven. De belangrijkste overige dekzandruggen zijn aangegeven met rode lijnen.



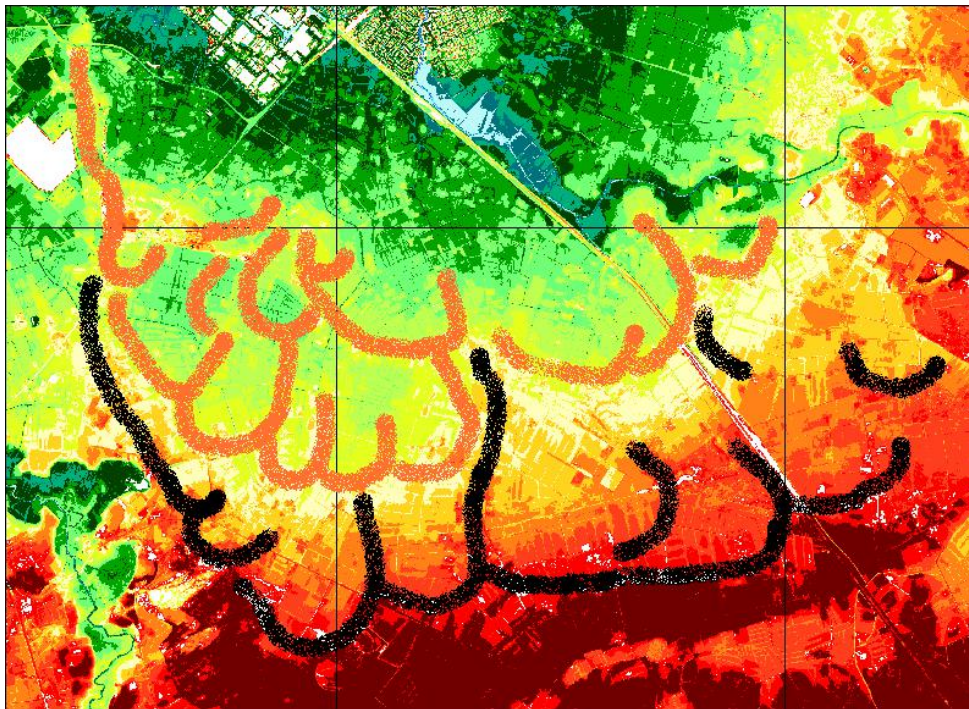
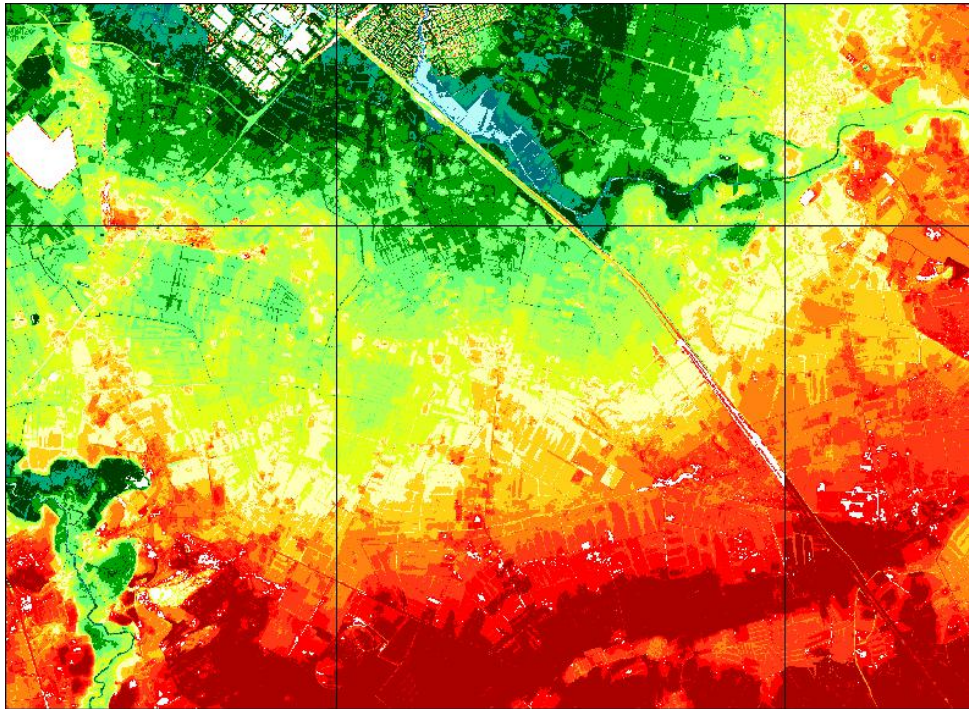
*Figuur 41. Kwelkraters: voor de kwelkrater van De Leijen is op de bovenste aangegeven waar zich kwelindicatoren bevinden. De onderste figuur geeft ook de positie van kwelindicatoren aan, waaronder met name ook Riet (*Phragmitis australis*; de naam 'Riet' betekend ook -stromend water-). Eveneens zijn met oranje lijnen de grove omtrekken van de kwelsystemen aangeduid. In het geval van De Leijen bevinden zich dus meerdere kwelsystemen binnen een groter systeem.*



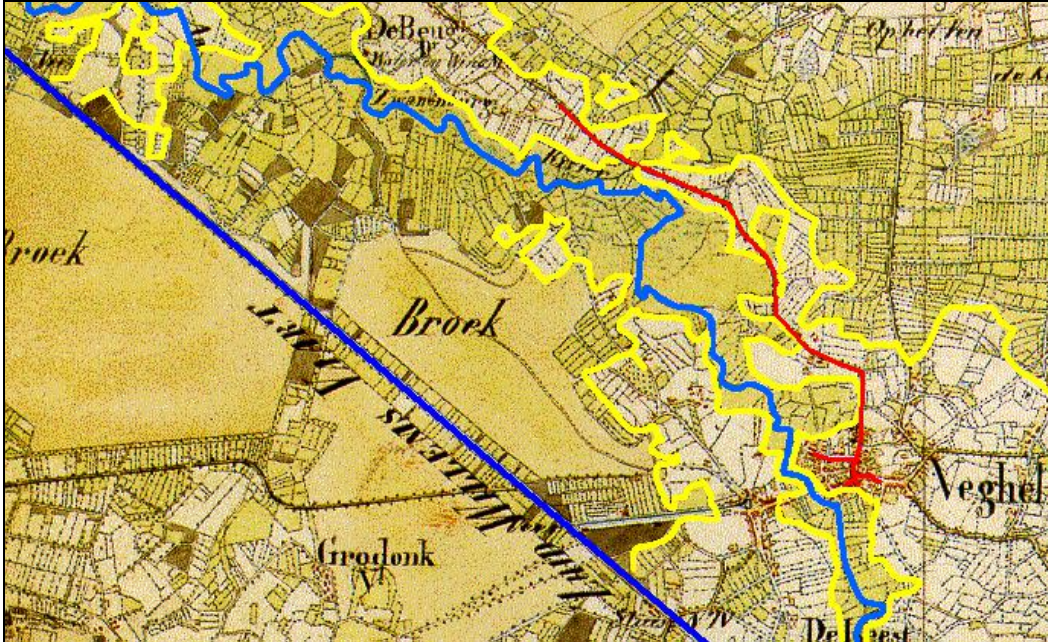
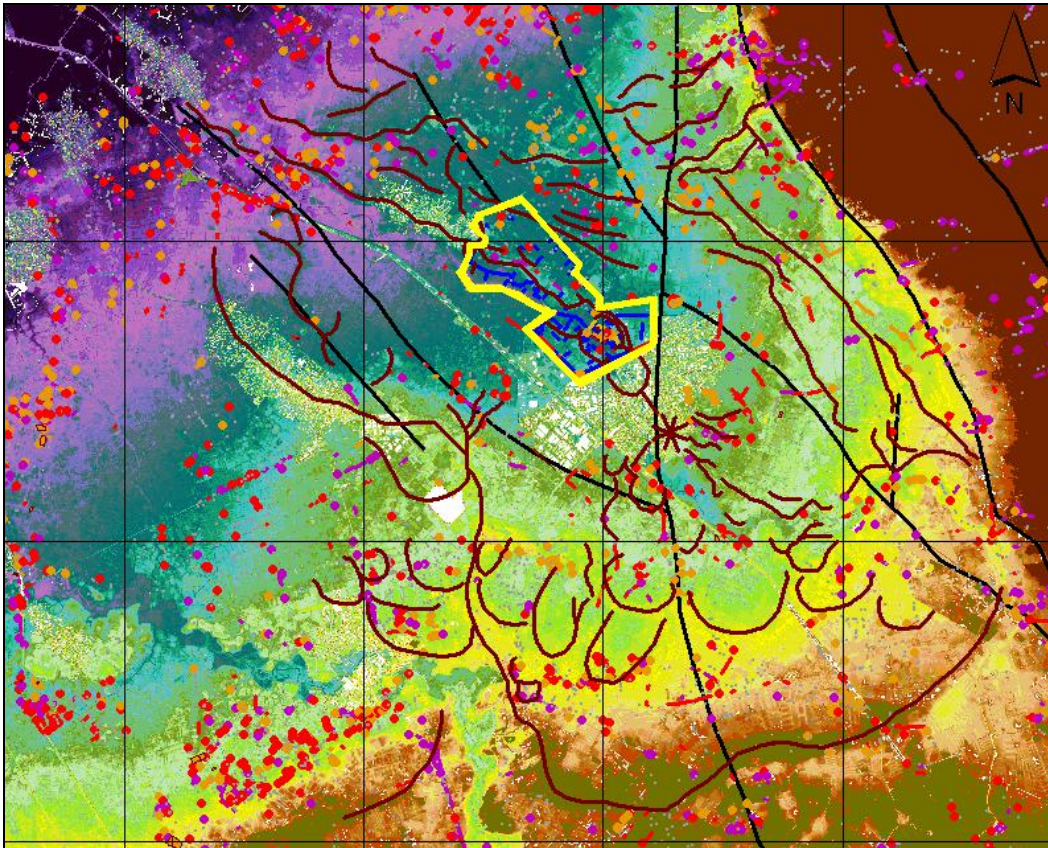
Figuur 42. Kwelkraters: het enorme kwelsysteem van Veghel. De zwarte lijnen zijn de breuksystemen. Op de onderste afbeelding is goed te zien hoe de Dommel zich langs dit systeem wringt. Aan de zuidrand van de kwelkrater liggen tal van geïsoleerde depressies.



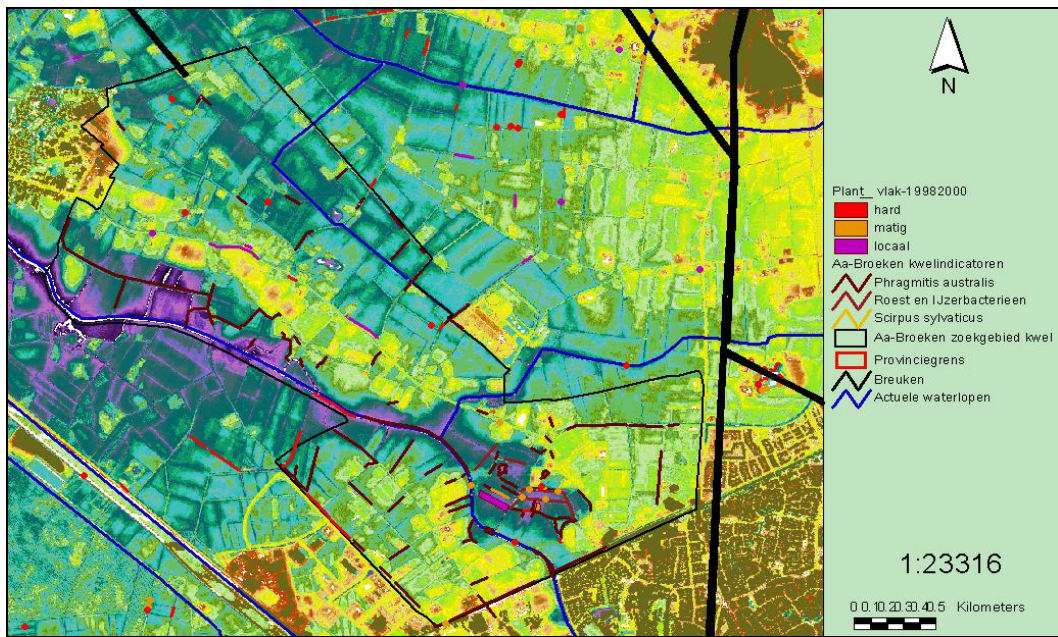
Figuur 43. Kwelkraters: de grote vorm van de kwelkrater, zoals die op de afbeeldingen van het AHN te zien zijn komen ook naar voren uit de geomorfologische kaart.



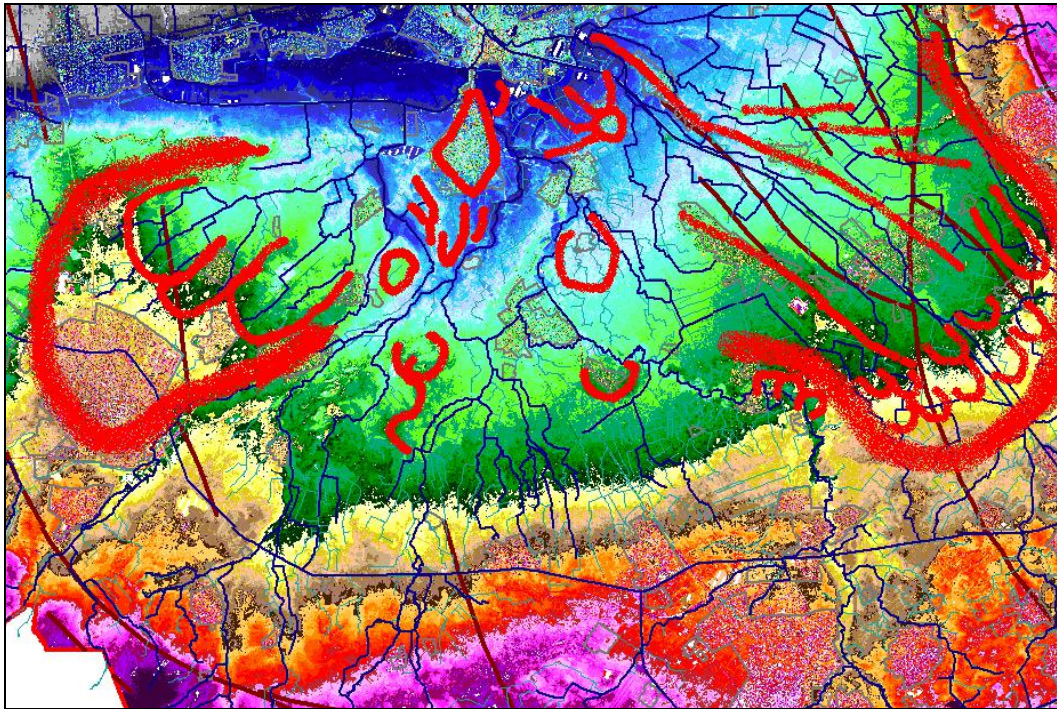
Figuur 44. Kwelkraters: De bovenste afbeelding laat echter zien dat het beeld veel complexer is dan op de geomorfologische kaart wordt verondersteld. Binnen de grote structuur van de kwelkrater liggen opeenvolgende reeksen kleinere kwelkraters, waarbij de jongste de vorige steeds opnieuw afsnijdt. Zo ontstaan complexe patronen van ruggen en depressies daartussen. Op de onderste figuur is een mogelijke interpretatie afgebeeld van het complexe stelsel van ruggen.



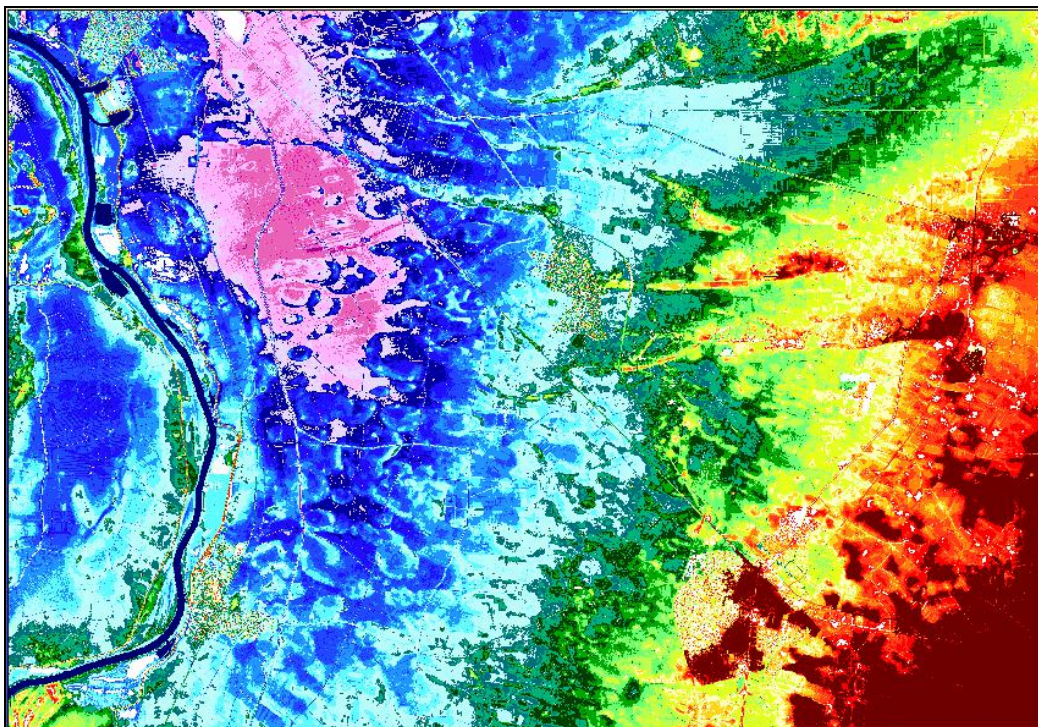
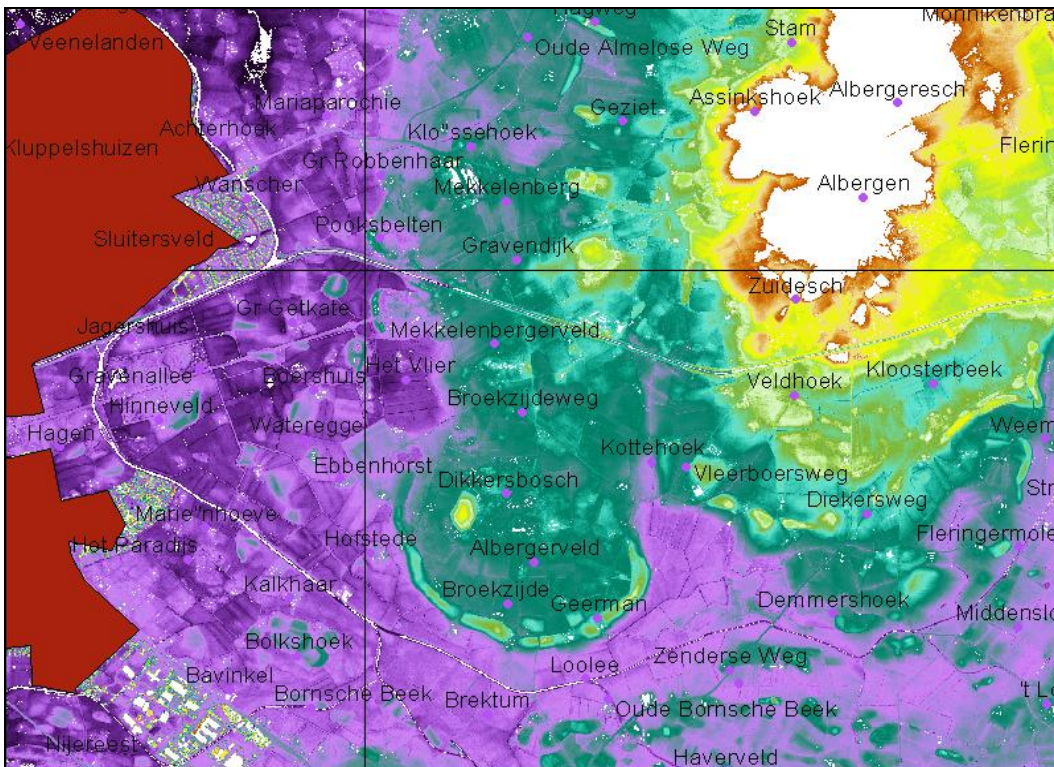
Figuur 45. Detail van de kwelkrater bij Veghel: de Aa-Broeken.



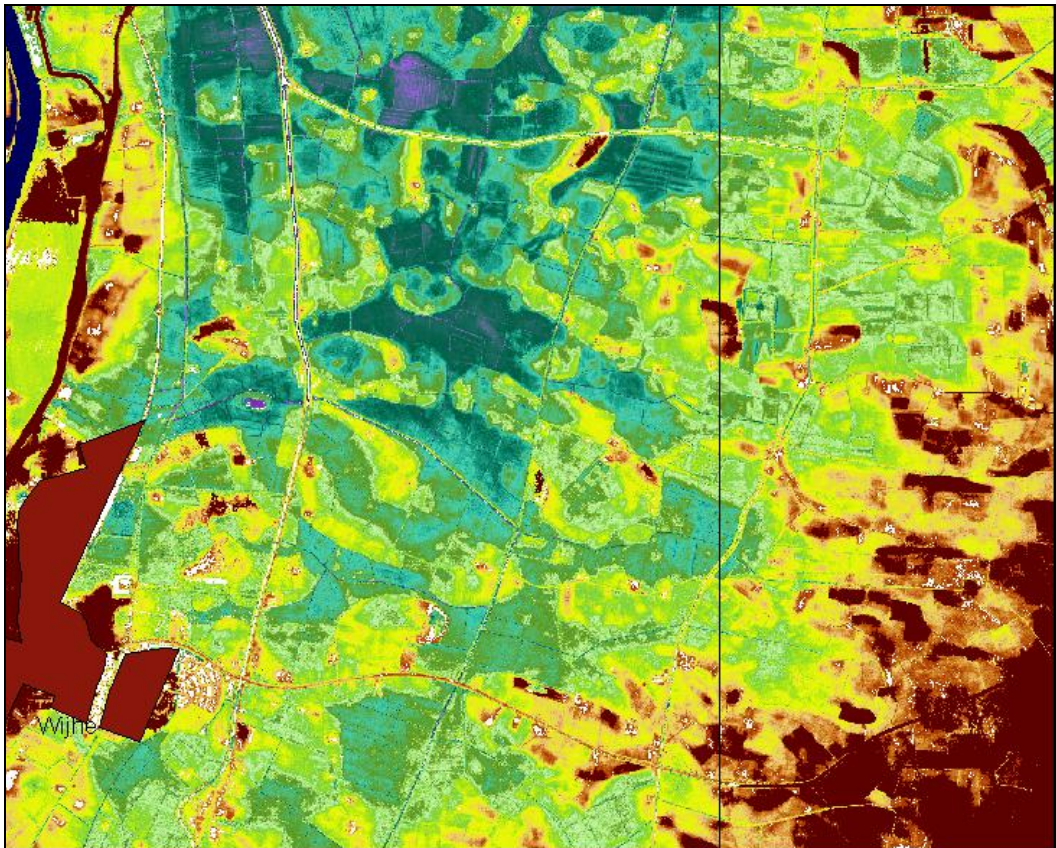
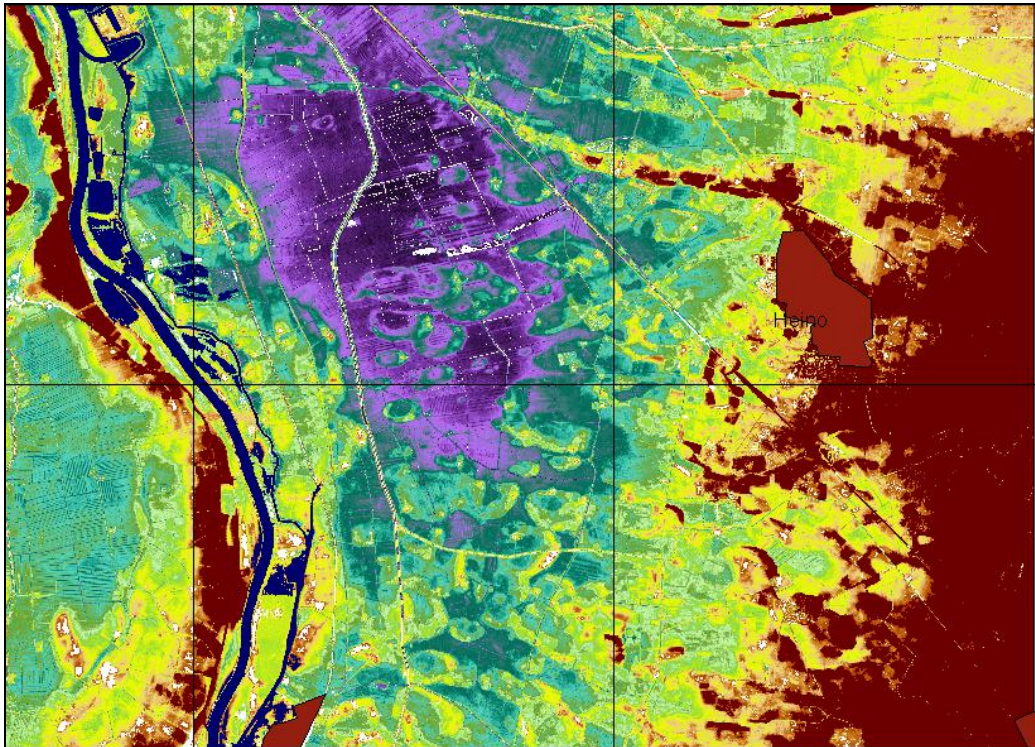
Figuur 46. Verspreiding van kwelsoorten langs de dekzandruggen in de Aa-Broeken.



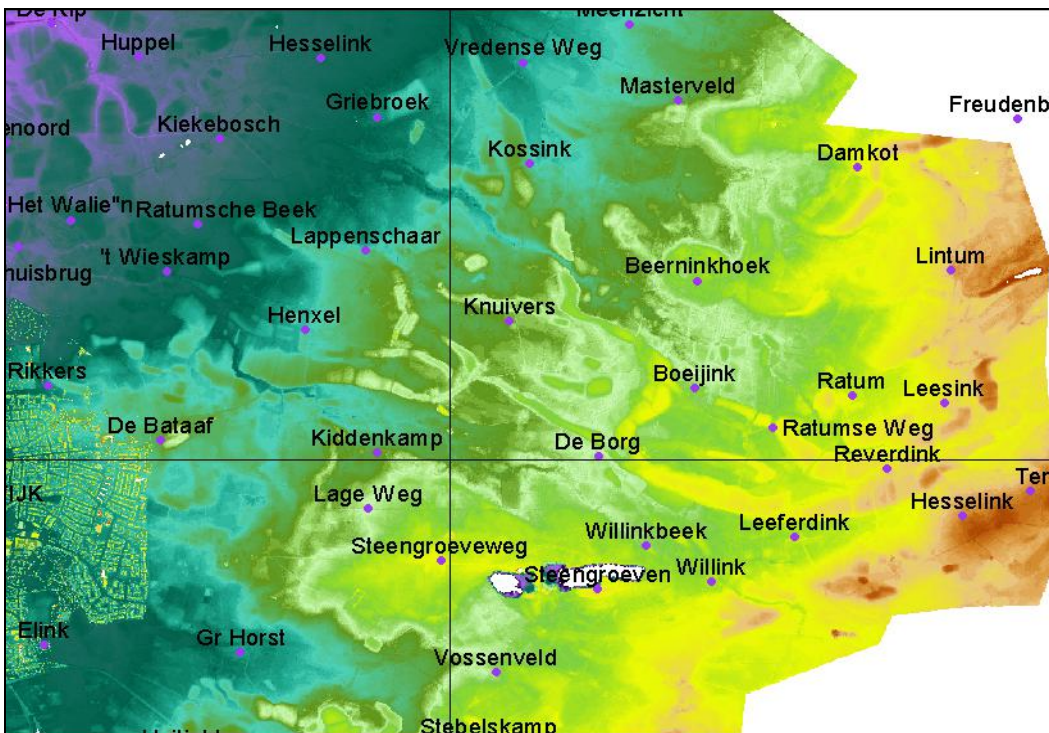
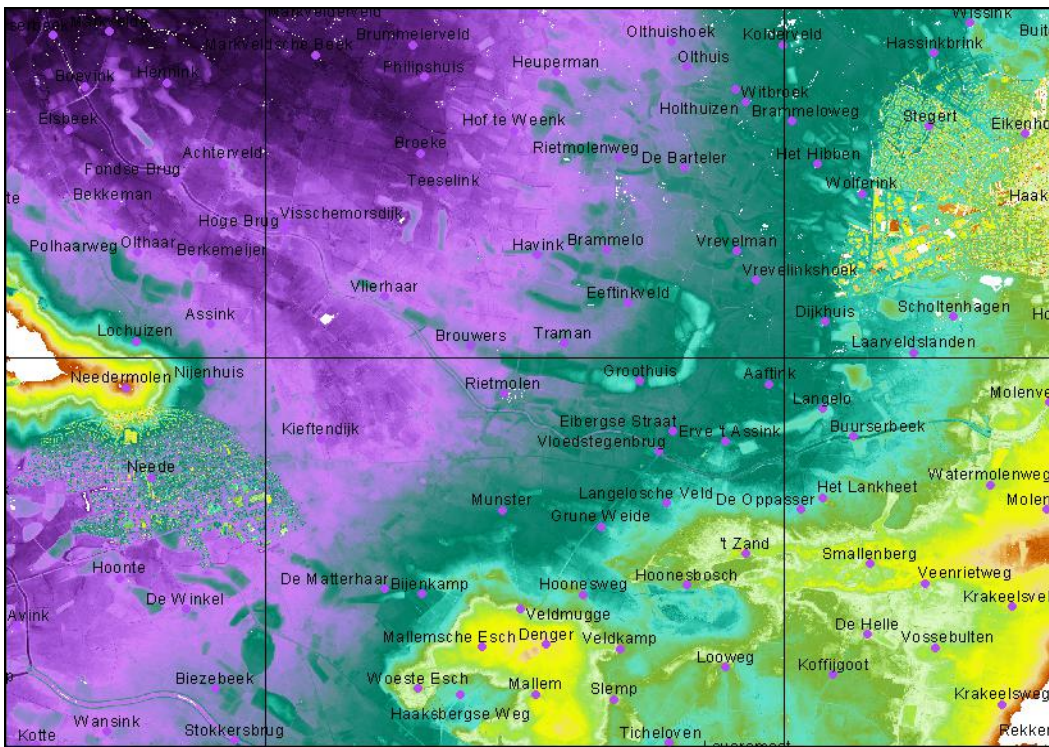
Figuur 48. Samenvatting van de belangrijkste grote kwelsystemen in de Centrale Slenk van Noord Brabant.



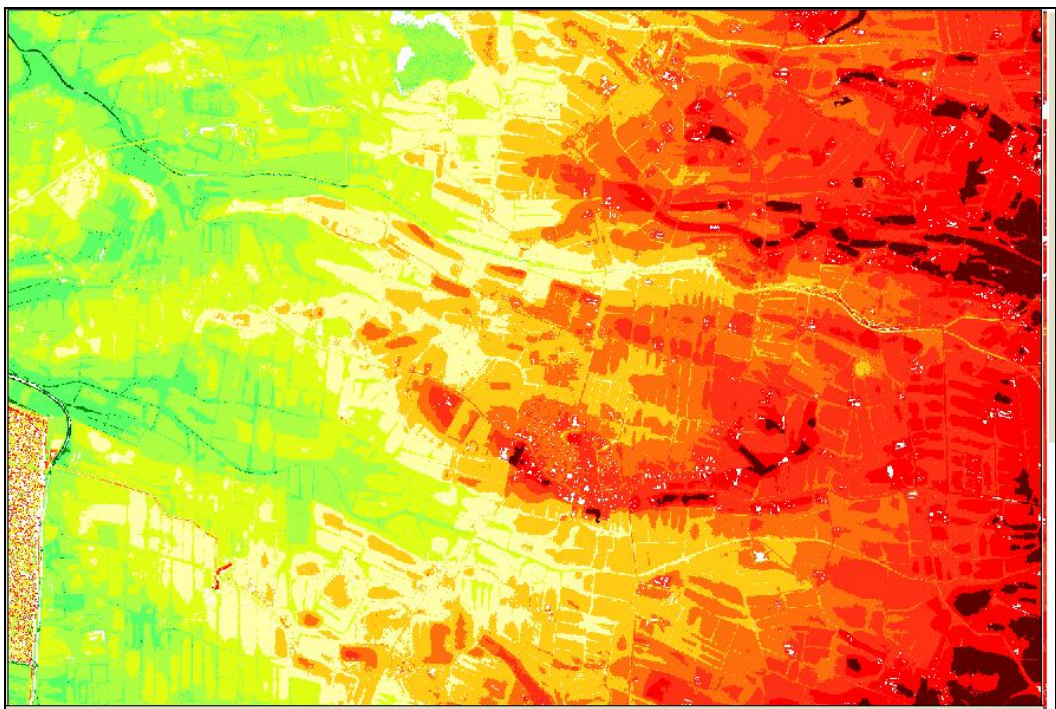
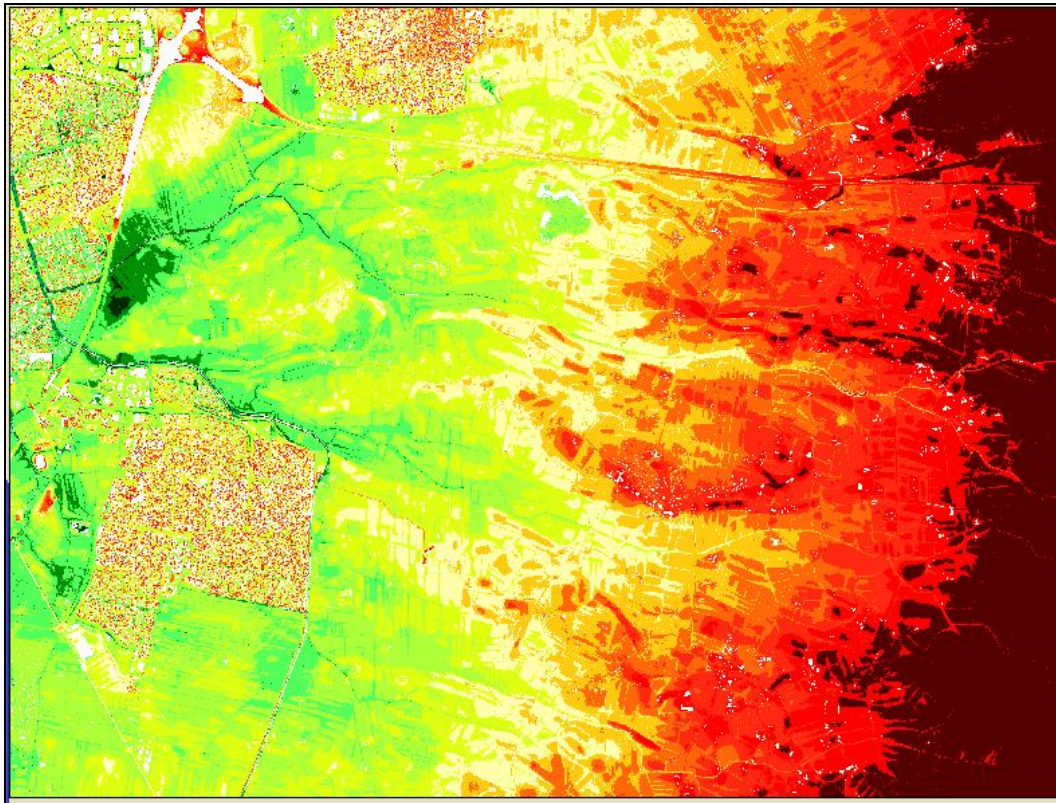
Figuur 49. Kvelkraters: voorbeelden van kvelkraters buiten Brabant. De bovenste figuur toont een kvelkrater in het Albergerveld bij Albergen in de Provincie Overijssel. De onderste afbeelding is een overzicht van het gebied rond Heino in de Provincie Overijssel, waar Von Frijtag Drabbe al in het begin van de jaren 1950 grote ronde structuren op luchtfoto's ontdekte.



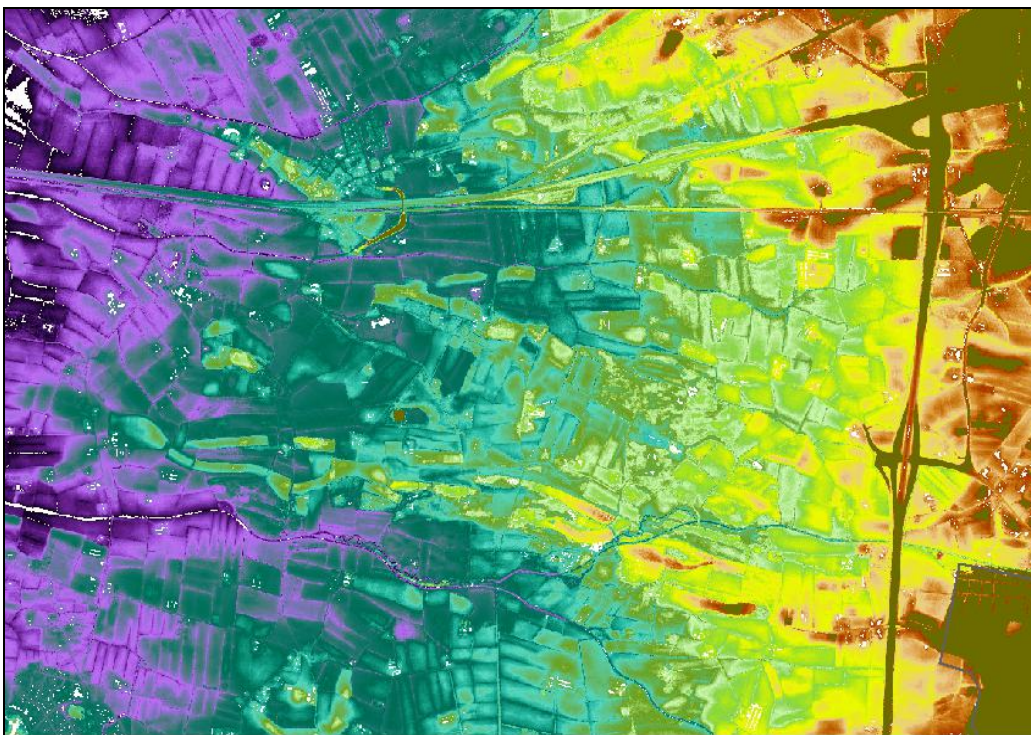
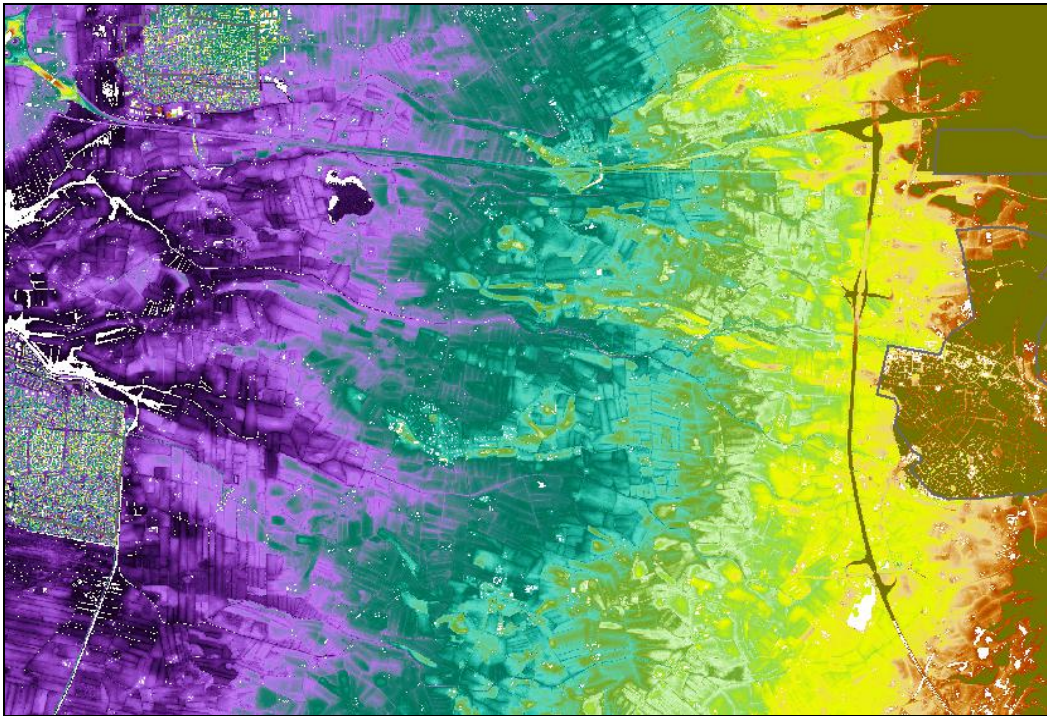
Figuur 50. Kwelkraters: details van de kwelkraters bij Heino in de Provincie Overijssel.



Figuur 51. Kwelkraters en meanderende dekzandruggen bij het Lankheet (boven) en bij Ratum (onder) in de Provincie Gelderland.



Figuur 52. Kwelkraters op de flank van de Veluwe in de Provincie Gelderland tussen Barneveld en Amersfoort.



Figuur 53. De dekzandruggen van Klein Bieler bij Barneveld.

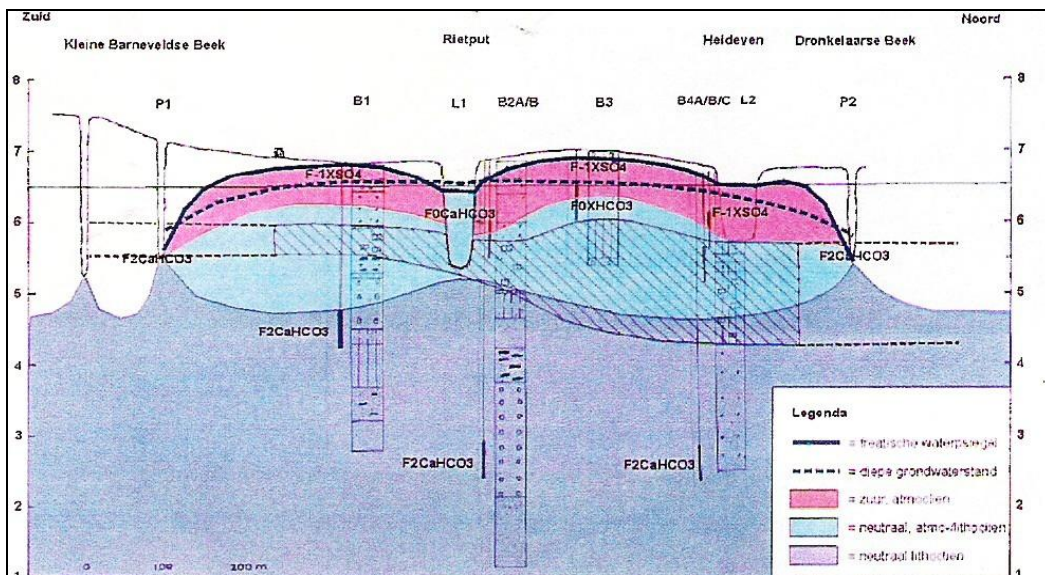
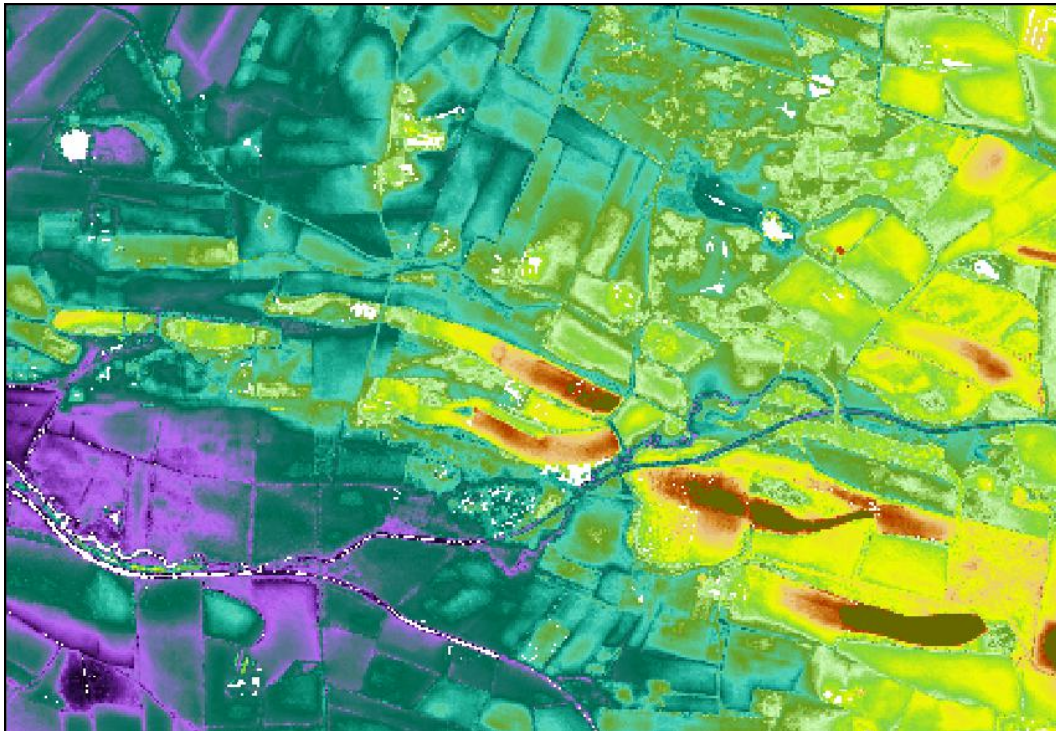
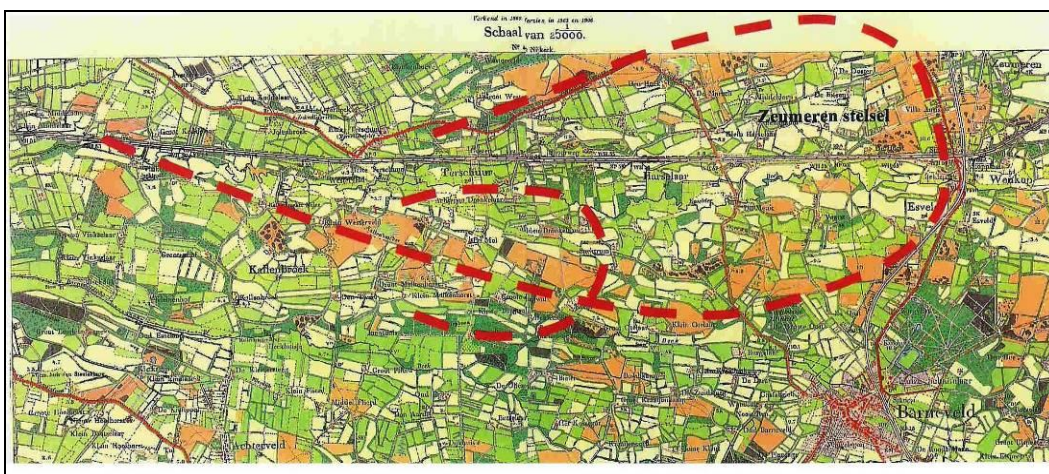
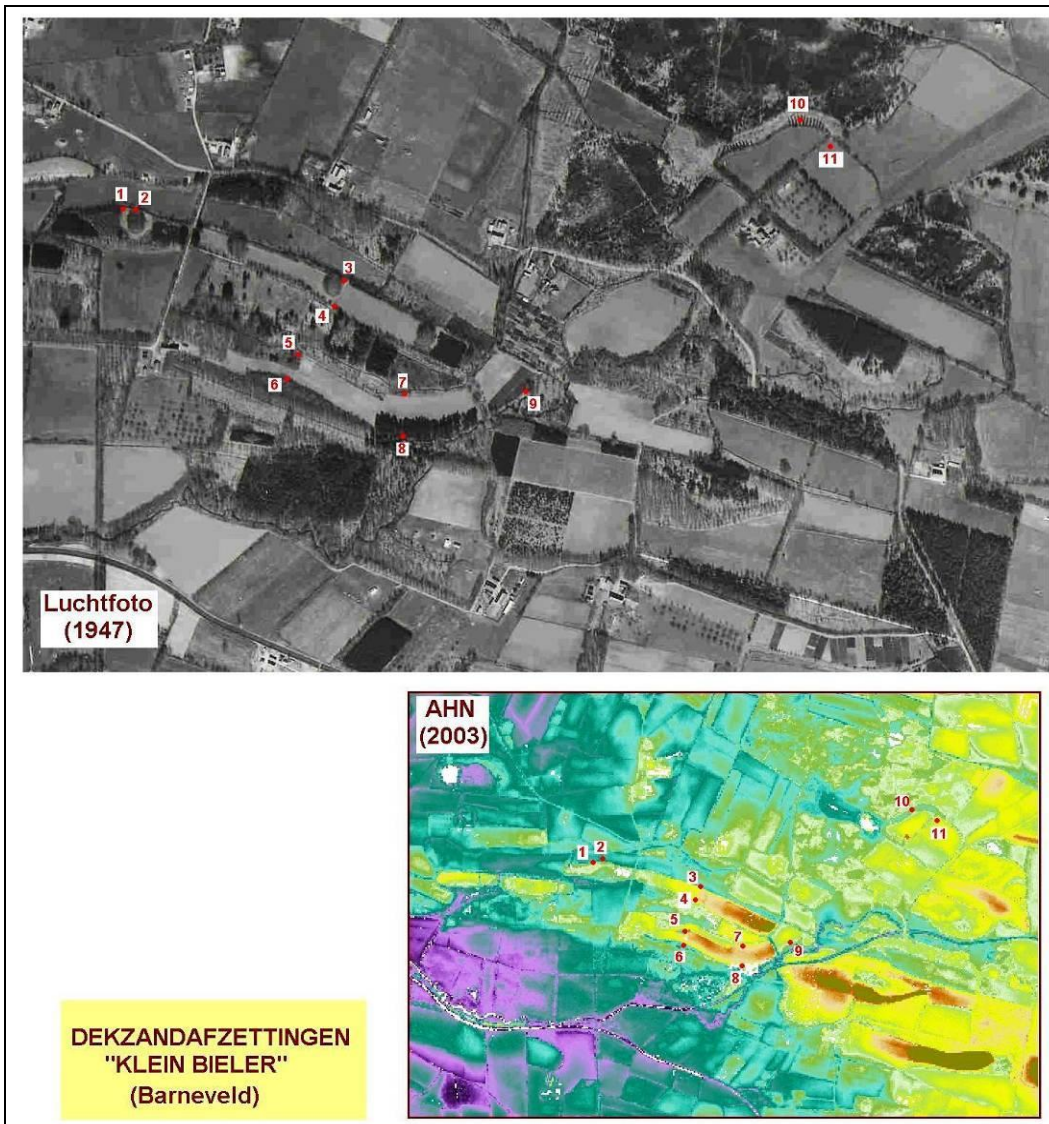


Fig. 13 Hydrologische dwarsdoorsnede Groot Bieler winter 1999/2000. De figuur illustreert dat basenrijk water overall aanwezig is en dat in de bovengrond verdunning optreedt. De regenwaterzone (verontreinigd atmoclien) hangt nauw samen met de ontwaterende invloed van sloten (naar Bell & van Hullenaar, 2000)

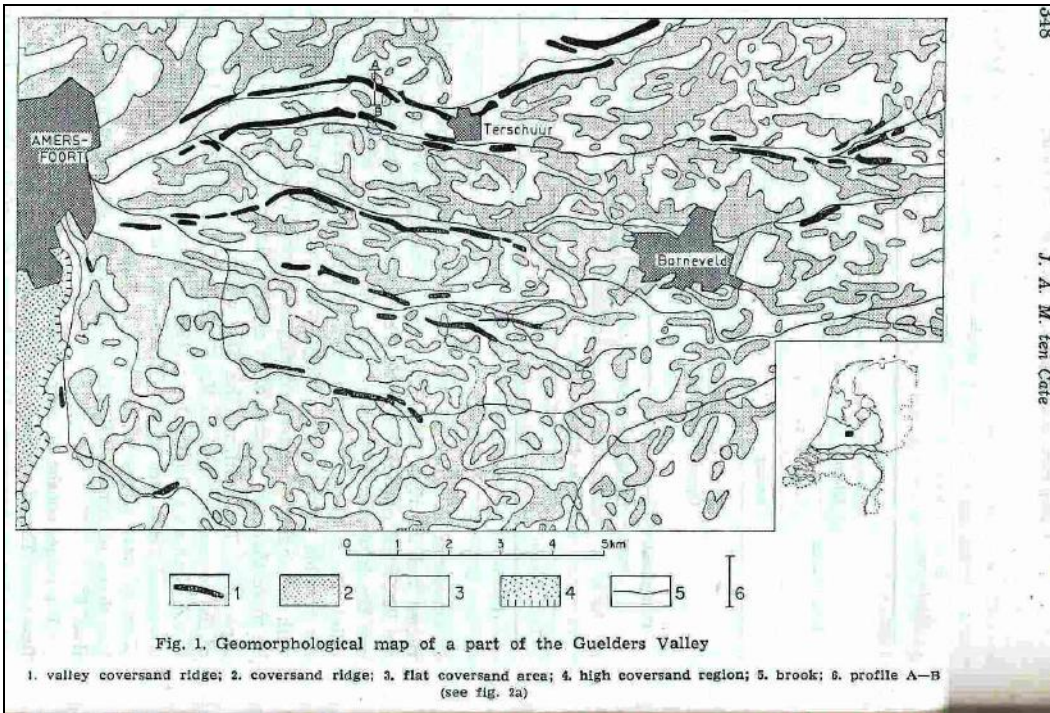
Figuur 54. De dekzandruggen van Klein Bieler bij Barneveld en doorsnede door Groot Bieler.



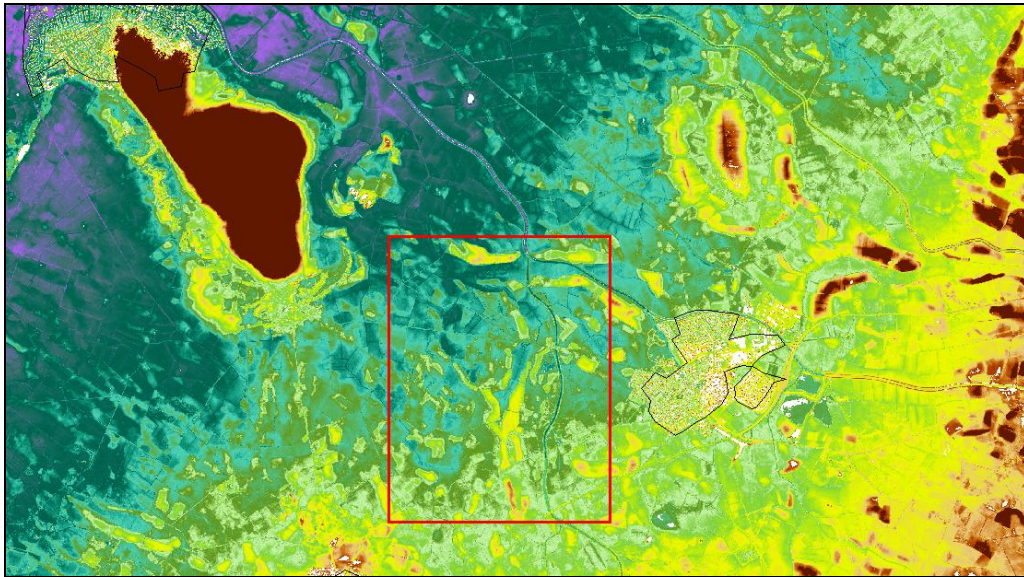
Figuur 55. Luchtfoto. AHN-beeld en historische kaart van Klein Bieler.



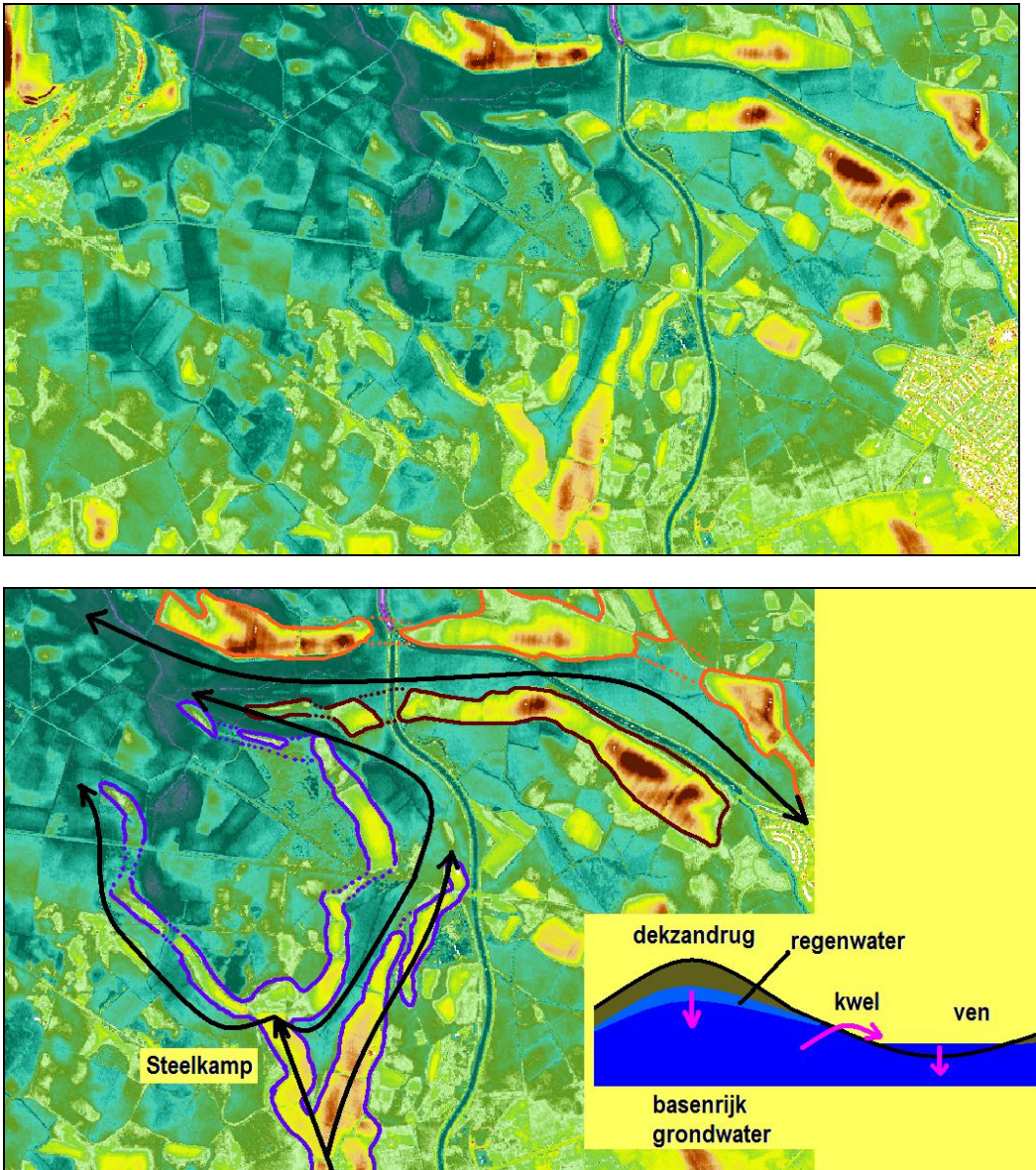
Figuur 56. Luchtfoto's van de dekzandruggen bij Klein Bieler



Figuur 57. het dekzandruggensysteem van Klein Bieler en een geomorfologische interpretatie.



Figuur 60. Het dekzandruggensysteem van het Stelkampsveld.

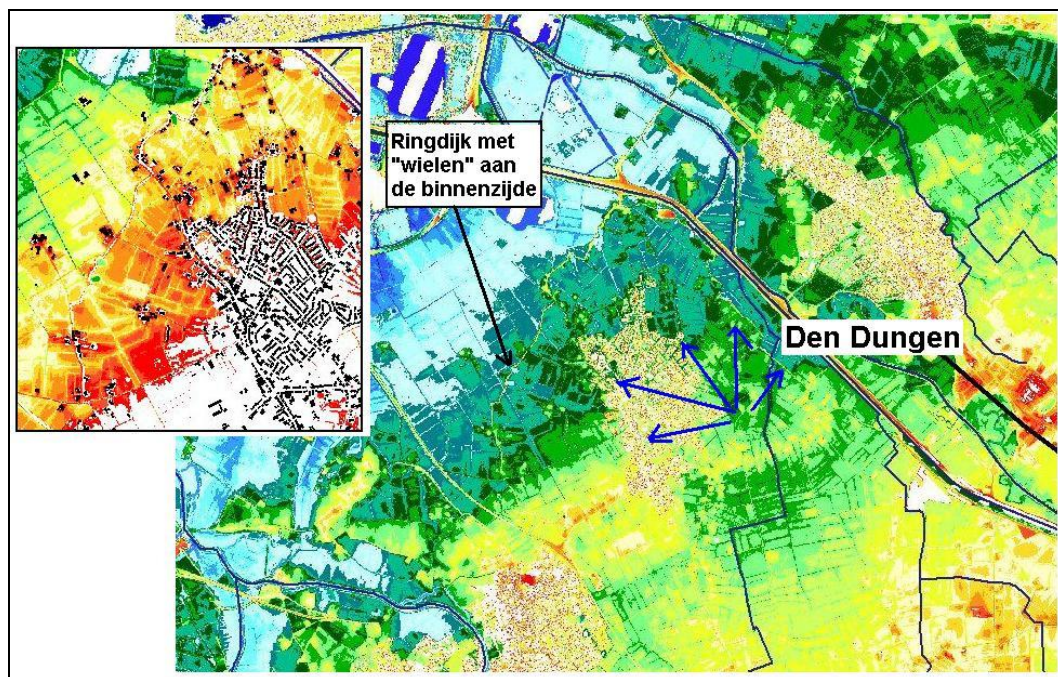


Figuur 61. Detail van het Stelkampsveld en interpretatie van de stroombanen.

5 Geïsoleerde kwelkoppen

5.1 Veldbeschrijving landschapsvorm

In verschillende gevallen zijn geïsoleerde hoogten onderscheiden die gewoonlijk rond of eirond, soms niervormig zijn, en dan op een paraboolduin lijkend. Ze zijn in Zuid Nederland niet het gevolg van stuwing door landijs en de verklaring voor hun vorming moet dus elders worden gezocht.



Figuur 62. Den Dungen op de hoogtekaart.

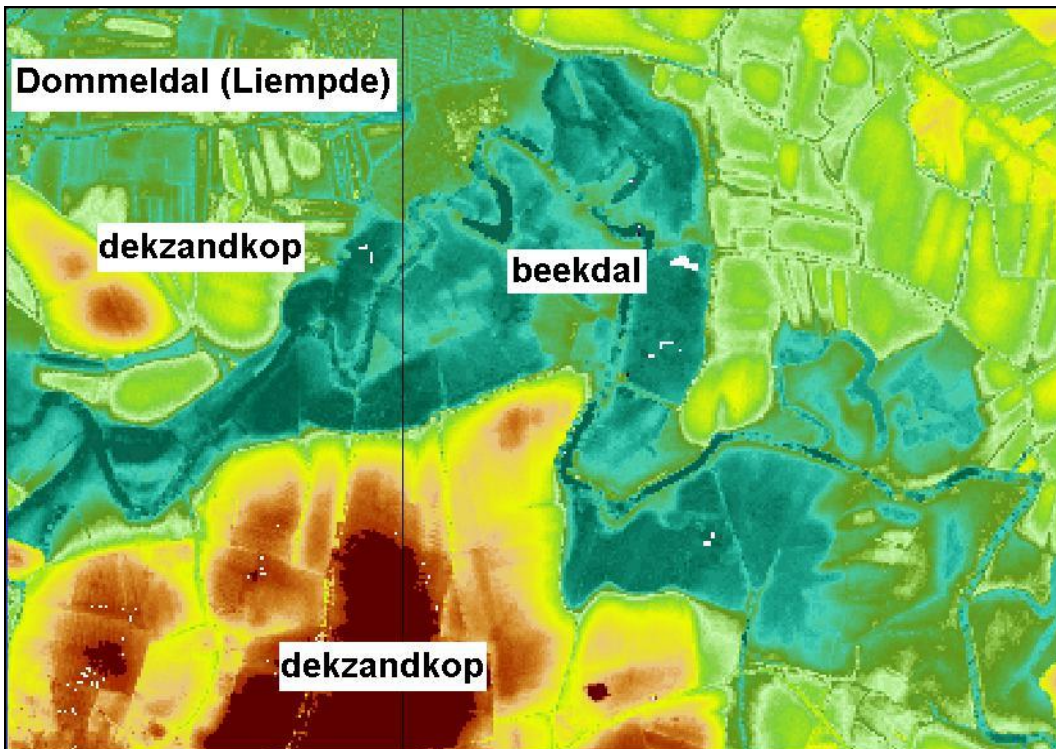
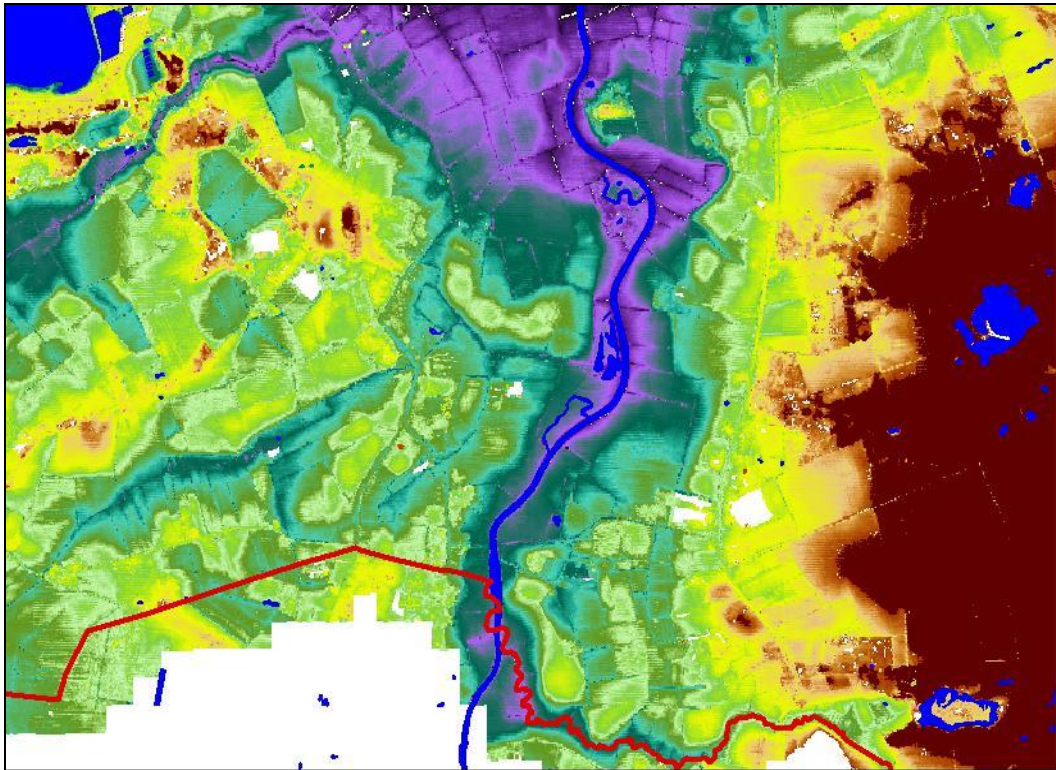
5.2 Interpretatie – genese en functioneren

Zoals hierboven beschreven worden zeer actieve kwelssystemen hoog opgestoven: hoe actiever – hoe hoger de uiteindelijke rug. Op grote schaal vinden we dergelijke kwelkoppen zoals bij Liempde, Vught en Den Dungen in Oost Brabant en de Welberg in West Brabant. Echter ook op kleine schaal zijn er kwelkoppen, vooral binnen de beekdalen spelen deze elementen een grote rol. Hieronder zijn voorbeelden opgenomen van kwelkoppen uit de beekdalen van De Dommel en van De Mark. Gewoonlijk door opstuiving van een grotere of kleinere bron; langs de Mark echter komen op rivierduinen lijkende zandkoppen voor, die vermoedelijk erosieresten zijn van een ouder, door verstuiving verdwenen, landschap. De resistentie tegen verstuiving wordt

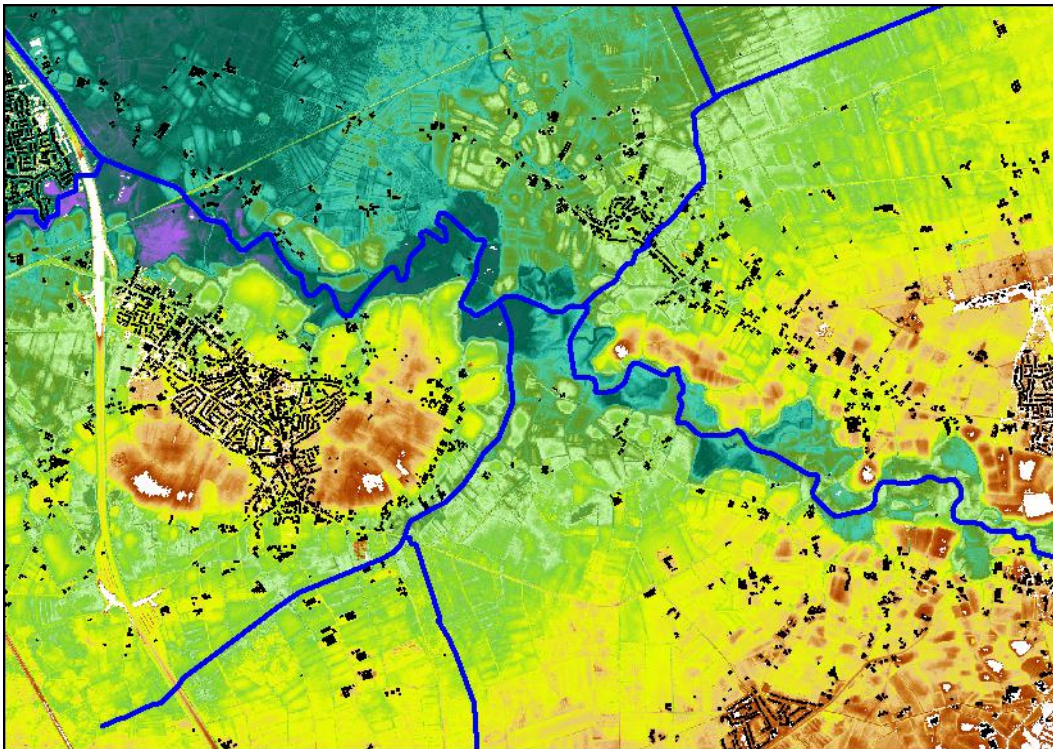
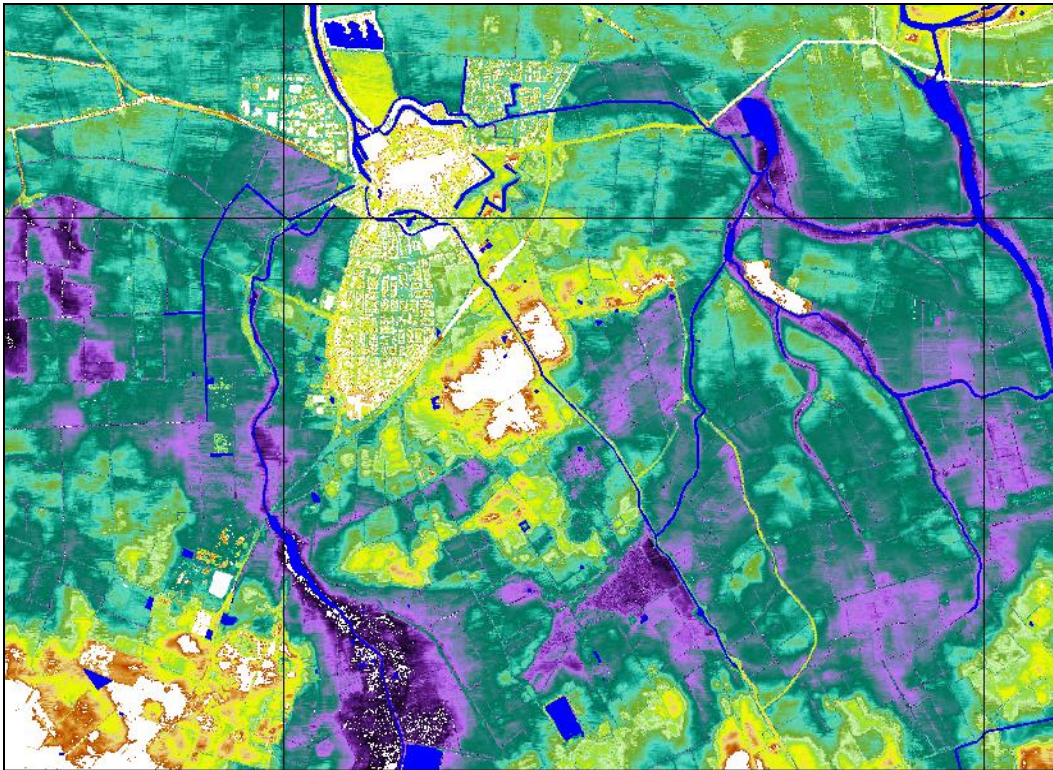
vermoedelijk bepaald door kwel. Wellicht dat ook de Welberg – een wel zeer passende naam! – een voorbeeld is van zo'n oudere structuur.

Bij jonge vormen is binnen de structuren selectie naar korrelgrootte te verwachten volgens dezelfde wetmatigheden als hiervoor voor meanderende stelsels beschreven is: relatief grof materiaal in het hart en in de richting van de uitstroomopening, fijner naar de rugzijde en de flanken. Bij de oudere, zoals die langs de Mark, is vermoedelijk ook sprake van selectie, maar de opbouw zal vooral bepaald zijn door processen in een verder verleden. Niet ondenkbaar is dus, dat zeer grof materiaal in de ondergrond aanwezig is, daterend uit een periode dat ze deel uitmaakten van grotere, in Zuid-België, beginnende, stelsels. Langs de randen is kwel te verwachten, met het grootste aandeel aan der stroomafwaartse zijde van de structuren.

Deze kwelkoppen zijn altijd opgezocht vanuit militair strategische overwegingen ('warm' kwelwater voor in de slotgracht zodat deze niet snel bevroor) en vanuit landbouwkundige overwegingen ('warm' kalkrijk kwelwater voor bevoeiingen). In de beekdalen zien we daarom de waterloop van kwelkop naar kwelkop springen, de hoge flanken van het dal volgend, en onderweg gebruik makend van elke kleine mogelijkheid om kwelwater af te tappen.

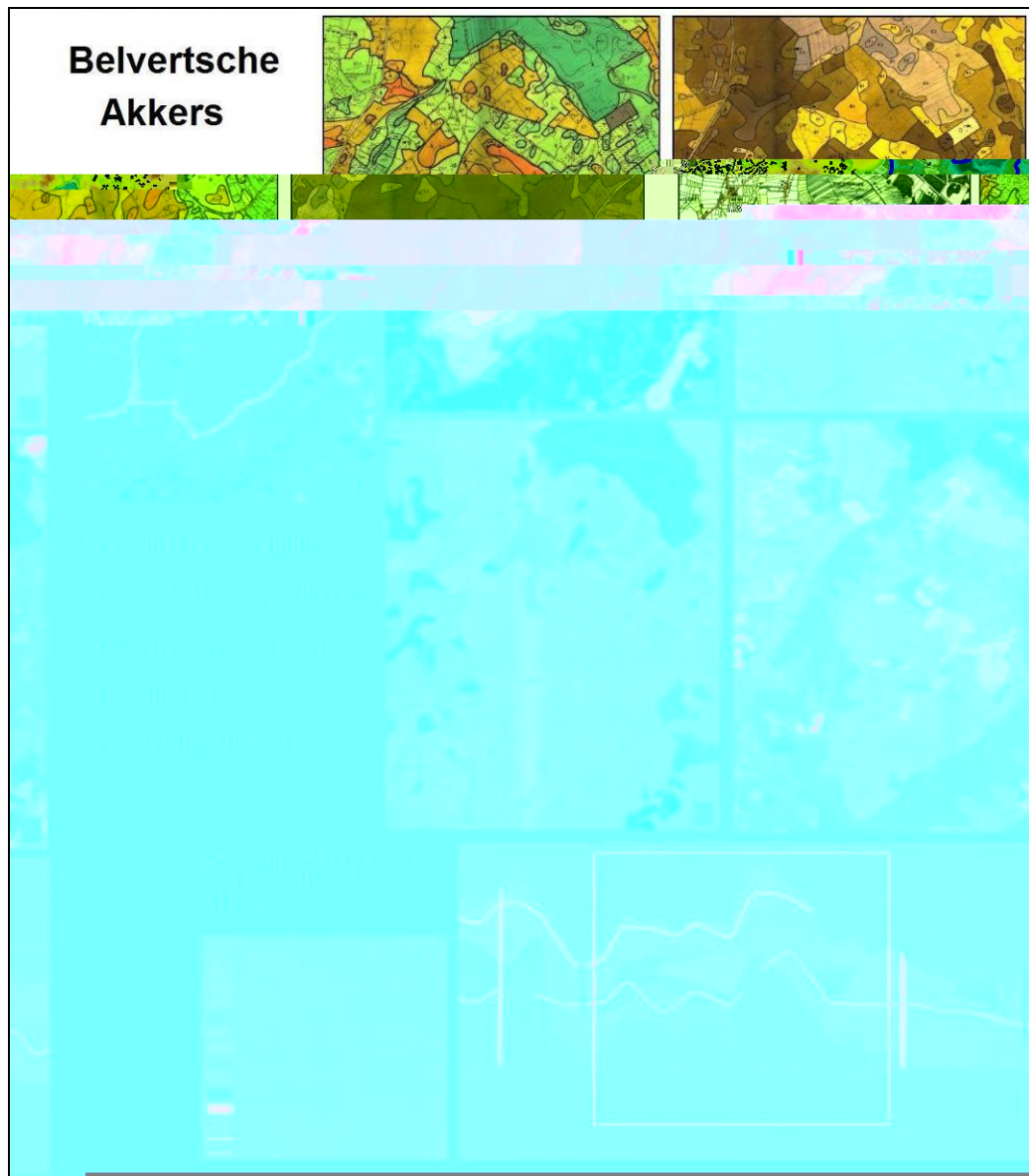


Figuur 63. Geïsoleerde kwelkoppen van beperkte afmetingen langs de Mark, onder Breda (boven) en de Dommel bij Liempde (onder).



Figuur 64. Geïsoleerde kwelkoppen van grote afmeting: de Welberg onder Steenberghe (bovenste afbeelding) en de kop van Liempde (onderste afbeelding).

Een voorbeeld van een geïsoleerde kwelkop is het gebied van de Belvertsche Akkers onder Vught.



Figuur 65. Topografie van het studiegebied anno 2007.

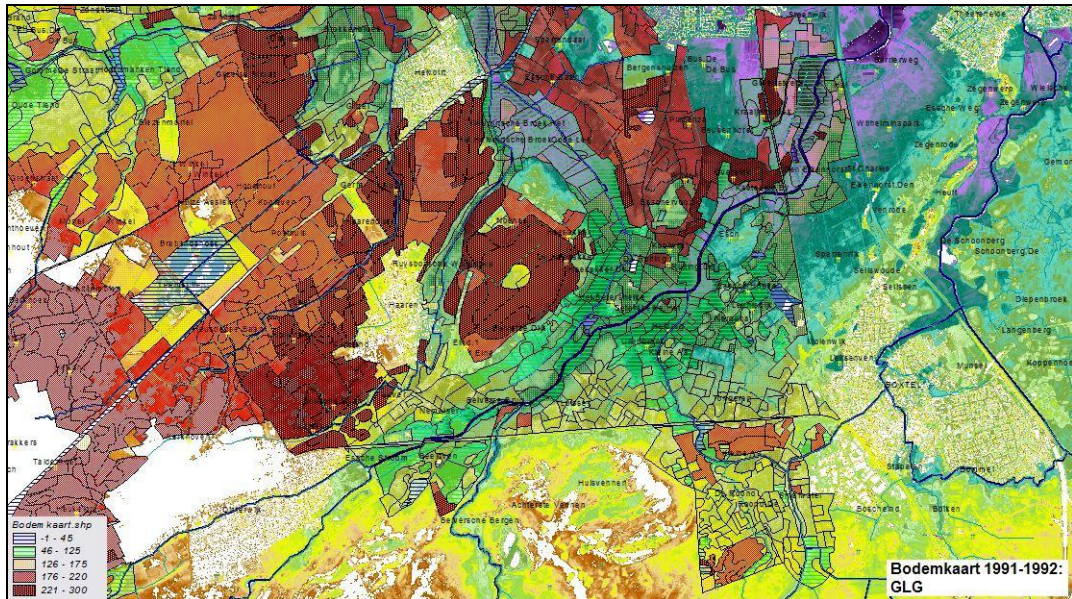
De Belvertsche Akkers vormen een hoge en markante dekzandkop langs de Essche Stroom. Momenteel is het een droog gebied, maar er zijn veel erg diepe sloten (ca 3-4 m diep) op het hoogste punt van deze kop, waardoor het algemeen geldende beeld van dit gebied –als droog inziggebied– moet worden bijgesteld.



Figuur 66. Belvertsche Akkers.

In tegenstelling tot de bodemkaart van 1991-1992, geeft de bodemkaart van 1959 een zeer gedetailleerd beeld van de opbouw van de Belvertsche Akkers. De grondwatertrappenkaart onthult dat deze dekzandkop intern een gekromde structuur herbergt, met de open zijde naar het noordwesten. De kaart uit 1900 laat zien dat er midden op de kop een stukje 'groenland' lag. Deze voormalig natte delen zijn op de kaart terug te vinden omdat ze een dikkere humeuze bovenlaag hebben. Leemlagen werden vooral langs de randen gevonden en in de meer centraal gelegen slenk.

Op de top van de Belvertsche akkers bevindt zich een bosje in een voormalige natte laagte, waarin momenteel nog steeds Hop (*Humulus lupulus*) en Kattenstaart (*Lythrum salicaria*) voorkomen naast verjongende Zwarte els (*Alnus glutinosa*). Het voorkomen van deze vochtindicatoren, samen met diepe sloten en waterwinning, wijst erop dat de Belvertsche Akkers als kwelkop gezien moet worden, maar waarbij alle zijkanten zijn aangetapt om kostbaar basenrijk warm kwelwater te kunnen benutten



Figuur 67. GLG van de Belvertsche Akkers (1:50.000) – 1991-1992

De GLG (Gemiddeld Laagste Grond-waterstand) is hier geprojecteerd op de hoogtekartaart van het AHN. De ringvormige structuur op de Belvertsche Akkers heeft zelfs in deze tijd nog steeds een centrale plek waar hogere grondwaterstanden te vinden zijn. Dit wijst op het voorkomen van kwel vanuit de diepere ondergrond, zelfs ondanks de daar aanwezige waterwinning!.

6 Deltavormen

6.1 Veldbeschrijving landschapsvorm

Op verschillende plaatsen vinden we in Brabant voorbeelden van systemen van dekzandruggen die doen denken aan deltasystemen. Er is sprake van grote waaiers van dekzandruggen en -kopjes. Voorbeelden ervan zijn vooral te vinden bij Slabroek ten noorden van Uden en bij de Stippelberg. Vergelijkbare systemen zijn eerder beschreven voor de Achterhoek³⁶.

6.2 Interpretatie – genese en functioneren

Komt vaak voor op plaatsen waar met betrekkelijk grote kracht water uit een smalle opening stroomde. Door verstopping van de hoofdgeul werden telkens nieuwe geulen gevormd, die op hun beurt ook weer verstopten. De schaal van de vormingen kan, net als bij kwelkraters het geval is, variëren van enkele cm's tot vele kilometers. Het omvangrijkste stelsel dat tot dusverre is gevonden is de zuidrand van de Achterhoek, de driehoek tussen Aalten-Dinxperlo-Doetinchem.

Rond alle delen valt kwel te verwachten, gewoonlijk het meest in het oude centrum en minder naar de buitenranden. Voor de zuidelijke Achterhoek is dat oude centrum gelegen bij IJzerlo, een naam die op basenrijke (ijzer) kwel(lo = een door een groot vocht aanbod open plek in een bos) wijst. Natuurtechnisch gezien zijn dergelijke brede waaiers buitengewoon interessant, omdat ze een heel scala aan milieumomstandigheden te bieden hebben. Onder die omstandigheden zijn zeldzame soorten te verwachten en de Zuidelijke Achterhoek stelt in dat opzicht niet teleur, met soorten als Wildemanskruid en Knolspirea.

³⁶ G.J.Baaijens (2002): Korte schets van de ecohydrologische positie van Achterhoek en Liemers in verband met het bepalen van het duurzaam raamwerk. Bijlage 5 in C-mer(2002): Advies voor richtlijnen voor het milieueffectrapport reconstructie Achterhoek en Liemers. Utrecht.

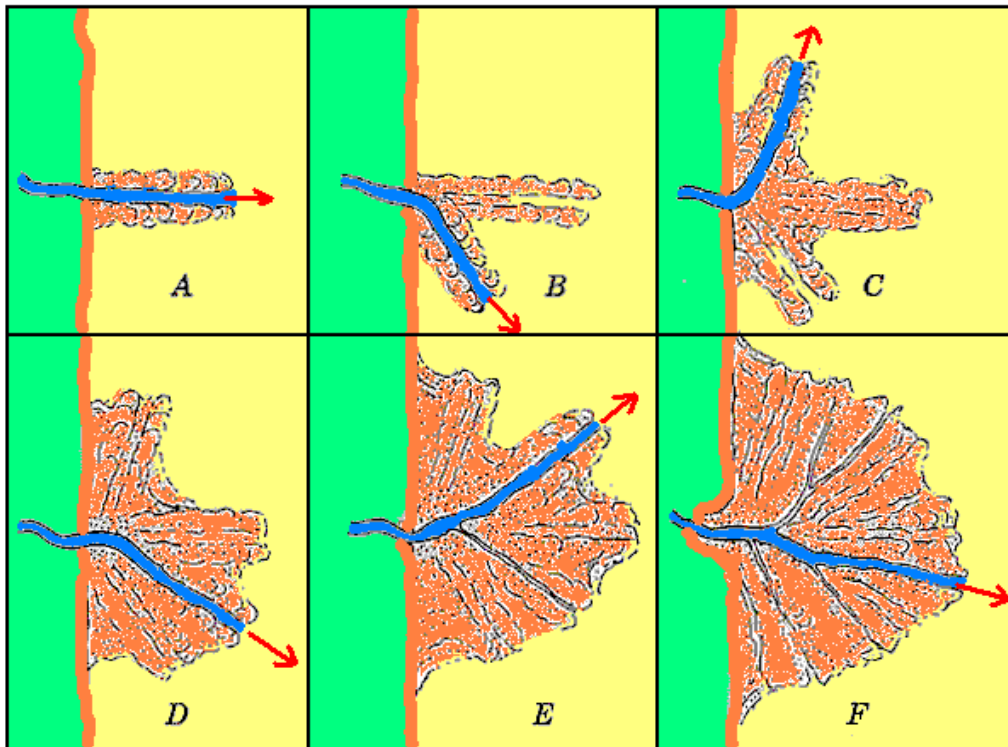
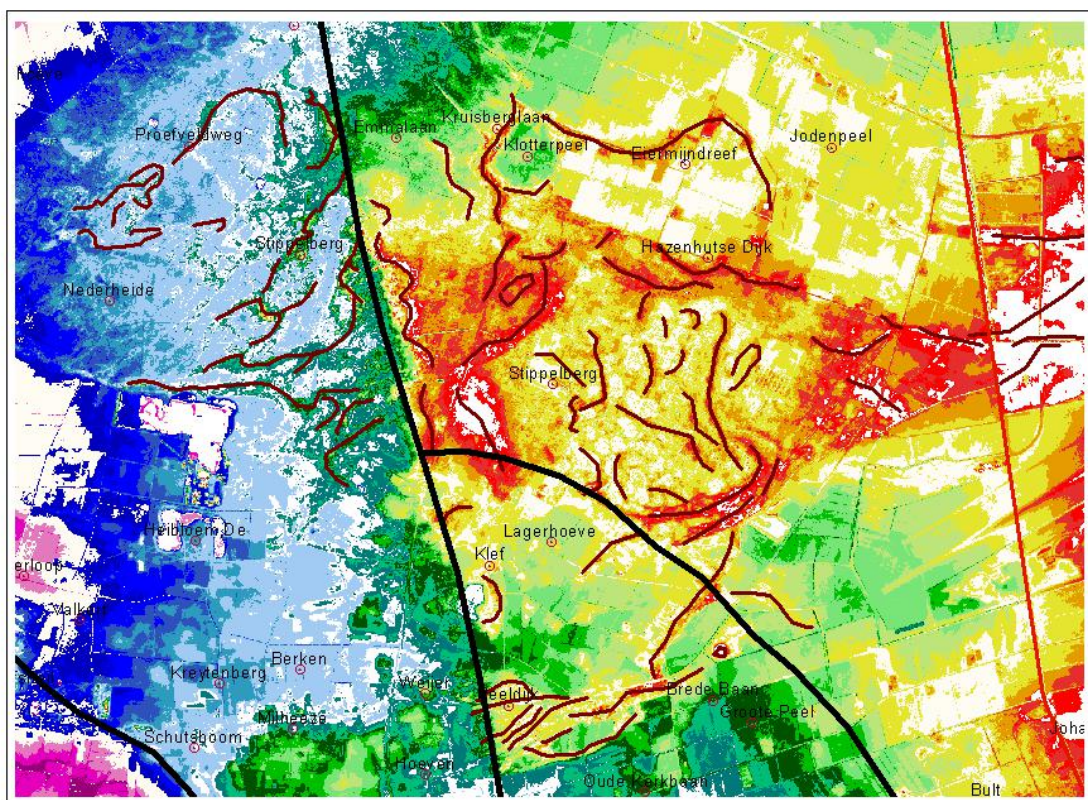
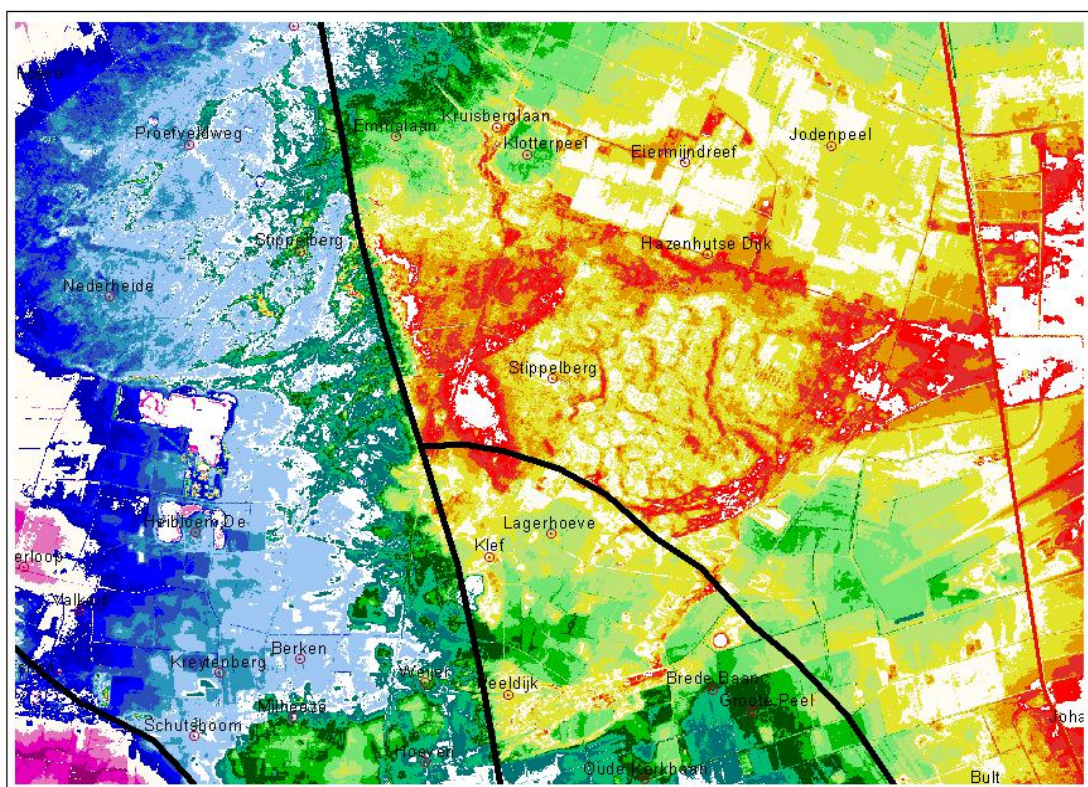
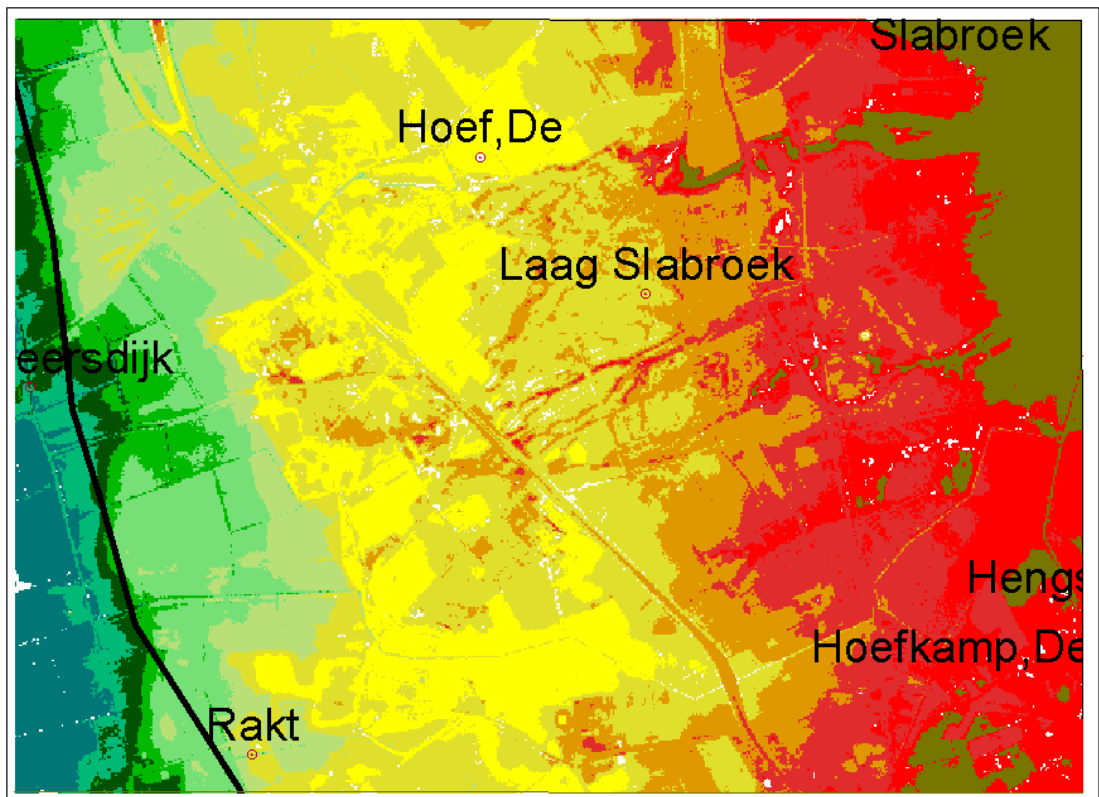
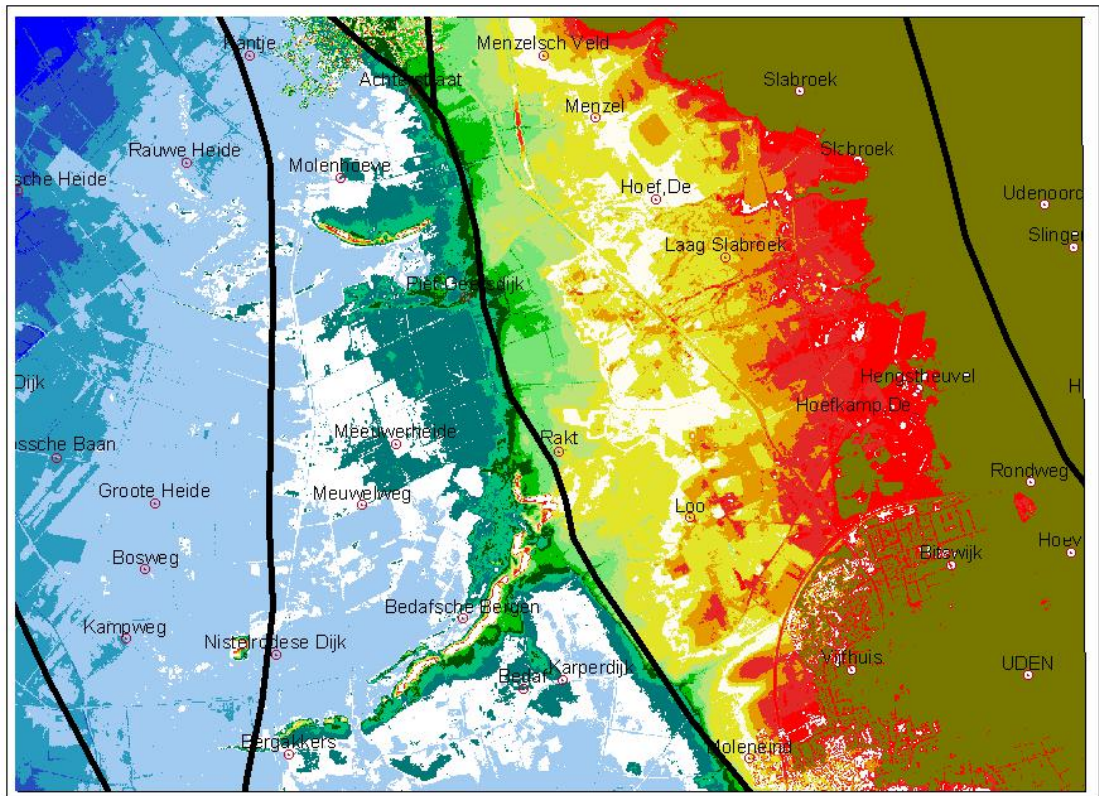


Figure 25.25 Stages in the formation of a simple delta.
 (After G. K. Gilbert.)

Figuur 68. Vorming van een delta (naar Strahler).



Figuur 69. Deltavormen rond de Stippelberg. De zuidelijke grote meanderende dekzanddrug is gaan lekken, waardoor zich een nieuw stelsel heeft gevormd met een delta aan het einde.



Figuur 70. Deltavormen bij Slabroek, op de Peelhorst ten noordwesten van Uden.

7 Meerbodems

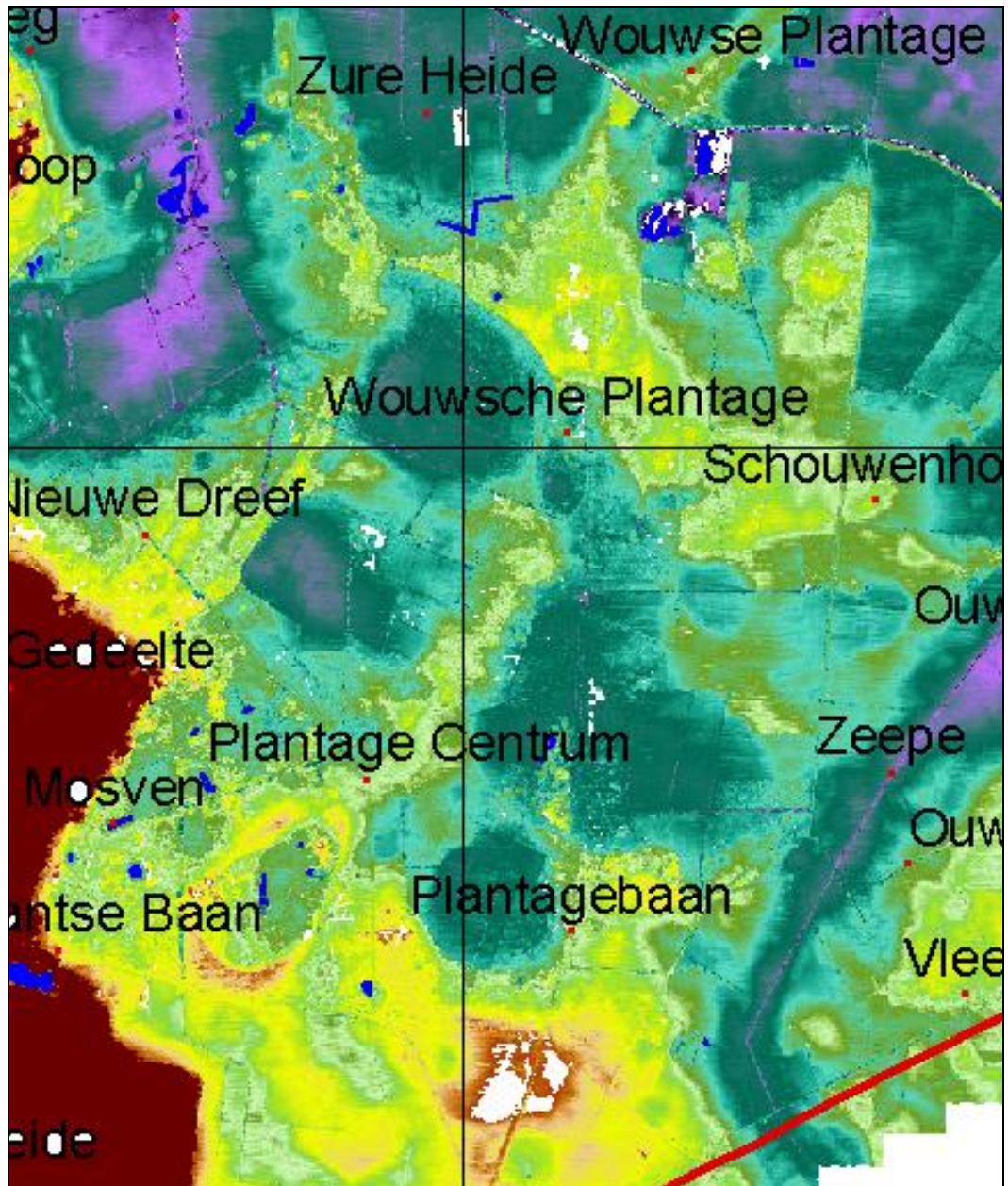
7.1 Veldbeschrijving landschapsvorm

In West-Brabant komt op het zand een groot aantal praktisch volmaakt ronde depressies voor, die min of meer in snoeren liggen. Ze vormden belangrijk onderdeel van de studie van Van Dorsser³⁷, die de depressies ten oosten van Bergen op Zoom, in navolging van Haans³⁸, als meerbodems beschreef. Gaand van west naar oost worden ze minder in getal.

Gewoonlijk zijn het min of meer slingerende hoogten, naast een restlaagte, die als een afgestorven stromingsstelsel moet worden beschouwd. Die afgestorven stelsels kunnen zeer omvangrijk zijn en zeer breed. Voorbeelden daarvan vindt men in Oost-Groningen (het "oerdal" van de Westerwoldse Aa), in Z.W.-Drenthe (het "oerdal" van de Wold Aa en de Koekanger Aa; op kleinere schaal in Brabant ten zuiden van de Loonse en Drunense Duinen. Incidenteel komt men dekzandruggen tegen, die op de top een meanderend stelsel laten zien, met alle vormen die daar bij horen, inclusief crevasse-afzettingen. Een mooi voorbeeld daarvan ligt westelijk van Eibergen. De middenloop van de Dommel, rond Sint Oedenrode, lijkt eveneens een mooi voorbeeld.

³⁷ H.J. van Dorsser (1956): *Het landschap van westelijk Noord-Brabant*. Diss. RU Utrecht. Middelharnis.

³⁸ Geciteerd door Van Dorsser.



Figuur 71. Detail van het landschap met meerbodems. De rode lijnen geven de belangrijkste structuren weer.

7.2 Interpretatie – genese en functioneren

Edelman suggereerde Van Dorsser, dat de depressies in een vroegere fluviaatiele geul zouden kunnen liggen, die door dekzand was afgesnoerd en verbrokken. Van Dorssers' onderzoek leverde daarvoor een bevestiging op. De ontstaansgeschiedenis lijkt overigens redelijk gecompliceerd: hoewel van beken nauwelijks meer sprake is, stroomde hier ooit een vanuit Zuid-België komend stelsel van aanzienlijke omvang. Dat is, door terugschrijdende erosie van met de Schelde samenhangende wateren, onthoofd, waardoor verdroging plaats vond. In dit lokale stelseltje kon vervolgens gemakkelijk verstuing plaats vinden en men zou kunnen veronderstellen, dat een laatste restant van de stroomgeul opstooft, terwijl aan weerszijden overlooplaagten –gevoed door kwelwater dat uit de dekzandrug weglekt uit de voormalige buitenbochten – mede door vorstwerking tot ronde vormen werden gekneed.



Figuur 72. Oost-Groningen (het "oerdal" van de Westerwoldse Aa), in Z.W.-Drenthe (het "oerdal) van de Wold Aa en de Koekanger Aa

Af en toe (of wellicht beter: hier en daar) kenden grote fluvioglaciale stelsels een tamelijk abrupt einde. Wat dat bepaalde is niet altijd eenvoudig vast te stellen. Voor Westerwolde denkt Delvigne aan een verlegging van de hoofdstroom van de Ems in oostelijke richting³⁹. Gewoonlijk is dan de oude bedding met fijn materiaal afgedekt. Na het stijgen van de grondwaterspiegels kon vernatting optreden in de vroegere oeverwallen, die vervolgens als accumulatiekernen voor dekzand konden gaan fungeren. Bij zeer abrupte veranderingen, bijv. vorming van een oxbow-lake, treedt kennelijk niet altijd afdichting van de oude, afgesnoerde loop met leem op. Zo'n situatie deed zich kennelijk voor bij De Wijk; daar is de vroegere oeverwal nu het laagste punt.

De centrale rug oostelijk van Bergen op Zoom fungeert nog steeds als preferente plek voor grondwaterstroming en voert water af naar het noorden. Vermoed kan worden, dat de zijdelingse voeding van de depressies ter weerskanten, ook nog functioneert – voorzover althans geen inpoldering plaats heeft gevonden. Een aantal laagten heeft fossiele moeraskalk; in dit verband is het niet onaardig, dat enkele daarvan als blek of blik werden aangeduid.

Waar de oude stromingsstelsels gewoonlijk met een slecht doorlatende kleilaagje zijn afgedicht, vindt kwel plaats vanuit de vroegere oeverwallen. De beken liggen dan gewoonlijk ofwel met pijnlijke nauwkeurigheid tegen de hoge flank van de laagten aan (zoals bij de Westerwoldse Aa, die overigens een aantal wijde meanders in het oerdal meed en een bovenloop had, die zelfs ver buiten dat dal lag – alleen begrijpelijk in een context waarin hoge gronden op kwel wijzen en lagere met veen gevuld zijn of waren) of slingeren daar wijd omheen (zoals de Wold Aa).

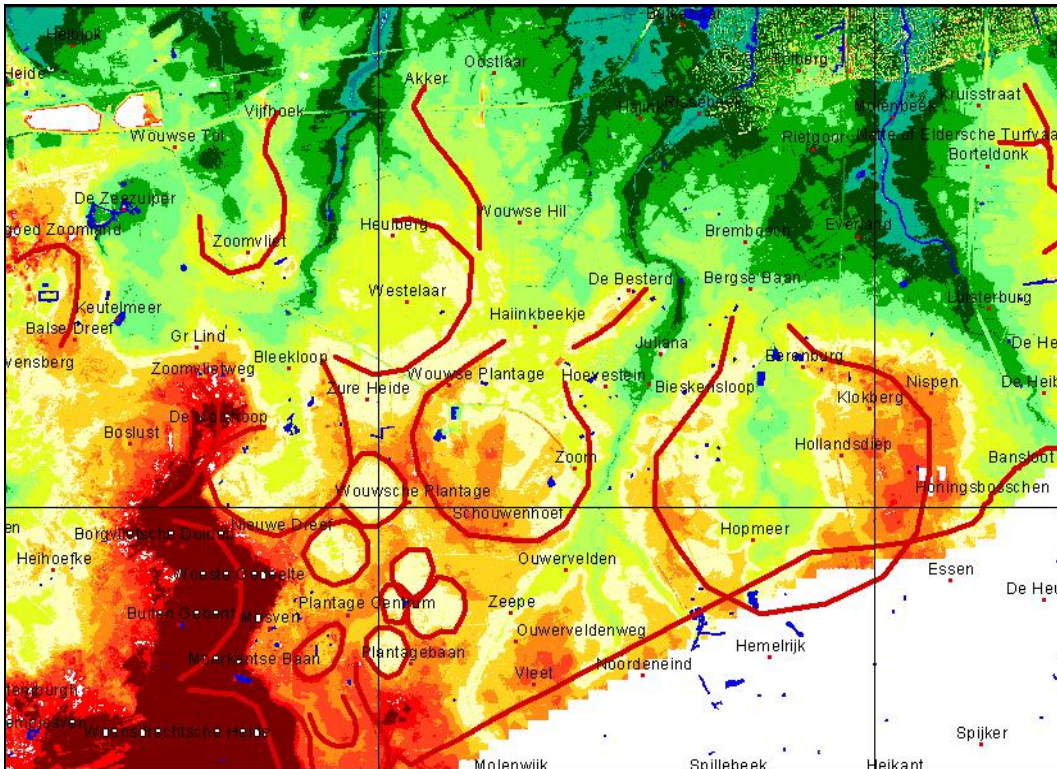
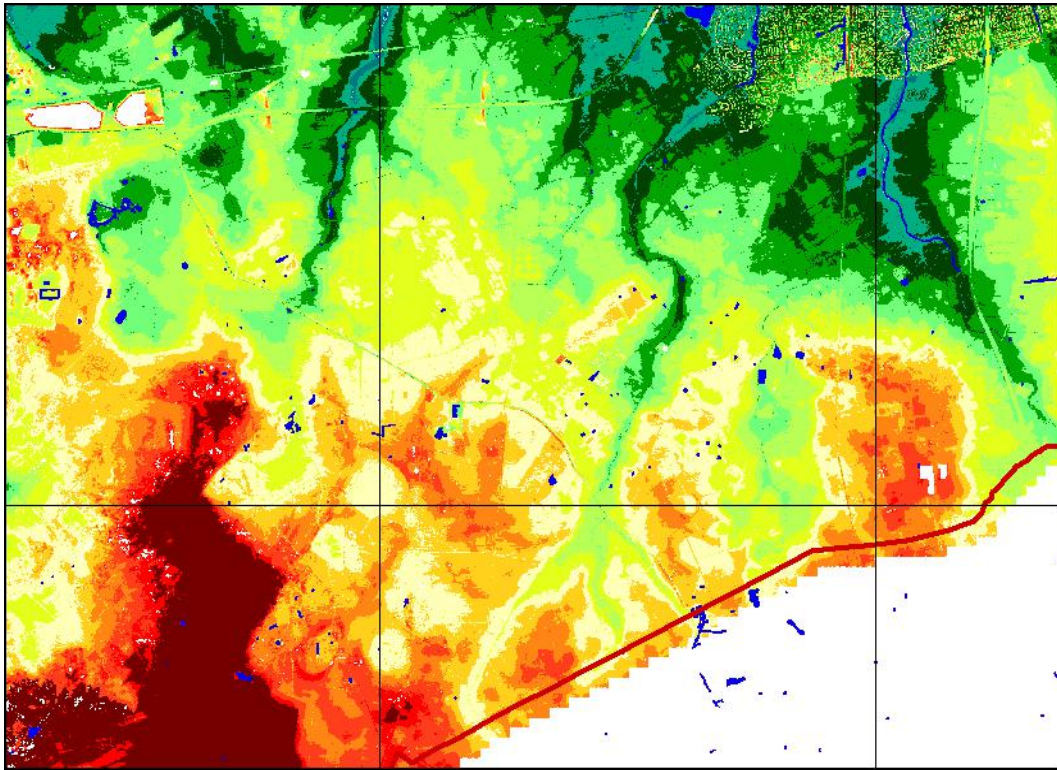
7.3 Veentjes met een halve ringwal

Ook zijn er veentjes met een halve ringwal. Gewoonlijk komen ze in reeksen voor en in het algemeen gaat het hier om restlaagten naast een opgestoven vroeger meanderend stelsel. Het opgestoven stelsel verloor elk jaar wat water naar de laagten, die, als gevolg van ijswerking, telkens groter konden worden ("dooimeren"). Mooie voorbeelden liggen in West-Brabant, waar een aantal de invloed van basenrijk grondwater uit de aangrenzende ruggen mooi laat zien in de vorm van de aanwezigheid van kalkgyttja's in de laagten en in de vorm van toponiemen als blek, die ook met kalkrijke plekken geassocieerd werden. In een aantal kwam hoogveen voor, als laatste fase van een verlandingsproces. Er kwamen hier prachtige mesotrofe vegetaties voor; het Groote Meer bij Ossendrecht verwierf een landelijke reputatie op dat punt. Door drinkwaterwinning viel het zelfs droog.

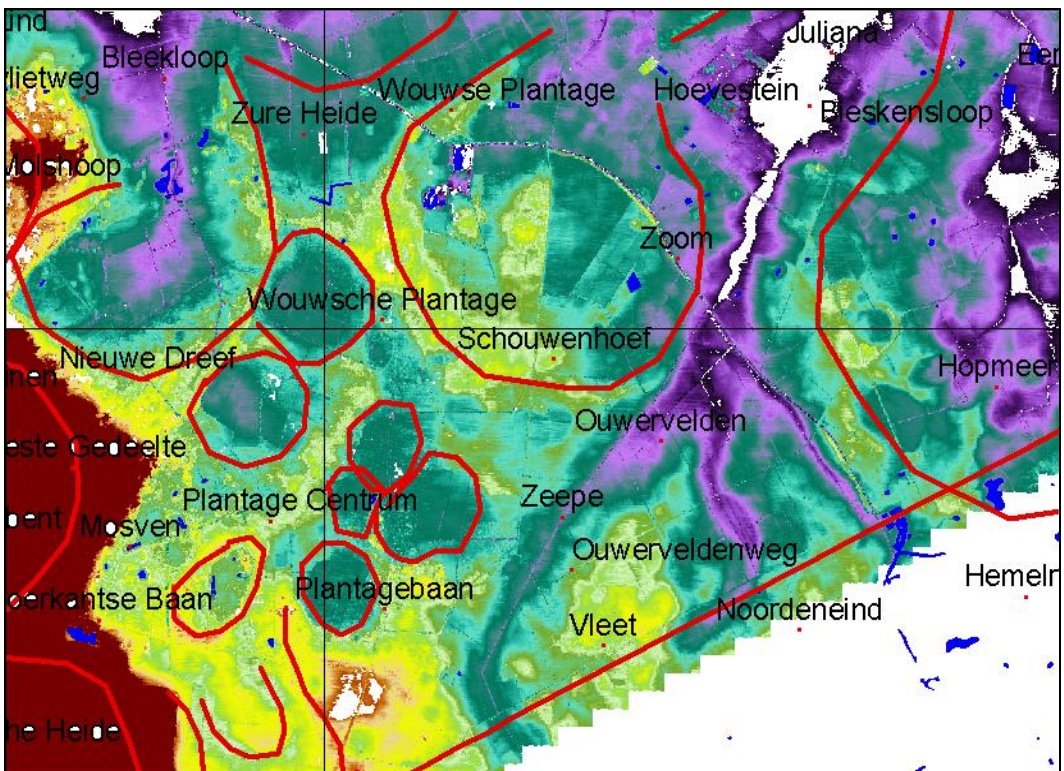
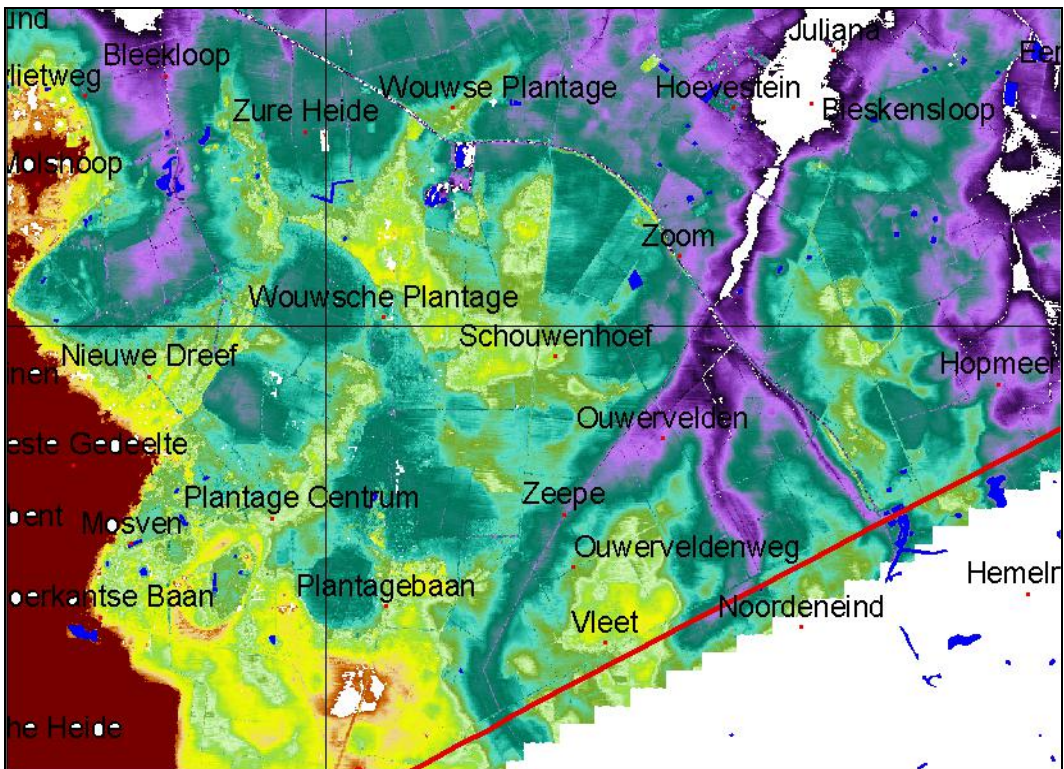
Uiteindelijk kunnen de hydrologische relaties buitengewoon ingewikkeld zijn door alle combinaties van landschapsvormen. In een veentjesreeks in de boswachterij Dwingeloo is er, vanwege de algemene terreinhelling, af en toe contact tussen veentjes die vermoedelijk als ringwallose depressie zijn ontstaan achter één van die Drentse rechte ruggen. Vanwege de ligging in een stuifzandgebied zijn er secundair wallen ontstaan. Die dragen nu bij aan de voeding en dankzij het daarmee aangevoerde koolzuur is de ontwikkeling van de veenmosvegetaties in praktisch alle gevallen verbluffend goed. De

³⁹ J.J.Delvigne & G.J.Koopman(1991): *Het landschap. De geschiedenis van Westerwolde 1. Groningen.*

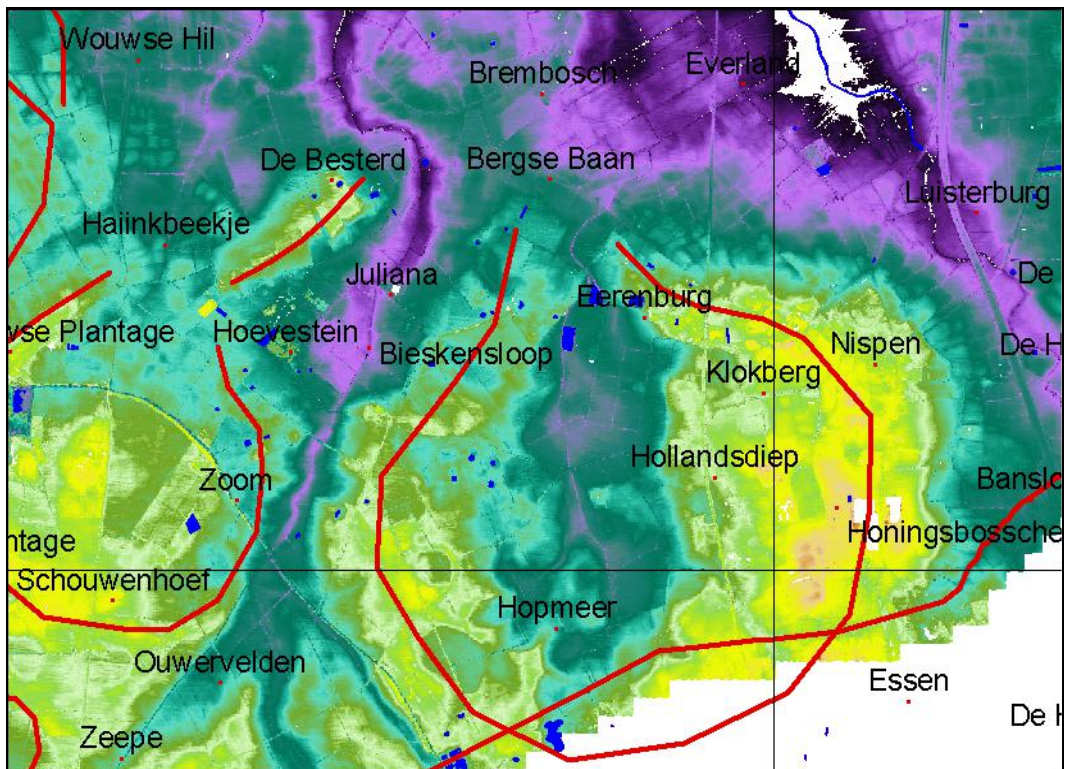
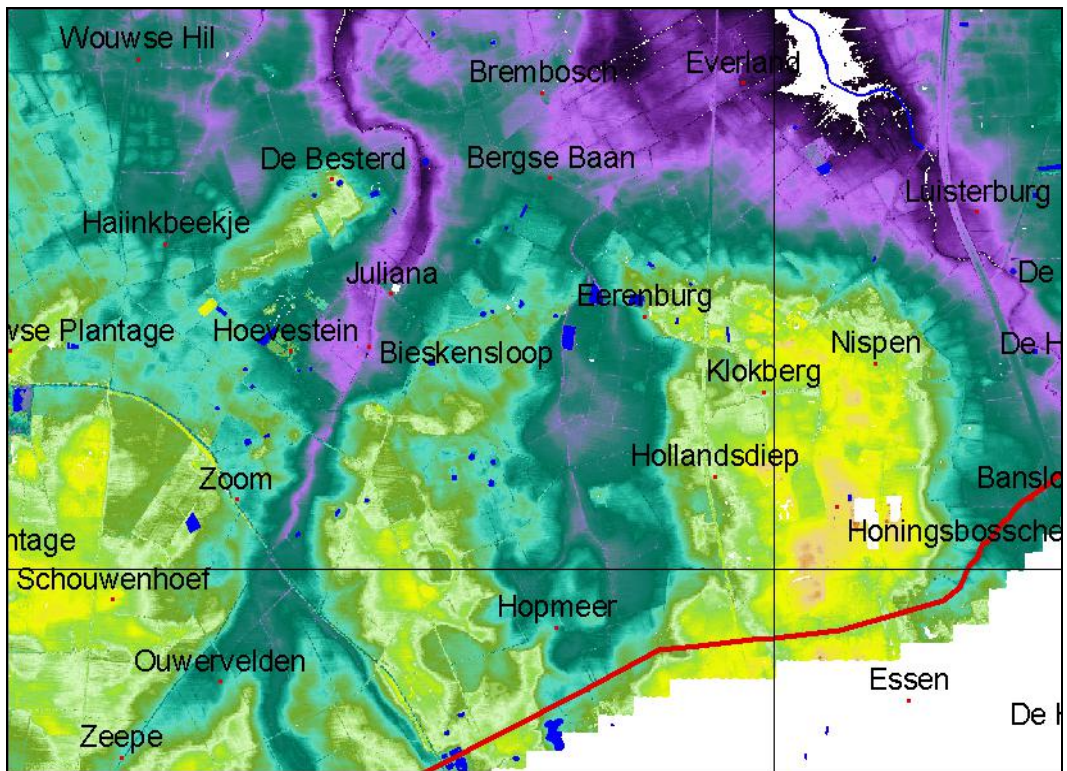
veentjes liggen op een gliedelaagje en een verkitte oerbank daaronder; daaronder ligt keileem (Bakker e.a. 1986, Verschoor e.a. 2001). In de zomer droogt de laag onder de veenbodems uit; onder de keileem kan ook uitdroging optreden. Bij hoge waterstanden vult het systeem zich weer en dan kunnen de veentjes water naar elkaar verliezen, maar ook naar een uitstuivingslaagte westelijk van de reeks – waar de verstuiving beperkt bleef tot niet door lekkage bepaalde gronden. En men kan hier het water letterlijk alle kanten op zien stromen, tot zelfs geheel tegengesteld aan de stroming van het diepe grondwater.



Figuur 73. Complexen van meerbodems en kwelkraters rond de Wouwe Plantage.



Figuur 74. Detail van het landschap bij de Wouwse Plantage zelf, met meerbodems. De rode lijnen geven de belangrijkste structuren weer.

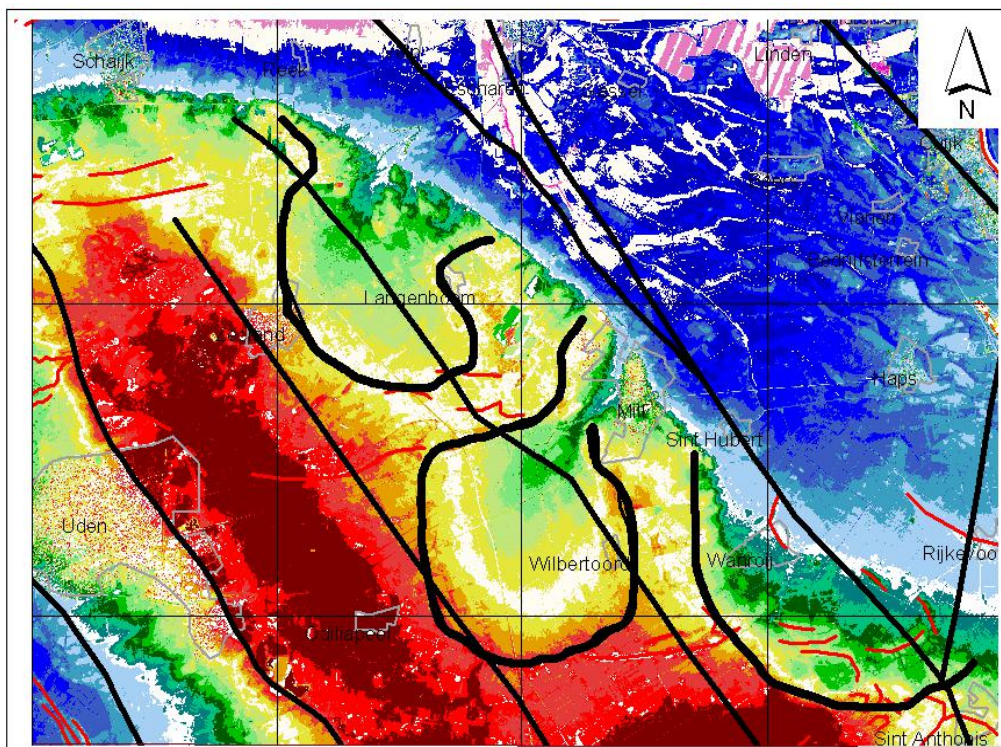


Figuur 75. Detail van kwelkraters het landschap met meerbodems. De rode lijnen geven de belangrijkste structuren weer.

8 Terugschrijdende erosie

8.1 Veldbeschrijving landschapsvorm

De hoefijzervormige vormen ten noorden, westen en zuiden van Mill. Deze verschillen van echte kwelkraters door het ontbreken van een verhoogde ronde achterrand. Herinnerend aan paraboolduinen en kwelkraters, maar de structuren bij Mill hebben de opening naar de verkeerde kant. Ook de radiale structuur, die gewoonlijk kwelkraters van deze omvang kenmerkt, ontbreekt. Merkwaardig is overigens wel, dat in het centrum soms van een lichte verhoging sprake is. Dat zou kunnen pleiten voor een bron in het centrum



Figuur 76. Overzicht van de noordoost zijde van de Peelhorst met terugschrijdende erosie. In het Maasdal zijn Weichselien stroomruggen te zien.

8.2 Interpretatie – genese en functioneren

De ondergrond bestaat hier uit goed doorlatend materiaal en het hoogteverschil met de lagere oostelijker Maasterrassen leidde kennelijk tot uitbundige erosie. Daarbij mag men verwachten, dat het grofste materiaal op de hogere randen achterbleef en dat dat dus leidt tot goed doorlatende

buitenranden. In die zin uitendie zich als plaatsen voor preferente grondwaterstroming kennelijk ook nog op het einde van de laatste IJstijd: de randen zijn licht verhoogd; het centrum in 2 van de 3 gevallen ook, zij het lager dan de buitenrand. Interessant zijn de nevenstructuren aan de buitenzijde van het hoofzijzer van Mill: bevrozend uitgetreden water lijkt hier tot ronde structuren te hebben geleid. In België kent men dergelijke structuren als 'bronnenamfiteaters' en een voorbeeld is gegeven in de figuur hieronder.

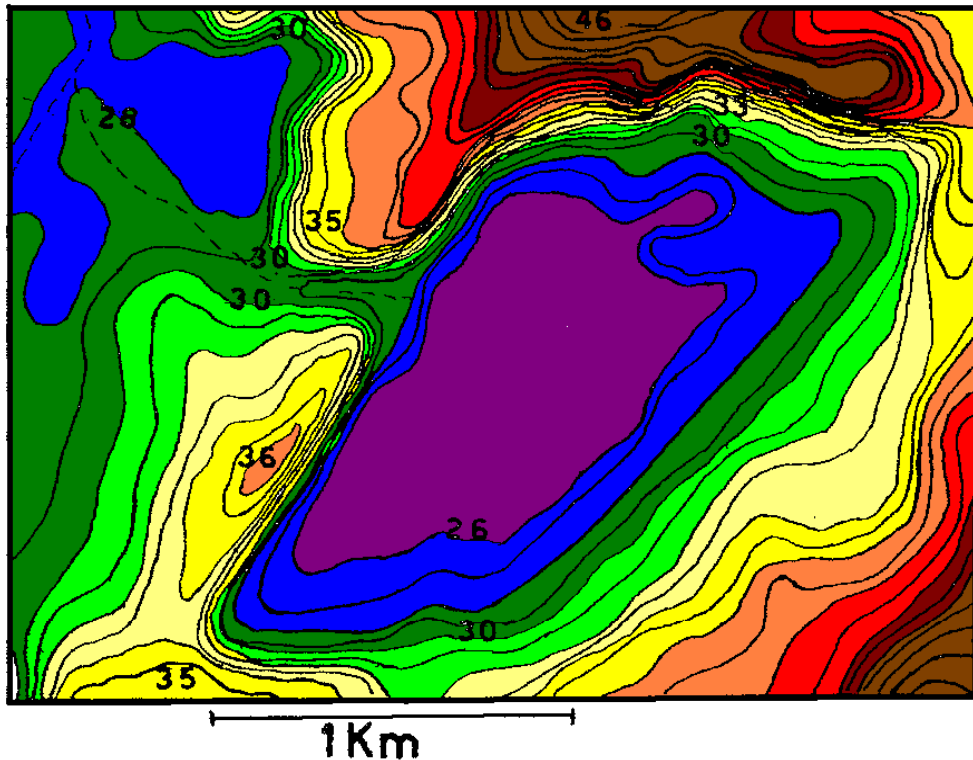


FIG. 3. Relief map of the depression "Het Vinne" at Leau and location of the main borings.

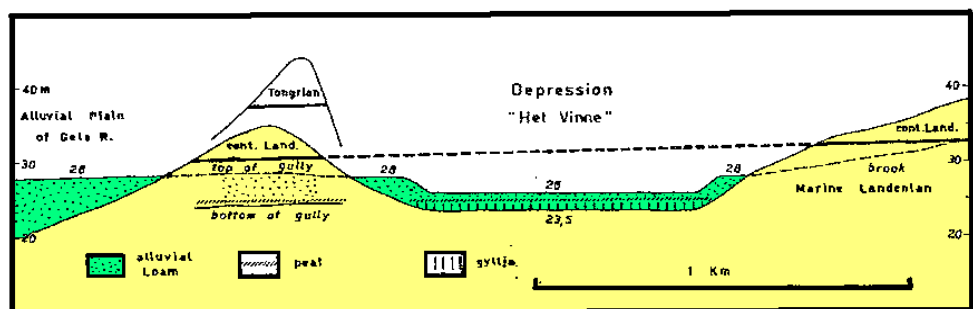
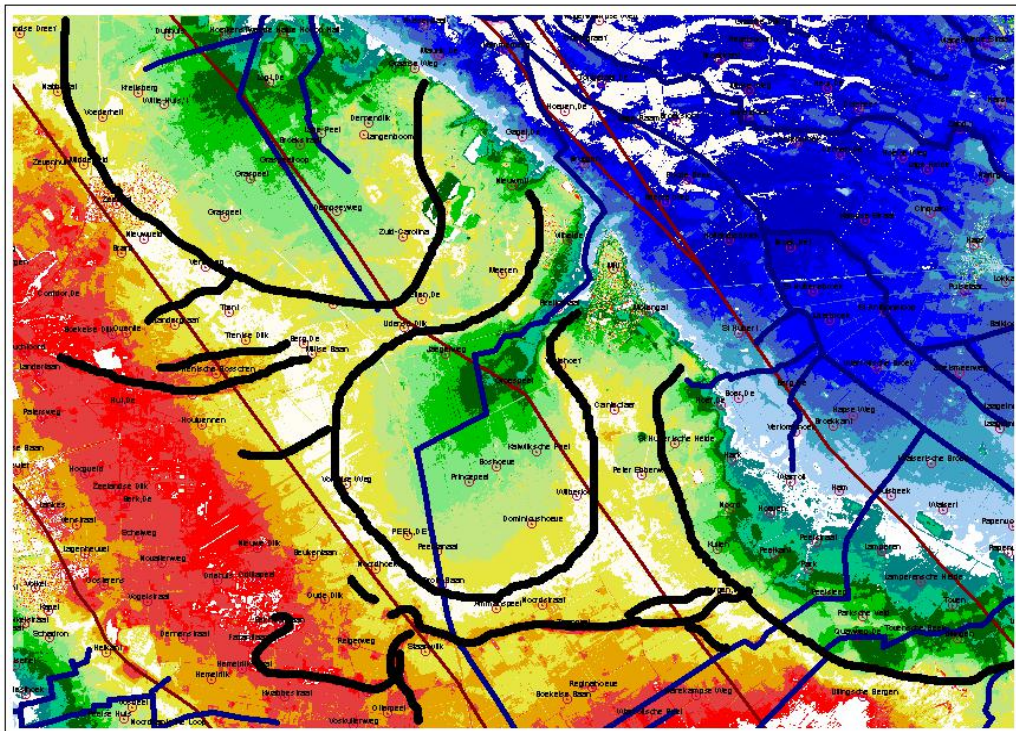
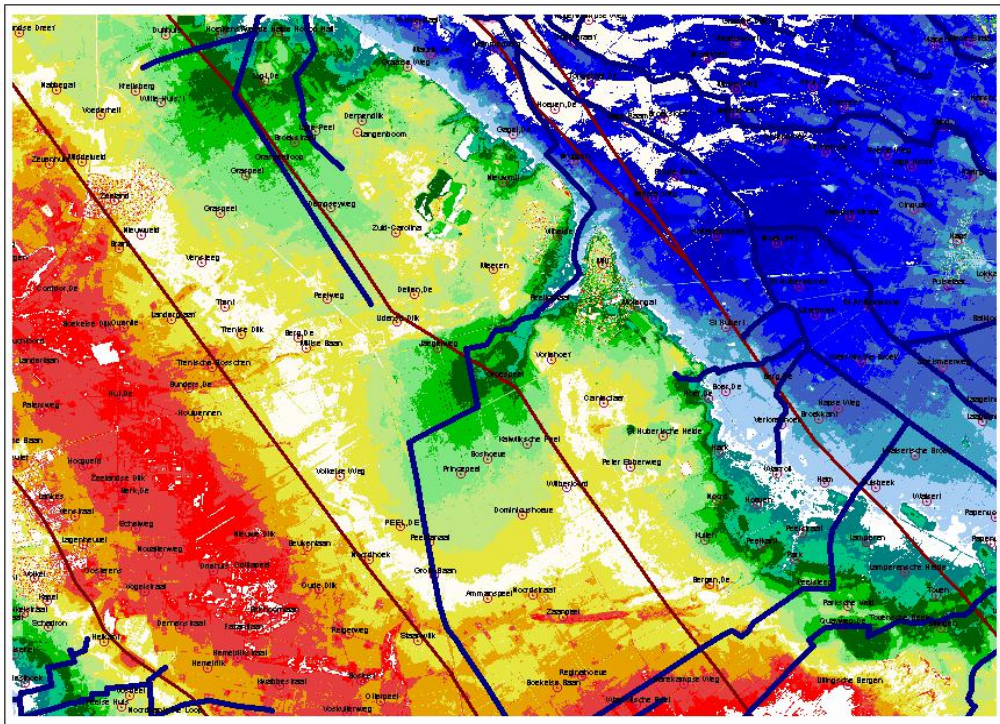


FIG. 4. Geological stratification of the depression "Het Vinne" at Leau.

Figuur 77. Bronnenamfiteater het Vinne bij Leau in België.



Figuur 78. Grote hoefijzervormige structuren aan de noordoost zijde van de Peelhorst als gevolg van terugschrijdende erosie.

9 Beekdalen en bevoeiingsstelsels

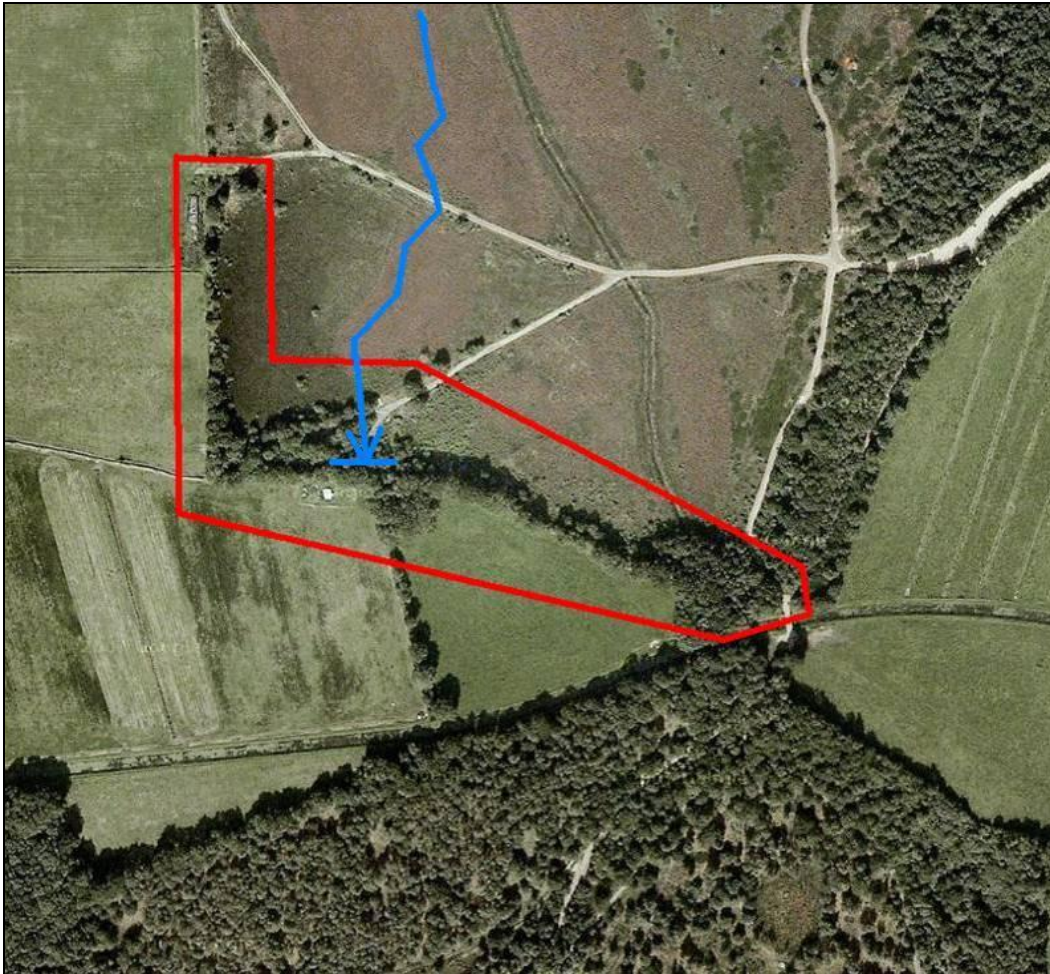
9.1 Veldbeschrijving landschapsvorm

De algemene gedachtegang is dat het primair droge zandlandschap in principe beperkt was tot die hogere delen van het landschap, die moeilijk werden aangetast door erosie: terreinen met een bestrooiing van grof materiaal, stuwwallen en dergelijke. Secundair droge landschappen zijn aanzienlijk algemener; ze hangen in het algemeen samen met landbouwkundige activiteiten, ook al ver voor het begin van onze jaartelling, getuige het feit dat Waterbolk de kolonisatie van de kwelders correleert met zandverstuivingen op het Drents Plateau (Wommels-Ruinen Cultuur, ca. 600 voor Chr.). Ook in recentere tijd is door overbegrazing van verdrogingsgevoelige gronden, opnieuw stuifzand ontstaan. Daarnaast zijn er andere mogelijke oorzaken van verdroging

Het moet niet uitgesloten worden geacht, dat in noord Nederland ook zeespiegelrijzing tot enige verdroging geleid heeft. Weliswaar leidt zeespiegelrijzing globaal tot een grondwaterstijging in het landschap, maar lokaal kan op sommige plaatsen verdroging zijn opgetreden, omdat eb en vloed tot diep in de zandplateau's zijn binnengedrongen. Zo kende zelfs het Zuidlaardermeer voor de afsluiting van het Reitdiep nog enige getijdenwerking en zwom er Bot. Verdroging kan zijn opgetreden aan de noord- en oostzijde van het Drents Plateau, waar de invloed van de zee door het Zuidlaardermeer zeer nabij kwam, terwijl aan de zuidzijde de Zuiderzee de dalen van Tjonger en Linde beïnvloed moeten kunnen zijn .

Ook het doorbreken van beeksystemen door watervoerende ruggen kan aanleiding hebben gegeven tot sterke lokale verdroging. Een voorbeeld is het Buurserzand. Daar is de verlegging van de Buurserbeek rond 1400 de aanleiding tot het ontstaan van een zandverstuiving: het Buurserzand (Ebbers & Hamming 1979).

Tussen de dekzandruggen zijn sinds de laatste ijstijd venige laagten ontstaan. We vinden hierin meestal voedselrijkere veentypen of de resten daarvan. Veel van die laagten met dikke veenpakketten kenden vrijwel geen waterlopen, maar voerden hun water af door de toplaag van het levende veen of middels kleine overlopen naar een volgende laagte (Succow 1986, Everts & De Vries 1991, Succow & Joosten 2001). De voedselrijkere laagten zijn landbouwkundig benut, en die noemen we nu beekdalen. De laagtes met armere veentypen (hoogveenachtige typen) waren landbouwkundig niet aantrekkelijk en voor zover oppervlakkige afstroming uit die 'zijdalen' plaatsvond, werd die geblokkeerd met houtwallen. Een mooi voorbeeld daarvan is te vinden bij Anholt.



Figuur 79. Zuur water kerende wal van 2 m dik (omgeven door rode lijn) bij de Kraloërheide bij Anholt, in Drenthe. De blauwe lijn ligt oostelijk van het op de luchtfoto zichtbare heidebeekje. Dit beekje is gegraven om de teelt van Boekweit in en rond de Kraloërplas mogelijk te maken. De plas zelf is het gevolg van een uit de hand gelopen veenbrand, die met die teelt samenhangt.

Onder beken verstaat men in het algemeen slingerende natuurlijke afwateringsstelsels. Veel Nederlandse beken echter, zijn gegraven, wat het meest duidelijk is bij die beken die naast hun dal liggen, of hun dal langs de kortst mogelijke weg kruisen. Een dergelijk systeem is uitvoerig beschreven voor een van de bovenloopjes van de Drentsche Aa: de Haaler Leek (Havelaar 1997). Doel daarbij was waarschijnlijk bevoeiing van de venige laagten. In deze laagten ontbrak -door de onderliggende leemlagen- in veel gevallen de kwel. Als gevolg daarvan waren de veengraslanden hier uiterst vorstgevoelig en opvriezen van de zode was een landbouwkundige ramp. Om dat te voorkomen tapte men warm en bij voorkeur kalkrijk grondwater af en leidde dat over het veen (zie ook: Krause 1954). Water van "blekken" (kalkmoerassen) was daarbij favoriet, zoals blijkt uit processen die zijn gevoerd in de middeleeuwen over het gebruik van beekwater.

Buiten de beekdalen liggen ook natte zandgronden. Ze worden nu voornamelijk door regenwater gevoed, maar waren in het verleden veelal beïnvloed door baserijk grondwater of oppervlaktewater. Deze vochtige zandgronden zijn vaak -door droge heiden omgeven- afvoerloze zijdalen van de beekdalen. Voor Zuid-Twente weten we zelfs, dat boeren recht hadden op

Beken en beekdalen zijn algemeen bekende landschapsvormen in Nederland. Het zijn stelsels van oppervlaktewater met een grote veelvormigheid. Gewoonlijk vinden we bij natuurlijke beekstelsels zich verleggende meanders en takken stroomafwaarts gaand steeds meer zijbeken aan.



Figuur 81. Natuurlijk meanderende rivierstelsels in Siberië.



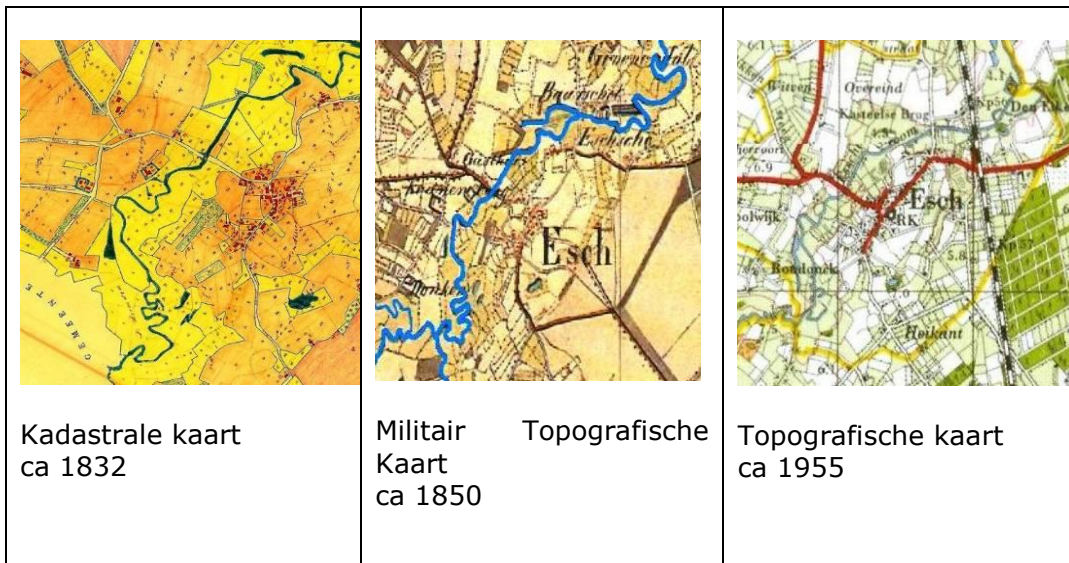
Figuur 82. Natuurlijke rivierloop in Siberië



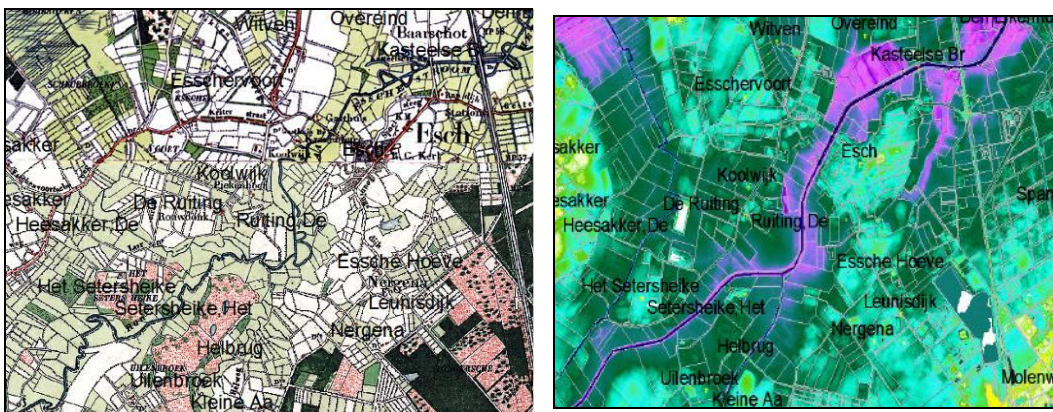
Figuur 83. Rivieren netwerk in Alaska

Zoals de figuren hierboven laten zien laten de meeste rivier en beeklopen een patroon zien van toenemende aantakking van zijbeken stroomafwaarts gaande. Slechts in bijzondere periglaciale omstandigheden met hoge afvoeren krijg je vlechtende systemen die netwerken vormen.

In Nederland treffen we echter andere beeklopen aan. Niet alleen vinden we stelsels die weliswaar meanderen, maar waarbij de meanders zich blijkens luchtfoto's en kaarten nooit hebben verlegd. Vaak kalven meanders ook aan de binnenbocht af en niet aan de buitenbocht. Ook liggen beken vaak niet in het laagste deel van hun beekdal. Tenslotte vertonen veel beeksystemen stroomafwaarts splitsingen en aantakkingen en vormen hele netwerken



Figuur 84. Meanders die zich niet verleggen in de Essche Stroom bij Esch. In 1955 zijn de meanders aan het verdwijnen door toenemende kanalisatie van de beek.



Figuur 85. Meanderende Essche Stroom bij Esch, springt heen en weer binnen haar beekdal.



Figuur 86. Netwerken van beeksystemen op de kaart Kart Brabantse van Blaeu uit ca 1640.

Het lijkt er dus op alsof de aangetroffen morfologie van veel beeksystemen dus niet een natuurlijk patroon volgt. Het ligt voor de hand te veronderstellen dat er sprake is van een sterke menselijke invloed op deze systemen.

9.2 Interpretatie – genese en functioneren

Na het milder worden van het klimaat en, in het voetspoor daarvan, het stijgen van de grondwaterspiegels in het Holoceen raakte het oppervlak begroeid, waardoor de verdamping toenam, maar ook een tekort aan sediment ontstond: er kon weinig meer verstuiven. In dat tekort aan sediment werd voorzien door veenvorming. Dat veen werd in het algemeen gevormd onder een zekere isolatie van het onderliggende grondwater: de lemige afzettingen aan de basis van het veen belemmerden opwaarts transport van grondwater. De voeding vond dus vooral plaats vanuit de flanken van de naastliggende dekzandruggen, onder bijmenging van de lokale neerslag.

Dat veen nu werd op den duur de belangrijkste basis voor de landbouw in deze streken: er werd grasland op aangelegd, dat redelijk productief was, doordat de in de loop van de voorgaande eeuwen vastgelegde voedingsstoffen gemobiliseerd werden. Dat gebeurde door een combinatie van (licht) ontwateren en bevoeien. Dat laatste is een vorm van grondgebruik die praktisch alleen nog uit enkele lokaal-historische studies bekend was en voor Brabant ook wel ontkend is⁴⁰. De verklaring daarvoor schuilt in de wens vorstschade aan de zode te voorkomen – madeveengronden zijn notoir vorstgevoelig⁴¹, gevolg van de aanwezigheid van leemlagen in de ondergrond, die directe invloed van kwelwater belemmert. Door nu het land in de water “af te dekken” met een laagje water, voorkwam men het indringen van de vorst in de grond. Vond dat plaats, dan vroomde de grasmat op en braken de spruiten af van de wortels. Omdat daarin de voorraad reservevoedsel zit voor de eerste grasgroei in het vroege voorjaar, verliest men in feite tenminste een oogst. Door nu te bevoeien, voorkwam men vorstschade. Men bereikte voorts, dat allerlei de grasmat belagende organismen als ritnaalden, engerlingen, veldmuizen, mollen, enz., geen kans kregen. Tenslotte, niet onbelangrijk, werd het groeiseizoen verlengd – in de Belgische Kempen kon eind maart al het eerste gras worden geoogst⁴². Bij het huidige waterhuishoudkundige regime kan dat op zijn vroegst zo’n anderhalve maand later. Het adagium dat nat land koud en laat is behoeft dus enige correctie – en aan dat geloof hebben we al die diepe ontwateringsloten te danken...

De primaire betekenis van bevoeiing lag dus niet in de aanvoer van slib⁴³, maar in beperking van de vorstschade en de grotere oogstzekerheid. Al was slib welkom – het wordt wel als het enige excuus voor ‘het gebrek aan waterbeschaving’, zoals het begin 20^e eeuw werd aangeduid, van onze voorouders gezien – primair doel was het niet bij bevoeiing. Het is zelfs de vraag of er wel veel slib werd aangevoerd in de meeste gevallen – alleen de Berkel (de grootste in ons land stromende gegraven beek⁴⁴

Ten behoeve van de bevoeiing zijn vermoedelijk alle beken in het hoge deel van ons land gegraven⁴⁵. Kort samengevat: de verstopping met dekzand van ons land betrof vooral die plaatsen, waar nog enig water aanwezig was en hoewel er hier en daar overloopgeultjes tussen laagten aanwezig geweest zijn, was van een samenhangend en doorlopend stelsel geen sprake. De

⁴⁰ Vooral n.a.v. een artikelenreeks van Bert van Polen in de lokale pers over de natuurlijkheid van beken.

⁴¹ B. van Heuveln (1965): *De bodem van Drenthe*. Wageningen. Ook Tiesing maakt daar gewag van. Zie C.H. Edelman (1943): *De geschriften van Harm Tiesing over den landbouw en het volksleven van Oostelijk Drenthe*. Assen.

⁴² J. Burny (1999): *Bijdrage tot de historische ecologie van de Limburgse Kempen (1910-1959)*. Publ. Nat.hist.Gen. Limburg Reeks 42, afl. 1. Maastricht.

⁴³ Die gedachte werd recent nog verwoord door W. Tijms (1992): *De landbouw in het kerspel Diever (Middeleeuwen – 1612)*. In: J. Bos et al. (red.): *Geschiedenis van Diever. Zuidwolde. De Drentse beken waren echter buitengewoon arm aan slib en rond de Haler Leek, omgeven door vochtige heide en hoogveen, was van slibaanvoer al helemaal geen sprake. Toch bevoeide men, getuige vele stuwkolken, ook daar op grote schaal. Zie voor een correctie op Tijms berekening G.J. Baaijens (1997): *Waterbeheersing rond de Haler Leek*. In: *Havelaar et al., op. cit. p. 113-136*.*

⁴⁴ Ze is 140 km lang, maar loopt in Duitsland op de waterscheiding tussen een aantal noord- dan wel zuidwaarts stromende beken, mijdt in ons land alle laagste delen en doorsnijdt zowel bij Haarlo als Lochem hogere ruggen. Het slib werd zo angstvallig binnen de eigen grenzen gehouden, dat de (jonge)staatkundige grens tussen Overijssel en Gelderland tussen Lochem en Westerflier nu als een bodemkundige en geomorfologische grens is terug te vinden. De landweer brak op één punt enkele malen door; daar vinden we dan ook een klein kleiwaaiertje op Overijssels gebied.

⁴⁵ Zie voor achtergronden van dit vermoeden G.J. Baaijens, F.H. Everts & A.P. Grootjans (2001): *Traditionele bevoeiing van grasland. Een studie naar vroegere bevoeiing van reservaten in pleistoceen Nederland, alsmede enkele boezemlanden*. Rapport Expertisecentrum LNV, Wageningen.

meest natuurlijke beken van ons land vindt men dan ook in het lage deel van ons land (Amstel, Angstel, Rotte, Gein, Eem, Reitdiep, etc.), hoewel daaraan getijdenbeweging niet vreemd lijkt te zijn geweest: het was dus eerder de "pull" van de dagelijkse eb en de "push" van de vloed dan de "push" van veenwater dat daarbij een rol lijkt te hebben gespeeld. In dat licht bezien heeft de Steenbergse Vliet natuurlijker trekken dan de Dommel en de Aa – al zal menigeen dat anders ervaren en al is er ook aan die getijdengeulen veel menselijk handelen te pas gekomen. Misschien wel het sterkste argument tegen de natuurlijkheid is – het kwam al eerder ter sprake – het feit, dat de "meanders" zich nooit hebben verlegd.

Hoe ging men bij die beekaanleg tewerk? Het basisprincipe is eenvoudig: men zocht die plaatsen op, waar kwel van, bij voorkeur basenrijk, grondwater optrad. Dat heeft ook de gewenste hoge en constante temperatuur. De Warmbeek lijkt er haar naam aan te danken te hebben; heeft misschien zelfs wel een wat hogere temperatuur door eigenaardigheden in de ondergrond. Terzijde: op de Veluwe kent men, als tegenhanger van de Brabantse Warmbeek, een Koude Beek. Die kwam uit hoogveen en heide. Bij meanderende dekzandruggen zullen de gewenste plekken vooral de buitenbochten van ruggen zijn; bij kwelkraters is vaak het hart van de (verstopte) krater zo'n gezochte plek. Ze moeten niet moeilijk herkenbaar geweest zijn: Gele Lis, smalbladige Wilgensoorten⁴⁶ en Grote Zeggen wezen de weg en in de winter zijn plekken waar het niet bevriest gemakkelijk te verkennen⁴⁷. plaats zal hebben gevonden Die kwelplekken verbond men met elkaar en indien in het tussengelegen traject al te veel water wegzeeg klopte men er wel leem in. In de Achterhoek ontdekte Zuurdeeg zelfs aquaducten: de beek was hier op houtwallen gebracht, die behalve die transporterende functie ook nog een rol speelde bij het weren van oppervlakkig afstromend zuur (en koud) heide- en veenwater⁴⁸. Als de ruggen veel water leverden, ging men wel min of meer zigzaggend door zo'n rug heen. Die constructie ziet men veel in de Gelderse Vallei; een variant daarop is een begreppeling, of zelfs een slotenstelsel, bovenop hogere terreindelen.

De beek zelf kan op verschillende manieren zijn vormgegeven. In een eerdere publicatie is daarop nader ingegaan⁴⁹. In elk geval bestond altijd de mogelijkheid tot opstuwing. Die plekken laten zich op oude kaarten of op oude luchtfoto's gemakkelijk aanwijzen, als verbredingen in de beek: stroomafwaarts van de stuw kolkte de beek uit, vaak lag daar ook een stortebed.

Vaak liggen stuwplekken bij abrupte knikken in de beek: een deel van het water stroomde dan direct over het land naar een punt, waar het opnieuw op de beek kon worden gebracht. Ook bruggen en de bijpassende landhoofden en wegen waren favoriete plekken: men spijkerde dan planken tegen de staande balken van de brug⁵⁰. Voor de Reest is dat dubbelgebruik ook

⁴⁶ Lokaal als "Weide" aangeduid en daarmee scherp onderscheiden van de breedbladige soorten, die op oppervlakkige toestroming van basenarm water wijzen en als "Warf (t) of Werf(t)" worden aangeduid. Het zal wel toeval zijn, maar op de laatste plaatsen kon men wel goed bouwen, dus een erf of werf(t) stichten en de eerste plaatsen leverden goed weide- en hooiland op.

⁴⁷ Vink (op. cit.) gebruikte voor zijn studies in het rivierengebied ook dit soort kenmerken. Hij sleet hele zaterdagen bij kappers om van boeren, die zich die dag lieten scheren, informatie over kwelplekken te verkrijgen.

⁴⁸ N.Zuurdeeg (1991a): Oud boeren-waterbeheer in de Achterhoek. *Natuur en Landschap in de Achterhoek en Liemers* 52:44-51 en id. (1991b): Water wijst de weg. *Natuur en Landschap in de Achterhoek* 5, 3/4:98-106.

⁴⁹ Zie voetnoot 19.

⁵⁰ Daarmee hangt vermoedelijk de bepaling samen dat bruggen in Drenthe altijd vervaardigd moesten zijn uit jukken van eiken balken van 1 voet in het vierkant (30x 30 cm). Voor het vervoer over de bruggen is dat een overdreven zware constructie. Opmerkelijk is ook, dat bijv. in

gedocumenteerd⁵¹; de overstorten werden vaak van een stenen bodem voorzien, die later als voordren⁵² werden aangeduid. Ze kunnen die functie ook wel gehad hebben, maar gezien de koppeling weg - brug - stuwkolk - keienvloer is een voorde naast de weg toch niet geheel logisch, al kan er van secundaire verplaatsing sprake zijn. De vele zgn. voordren in de Drentsche Aa⁵³ zullen een vergelijkbare functie gehad hebben. Enkele daarvan liggen niet in een weg.

Men moest niet alleen over een aanvoer, maar ook over een afvoer beschikken. Het meest eenvoudige was als men die kon combineren, door bijv. de beek langs de kortste weg dwars over het beekdal te leiden. De stroomafwaartse delen konden op die manier gemakkelijk bevoeid worden en er kon worden geloosd op het volgende deel van de beek. Die oplossing vindt men op vele plaatsen, op grote schaal bijv. langs de Berkel, maar ook langs belangrijke delen van de Dommel. Een andere, veel aangetroffen, oplossing is een opgeleid stelsel, dat gewoonlijk als beek wordt aangeduid en een min of meer parallel daarmee lopende, vaak als "laak" of "leek" aangeduide, waterlossing, die voor de afvoer zorgdroeg. Bij de aanleg daarvan ging men recht door het veen. Bochten zijn daar dan ook schaars. Bochten zijn ook schaars in voorzieningen die bedoeld waren om vanuit heide en/of hoogveen afstromend water af te voeren. Dat was arm, zuur en loogde dus uit in plaats van te bemesten. Ze zijn op de kaart vaak terug te vinden als Kwasloot, Ruimsloot, Leisloot, e.d. Men vindt ze vooral waar over grote lengten oppervlakkige afvoer plaats kon vinden; ze eindigen gewoonlijk op de grens van de het dorpsbehoren in de beek⁵⁴. Dat is natuurlijk niet toevallig – men was het zure water zelf kwijt en de burenen moesten zich maar redden.

Het hiervoor beschreven patroon – twee evenwijdige watergangen in een beekdal, waarvan er één hoger ligt – tekent zich, met variaties, in Brabant op vele plaatsen af. Een dergelijk patroon past ook bij bevoeiing: had men slechts willen ontwateren, dan was een watergang in het centrum van het dal, met dwars daarop zijsloten, voldoende geweest – en dat had ook aanzienlijk minder energie gevergd. De conclusie is dus onontkoombaar: er is buitengewoon veel onnatuurlijks aan de Brabantse beken. Zelfs de bochten zijn gewoonlijk gegraven en van meanders is in feite geen sprake. Overigens: al in de jaren '30 en '40 verbaasden onderzoekers zich over de afwezigheid van bij meandering behorende verschijnselen als bochtverleggingen,

Meppel en bij Zuidwolde de landhoofden van bruggen over de Reest al gemetseld waren in een tijd, dat buiten de kerk stenen huizen niet of nauwelijks bestonden. De Brabantse rechtsregels zijn op dat punt, voor zover ons bekend, nog niet onderzocht

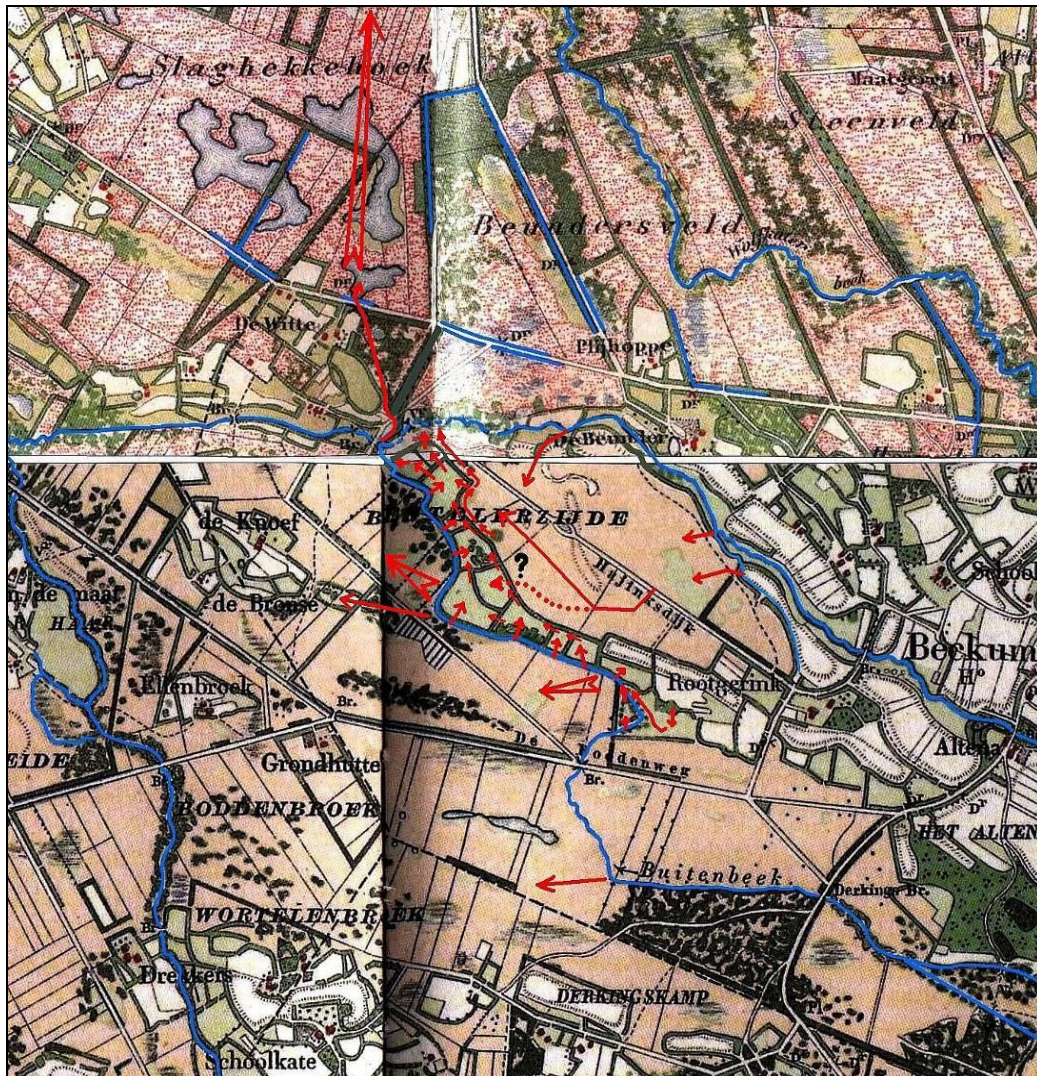
⁵¹ J.P. van den Berg (1986): *Het water en Staphorst*. In: N.J. Driessen (red.): *Van Reestdal tot Beentjesgraven; van Kievitshaar tot Kievitsnest: geologie, natuur, cultuur en historie in de gemeente Staphorst*. Zwolle; pp. 21-47. Op p. 35 wordt ingegaan op bevoeiing langs de Reest en worden twee 19^e-eeuwse reglementen voor de Staphorster zijde gemeld.

⁵² Voorden waren oorspronkelijk zandruggen in het veen, die een verbindingsmogelijkheid ("voortgang") boden. Men vindt dan ook nogal eens voordren op plaatsen zonder beek (Lichtenvoorde, bijv.). Doorwaadbare plaatsen werden aanvankelijk – en lokaal nog wel – als "wad" aangeduid, waarin men (door-)waden herkent.

⁵³ H. Lanjouw & H. van Westing (1995): *Voorden in Drenthe*. NDV 112:36-50. Jammer is, dat ze zich beperkt hebben tot het aangeven van ongeveer wegbrede steenbestortingen: ook bij kleinere kan immers van een stuw sprake zijn geweest. Terzijde zij er op gewezen, dat de term voorde aanvankelijk sloeg op zandruggen in het veen. Bij de aanleg van beken ging ze over op de passage van de beek. Er zijn dan ook beekloze voordren, zoals bijv. Lichtenvoorde. Voorzetsels als brede, kromme, hulst e.d. slaan dan ook op de zandruggen, niet op de aard van de gewoonlijk smalle en korte passages van de beek.

⁵⁴ Een mooi voorbeeld ligt in het Geelbroek, een reservaat van Staatsbosbeheer binnen het stroomgebied van de Drentsche Aa. In het kader van de ruilverkaveling Laaghalen bestond het onzalige voornemen hier bochten in de Ruimsloot te graven en vrije meandering mogelijk te maken. Daarvoor zijn stroomsnelheden nodig, die alleen maar kunnen leiden tot een verdere verdroging van het gebied.

afsnoringen e.d.⁵⁵. Dat pleit dus voor het vernuft van onze middeleeuwse voorouders, want erosie is in de rechte leidingen van vandaag de dag eerder regel dan uitzondering.



Figuur 87. Voorbeeld van een bevoeiingsstelsel rond de Buitenbeek in Overijssel. De rode pijlen laten zien in welke richting water uit beken over het land werd gelaten.

In de randgebieden van de Pleistocene gronden werd eveneens bevoeid. In de klei-op-veengebieden van Noordwest-Brabant zal het vermoedelijk niet anders zijn geweest – nog steeds leeft de herinnering aan de blank staande komgronden in het Land van Heusden en Altena, ten noorden van Etten en Leur, etc. De ratio achter dit “gebrek aan waterbeschaving” is eigenlijk nooit onderkend. Een prachtig voorbeeld van bevoeiing van Pleistocene randgebieden vindt men in het Groninger Westerkwartier. Voor 20 maart werd er zelfs niet geloosd op het Reitdiep. “Het hooi [van dit bevoeide land] was

⁵⁵ Als eersten, voor de Ratumsebeek in Winterswijk: V. Westhoff & H. de Miranda (1938): Kotten, zoals de NJN het zag. Amsterdam. Specifiek voor een groot aantal Drentse beken: P.H. Kuenen (1945): De Drentsche riviertjes en het meandervraagstuk. Verh. Geol.-Mijnb. Gen. Geol. Ser. 14: 313-336. De onnatuurlijkheid van de talloze bochten in de dan nog niet rechtgetrokken Wold Aa blijkt fraai uit een luchtfoto uit begin jaren '30, afgedrukt in C.A.J. von Frijtag Drabbe (1972): Luchtfotografie. Den Haag, p. 26.

een zware concurrent van het beste kleihooi" leren we uit een oud boerennotitieboek⁵⁶. Dat is dus een wat ander beeld dan uit jaren landbouwvoorlichting naar voren komt: het beeld van verzuring en rottend gras is eigenlijk alleen aan de orde bij stilstaand regenwater en men deed er alles aan om stilstaand water te voorkomen. Niet voor niets heette het bevoeide grasland in de 17^e-eeuwse grondschattingen stroomland: het water diende door te stromen⁵⁷. In de oudst bekende Drentse regeling met betrekking tot de waterhuishouding wordt het vasthouden van water zelfs expliciet verboden. In droge winters zal die neiging wel bestaan hebben, maar dan benadeelde men de stroomafwaarts gelegen boeren⁵⁸.

Waar duidelijk geulen vanuit de heide het beekdal inliepen, legde men wel houtwallen aan. Die konden verbazingwekkend breed en hoog zijn – teken van de moeite die men zich getroostte om het zure, uitlogende water – door Sallandse boeren in 1304 bijna ritualiserend aangeduid als "*de wilde Wiking die van over land komt*"; broodrovers bij uitstek dus – te weren⁵⁹. In het Drentsche Aa-gebied vindt men zo'n wal bij het Witterveld; in 1527 is er nog een proces over gevoerd⁶⁰.

De 'boerenvoortvaring', om een term van Hijzeler te gebruiken, die bevoeiingsstelsels voor de Noord-Twentse Mosbeek beschreef⁶¹, was dus gebaseerd op een vernuftig stelsel van plaatselijk water aftappen en het elders gebruiken om veen te bevoeien. Terzijde: beek is etymologisch verwant met bek; met bijten, afknabbelen, derhalve en het Drentse 'diepjes' laten al evenmin veel ruimte voor romantische gedachten. Daarbij werd licht ontwaterd en verteerde er dus veen, terwijl het opbrengen van bicarbonaatrijk water op een armer veentype tot natte oxidatie ('veenrot') leidde⁶². Al met al teerde men dus in op het veen. Soms kwam dat daardoor zo laag te liggen, dat landbouwkundig gebruik onmogelijk werd. De laatste fase was dan turfwinning bij diepere veenvoorkomens of, als de grondwaterstand nog kon worden aangepast, versmalling van de venige strook en plaatselijk geheel verdwijnen. De waarde van de grond daalde dan drastisch⁶³. Het eerste zien we stroomafwaarts, o.m. bij de Moerputten; het laatste over de hele lengte van het systeem.

⁵⁶ G.H. Ligterink (1968): *Tussen Hunze en Lauwers. Cultuurhistorische schetsen uit het Groninger Westerkwartier*. Groningen. De geciteerde voetnoot is te vinden op p. 82.

⁵⁷ Men sprak ook wel van "schutten" of "schuttinge". Een wel zeer mooie term – beëmen – is overgeleverd in H. Hartogh Heys van Zouteveen (1864): *Bijdragen tot de statistiek van Drenthe*. Delft. Eem als wateraanduiding kennen we nu alleen nog in toponiemen en het lijkt dus om een zeer oud woord te gaan en, wellicht, ook om een oude praktijk. Het is verleidelijk om het zuidnederlandse woord beemd hiermee in verband te brengen ("beëemd land"). Hoe belangrijk doorstroming werd geacht blijkt bijv. bij de markescheiding van Uffelte (Dr.). Land dat bij "schuttinge" stilstaand water heeft wordt aanzienlijk lager getaxeerd en daarvan krijgt men dus meer (J.Heringa (1975): *Uit de geschiedenis van Rheebruggen*. Nwe Dr. Volksalmanak 92:73-125).

⁵⁸ De regeling, beschreven in G.A. Coert (1991): *Stromen en schutten, vaarten en voordren*. *Geschiedenis van de natte waterstaat in Drenthe 1291 – 1988*. Meppel/Amsterdam, komt uit een dergelijk conflict voort en is alleen begrijpelijk wanneer er bevoeid werd: als alleen van ontwatering sprake is, zullen boeren stroomafwaarts nooit bezwaar maken tegen verminderde afvoer van bovenstrooms.

⁵⁹ S.J. Fockema Andreae (1950): *Studiën over waterschapsgeschiedenis II: Salland*. Leiden.

⁶⁰ Zie Coert, op.cit.

⁶¹ C.C.J.W. Hijzeler (1966): *Mander en omgeving, gem. Tubbergen*. *Versl. Med. Ver. Beoef. Ov. Regt en Gesch.* 81:1-50 en id. (1970): *De buurschap Mander en omgeving in de historie*. In op.cit. 85:1-160.

⁶² F.H.J.L. Bloemendaal & J.G.M. Roelofs (1988): *Waterverharding*. P. 147-158 in: F.H.J.L. Bloemendaal & J.G.M. Roelofs (red.): *Waterplanten en waterkwaliteit*. *Nat. hist. Bibl. KNNV no. 45*. Utrecht. Zie ook M.J.R. Cals & J.G.M. Roelofs (1989): *Ecologische onderzoek Noorderpark*. Med. 190 LID. Utrecht/Nijmegen.

⁶³ J.N.H. Elerie (1998): *Weerbarstig land. Een historisch-ecologische landschapstudie van Koekange en de Reest*. Groningen. *De balans tussen archiefstudie en literatuuronderzoek is in deze studie wat zoek. Zo is alle bestaande literatuur over bevoeiingen genegeerd*.

Men mene dus niet, dat het oude stelsel duurzaam was: men teerde in op de erfenis van de laatste 10.000 jaar en als gevolg van het graslandgebruik is nu alleen nog maar oud veen te vinden. Dat kan tot komische toestanden leiden: een C-14-metingen aan een recent gevangen visje bleek een ouderdom van enkele duizenden jaren op te leveren⁶⁴! Het geeft iets aan van de vergankelijkheid van het systeem: al dat duizenden jaren geleden gevormde veen wordt nu al zo'n 1000 jaar afgebroken.

De laatste honderd jaar gebeurt dat overigens in een versneld tempo: er wordt dieper ontwaterd, waardoor droge oxidatie zeer veel belangrijker is geworden en voorzover er nog inundatie voorkomt, is dat met water, dat aanzienlijk rijker is aan sulfaat en nitraat dan het ooit geweest is. En dat bevordert de natte oxidatie aanzienlijk meer dan bicarbonaat ooit kon⁶⁵.

Een andere, de aantasting van veen bevorderende, factor is het bezanden van veen geweest. Dat is op grote schaal gepropageerd, om de draagkracht te bevorderen⁶⁶. Neveneffect is, dat de warmtehuishouding negatief wordt beïnvloed in die zin, dat de grond eerder en dieper opwarmt. Ook dat bevordert de aantasting van het veen⁶⁷.

Bevloeiing is dus eigenlijk herverdeling van water en dat leidde tot een zekere gelijkvormigheid in het grasland: men streefde naar zo productief mogelijke vegetaties. Dat hield in, dat bijv. wat schralere vegetaties, zoals die met Draadrus, voor de uitmondingen van zijdalen, bij voorkeur bevoeid werden, terwijl het daarvoor benodigde water onttrokken werd aan natuurlijke kalkmoerassen, die als blek of blik werden aangeduid. Daardoor kon een soort als bijv. Dotter sterk toenemen: in de kalkmoerassen door lichte ontwatering, op Draadrusplekken door bevloeiing. In dat licht is het niet verwonderlijk, dat bij het huidige beheer, waar gerichte inundaties geen doel zijn, iets van die vroegere arme plekken weer zichtbaar wordt. Dankzij de gehandhaafde ontwatering komen de kalkmoerassen, het natuurlijk equivalent van blauwgrasland, intussen niet terug: er stroomt zeer veel water onbenut richting Noordzee.

Men had niet snel een teveel aan water. Zowel in Drenthe als in de Achterhoek, Twente en de Gelderse Vallei zijn aanwijzingen gevonden voor een inrichting, die zowel in natte als in droge jaren in staat stelde maximaal profijt te trekken van het beschikbare water: bij hoge afvoeren werd het te bevoeien gebied vergroot. Men bevoeide dan zelfs wel randgebieden van heiden. De zin daarvan schuilt in een kalkinjectie in een milieu, waar normaal uitloging overheerste. De opgehoopte organische stof mineraliseerde daardoor wat sneller en dat leidde tot een iets hogere productie. Bij de Haler Leek bestonden ook dergelijke voorzieningen; hier betrof het bevloeiing van vochtige heide en zelfs hoogveen⁶⁸.

Het streven naar maximaal profijt van zelfs de hoogste afvoeren leidde er ook toe, dat op vele plaatsen verbindingen tussen bekenstelsels bestonden. Voor Lely, die ooit zijn loopbaan begon bij het Waterschap van de Schipbeek, was

⁶⁴ *Mond. med. prof.dr. S. Bottema.*

⁶⁵ *L.P.M. Lamers (2001): Tackling biogeochemical questions in peatlands. Diss. KUN. Nijmegen.*

⁶⁶ *Bizar is in dit verband, dat bij het COAL-onderzoek een Friese boer in de administratie zat, die land van het Fryske Gea pachtte, dat, omdat het deel uitmaakt van Frieslands Boezem, nog elk jaar langdurig blank staat. Hij verklaarde, dat hij onmiddellijk nadat het water van het land was al op het land kon rijden, omdat het "waterhard" was.*

⁶⁷ *W.R. van Wijk & W.J. Derksen (1963): Sinuisodal temperature variation in a layered soil. P. 171-209 in: W.R. van Wijk (ed.): Physics of plant environment. Amsterdam.*

⁶⁸ *Baaijens in Havelaar et al., op. cit.*

dat aanleiding tot gemopper over die afwijkingen van het gezonde waterhuishoudkundige beginsel dat elke beek zijn eigen stroomgebied dient te bedienen. Nu trof hij het niet, want juist in het gebied van Berkel en Schipbeek waren werkelijk alle beken met elkaar verbonden en de enige scheiding die nog enigszins gerespecteerd werd, was de provinciegrens. Enigszins, want Deventer had al clandestien een verbinding tussen Bolksbeek en Schipbeek gemaakt en de Boven-Regge ontving genoeg Berkelwater dan dat rond Weldam en Westerflieër alle grasland een kleilaagje kreeg, ondanks de staatkundige scheiding van de gouw Hamaland in 1046, gevolg van, naar men zegt, overspelig gedrag van Gravin Ada, die na haar euveldaden naar Wageningen vluchtte. De rechten van Westerflieër waren kennelijk grensoverschrijdend.

Grootgrondbezit speelde wel vaker een rol bij dit soort verdelingsvraagstukken: in Gelderland en Overijssel vindt men nogal eens kastelen of kloosters op de plaats van verdeelpunten. Toch zou het te eenvoudig zijn om aan te nemen, dat daar ook de kennis voor dit soort werken geconcentreerd was. In de "boerenrepubliek", Drenthe, waar grootgrondbezit nooit vaste voet verworven heeft, bestonden soortgelijke voorzieningen. De Drentsche Aa⁶⁹ is een mooi voorbeeld: hier bestonden meerdere verbindingen met andere beekdalen en grootgrondbezit heeft daar alleen aan de benedenloop, stroomafwaarts van de laatste driewegkraan boven Glimmen⁷⁰, enige rol gespeeld – en nooit bij de inrichting. In Brabant vonden we ook dergelijke verbindingen tussen bekenstelsels, bijv. ten zuiden van Valkenswaard en in de regio tussen Tilburg en Den Bosch.

Uit het voorgaande moge duidelijk zijn, dat het weinig waarschijnlijk is dat door vroegere landbouwkundige praktijken de diversiteit toenam – het streven was er immers op gericht overal een zo hoog mogelijke productie te bereiken. En dat bevoeide land was daarbij het beste – omgerekend naar hedendaagse prijzen betaalde men daar in het midden van de 17^e eeuw zo'n 140.000 à 180.000 euro voor. Na vertering van het veen was het hoogstens enkele tientallen euro's waard⁷¹.

⁶⁹G.J. Baaijens, F.H. Everts & A.P. Grootjans (2001): *Traditionele bevoeiing van grasland. Een studie naar vroegere bevoeiing van reservaten in pleistoceen Nederland, alsmede enkele boezemlanden. Rapport Expertisecentrum LNV, Wageningen.*

⁷⁰Dit besef roept bij het aanschouwen van de borden langs die benedenloop, die trots het herstel daarvan verkondigen, de vraag op: Welke van de drie? Wrang is ook, dat al 2000 jaar terug opgeslibde benedenlopen uitgegraven worden – verdrogingsbevordering in het kader van natuur- en landschapsherstel.

⁷¹J. Bieleman (1987): *Boeren op het Drentse zand 1600-1910. Utrecht.*

In de 19^e en, vooral, in de 20^e eeuw vonden grote veranderingen plaats in het grondgebruik. De aanvoer van granen e.d. van elders zorgden voor mineralenoverschotten – al uit de eerste min of meer volledige landbouwstatistiek, van rond 1840, blijkt ons land, in termen van stikstof en fosfaat, meer in te voeren dan er wordt uitgevoerd⁷². De gedachte dat mestoverschotten dus pas na 1950 zouden zijn ontstaan, is dan ook nergens op gebaseerd.

Die overschotten maakten, ook voordat er kunstmest werd gebruikt, grootschalige ontginningen van de heide mogelijk. Al in de 19^e eeuw werd aldus, zonder kunstmest, 1/3 van de heidevelden in ons land ontgonnen. Her en der werden schaapskudden afgeschaft; zeer vroeg (rond 1850) in Dwingeloo⁷³; bijna honderd jaar later aan de andere zijde van het Dwingelderveld, in Kralo. Dat verschil werd bepaald door transportkosten: in Dwingeloo kon men via de Drentse Hoofdvaart goedkoop mest uit het westen (en uit Noordwest Overijssel, waar op grote schaal Krabbescheren gebaggerd en als meststof verkocht werden) krijgen. Turfschippers namen dat als retourvracht mee. De Brabantse kanalen vervulden ook een belangrijke rol bij de heideontginningen, zij het op een wat andere wijze. Van de nood van de agrarische crises – graanprijzen waartegen niet te concurreren viel – maakte men een deugd door veevoer aan te voeren, als basis voor een omvangrijke fokkerij van varkens, kippen, e.d. De daarbij geproduceerde mest was de basis voor het “aanmaken” van heiden, meer dan de kunstmest.

Die ontginningen gingen gepaard met hydrologische ontsluiting van de heidegebieden: men richtte het oog als eerste op de nabij de beekdalen gelegen, wat betere (gewoonlijk:humeuzere) gronden – en vaak lagen die achter zo’n zuur water kerende wal. Die werd dan doorgraven. Gevolg was, dat de kwaliteit van het beekwater afnam, maar ook de drukverschillen tussen hogere en lagere gronden, drijvende kracht achter het bevoeiingssysteem, verminderde erdoor – speciaal in het groeiseizoen. Uit Z.W.-Drenthe weten we, dat na de hooioogst nog wel eens bevoeid werd, om de grasgroei weer op gang te brengen⁷⁴, maar dat werd allemaal moeizamer.

Men kan vermoeden, dat men toen ook overging tot het begreppelen van het grasland; in de oude praktijk van het bevoeien passen geen greppels. De percelen werden daar dan ook met paaltjes aangegeven⁷⁵. Omdat men een goede vochtvoorziening toch op prijs stelde – *woar wèter is, is grös* – sloot men de greppels vaak aan de onderkant met een plankje af, dat men

⁷² Berekend op basis van gegevens in J.L. van Zanden (1985): *De economische ontwikkeling van de Nederlandse landbouw in de negentiende eeuw, 1800-1914*. A.A.G. Bijdragen 25. Wageningen.

⁷³ J.A. Verduin (1972): *Bevolking en bestaan in het oude Drenthe. Een sociaal geografisch onderzoek naar het huwelijks- en voortplantingspatroon in het 19^e eeuwse Drentse zandgebied*. Assen. Toch werd in Dwingeloo maar mondjesmaat land aangemaakt; men gebruikte de aangevoerde mest vooral op het bouwland en zelfs al op grasland.

⁷⁴ Zie Tijms, op. cit.

⁷⁵ Mooi beschreven door S. Cancrinus (1956): *Dwingeloo. Schetsen van verleden en heden*. Meppel. In de 19^e eeuw kwam een nieuw type bevoeiingen op, met name in heideontginningen, waarbij uitgebreide greppelsystemen werden aangelegd. Ze werden nog uitgebreid gepropageerd in het *Verslag der Staatscommissie benoemd bij Koninklijk Besluit van 5 mei 1893 No. 16 tot het instellen van een onderzoek omtrent bevoeiingen*. Den Haag, 1897). Geen wonder, want dit type werken betekende veel werk voor de in de commissie ruim vertegenwoordigde ingenieursbureaus. Zoals te verwachten valt, bleef het meeste slib in de aanvoergreppels hangen – en dat moest er dan in handkracht weer uit worden geschept om over het land te worden verdeeld. De oude boerenstelsels waren op verdeling van het slib door stromend water gebaseerd en behoeften nauwelijks onderhoud. Boeren konden er dan ook niet enthousiast voor raken, alleen grootgrondbezitters – en dan nog tijdelijk. Op Lankheet onder Haaksbergen, eigendom van de voorzitter van de Staatscommissie, G.J. van Heek, is een dergelijk stelsel aangelegd. Bij recent onderzoek t.b.v. het herstel van bevoeiingswerken werd ontdekt, dat ook hier uiteindelijk de boerenwijsheid het gewonnen heeft.

weghaalde bij het oogsten, om dan een iets drogere en steviger zode te hebben. Maar eigenlijk is dat een praktijk, die pas opkwam, toen het handmaaien verdween. Het is een praktijk, die in reservaten ook nog wel gebezigd werd (wordt?), maar ook hier is sprake van een misverstand – het is helemaal geen oud boeregebruik.

De "greppelkwestie" brengt iets in beeld, dat van grote betekenis is geweest – en nog is – voor het beheer in de beekdalen. De 19^e-eeuwse ontginningen brachten, zoals we zagen, met zich mee, dat heidevelden hydrologisch ontsloten werden⁷⁶. Het bevoeiingssysteem verloor daardoor aan beheersbaarheid: de topafvoeren namen toe, de basisafvoer in de zomer verminderde. Bij dat alles pleit het voor het inzicht van onze voorvaders, dat zelfs die verhoogde afvoeren niet leidden tot instabiliteit van het bekenstelsel: nog in de jaren '40 van de 20^e eeuw immers was van verleggingen van bochten nauwelijks sprake⁷⁷. Het onderstreept ook nog eens, hoezeer men uit was op maximale benutting van water, ook van de zeldzame hoge afvoeren, waarmee men ook in een verder verleden wel van doen had.

De kwaliteit van het beekwater werd er bij dat alles niet beter op – zuur water, dat men tot dat moment geweerd had, kwam nu wel degelijk op de beken. Die hoeveelheid zuur water werd nog vergroot, doordat men in de 19^e eeuw veel turf in de vennen begon te steken, vaak na er eerst boekweitbrandcultuur te hebben gepleegd om een schone toplaag te hebben. Daarbij werd ontwaterd en men groef dan ook sloten tussen allerlei veentjes in de heide – vaak in geulen gerangschikt – om dat mogelijk te maken. Omdat men liever turf stak dan baggerde, plaatste men ook wel molentjes bij veentjes, om ze daarmee te kunnen ontwateren. Dan ook zien we veel verbindingen tussen heideveentjes en beekdalen ontstaan. Turfwinning ging tot na de Tweede Wereldoorlog door, lokaal zelfs tot in de jaren '70.

Al die activiteit op de heidevelden moet ook de kweldruk hebben doen verminderen; voor de Hunze maakt Tiesing daar inderdaad gewag van⁷⁸. Ook daardoor verminderde de kwaliteit, in landbouwkundige zin, van het beekwater. Voeg daarbij, dat wanneer de eerste kunstmest komt dat vaak

⁷⁶ *Sommige historisch geografen menen, dat die ontsluiting al in de 17^e eeuw op gang kwam. Zie voor dit misverstand vooral J. Bieleman (1987): Boeren op het Drentse zand 1600 – 1910. Een nieuwe visie op de 'oude' landbouw. Utrecht. Dat wordt afgeleid uit een voorstel van het Landschapsbestuur de opbrengsten van de heidevelden te vergroten door diepere ontwatering. Het zal duidelijk zijn, dat iets dergelijks alleen – en dan nog kortstondig – te verwachten valt bij gronden met een wat dikkere humeuze laag. Waar die geplagd werden, zowel voor strooisel als brandstof, ligt het niet voor de hand dat boeren daartoe zijn overgegaan. Op de vroegste kaarten is dan ook praktisch nergens een sloot te vinden op heidevelden, die de heide verlaat. Waar men zich bovendien zeer wel bewust was van het effect van zuur heide- en veenwater op graslandvegetaties, zou men wel buitengewoon stupide zijn geweest wanneer men die aanbeveling van het Landschapsbestuur zou hebben opgevolgd. Er moet een golf van geschater door Drenthe zijn gegaan. Van de onwetendheid van de bestuurders maakten men enkele decennia later overigens graag gebruik, toen men bezwaarschriften indiende tegen de waardeschattingen van het groenland. Dan meldt men de aanwijzingen te hebben opgevolgd en nu met bedorven graslanden te zitten. Die bezwaarschriften moet men natuurlijk nemen voor wat ze zijn: een poging tot belastingverlaging, waarbij elk middel – en misverstanden bij bestuurders werden natuurlijk gretig aangegrepen – toelaatbaar werd geacht. Mooi is het bezwaarschrift van de boeren van Lheebroek: ze klagen, dat ze niets konden bevoeien en dat al hun grasland met heide en elzen belopen zijn. In werkelijkheid konden juist zij al hun groenland bevoeien – en heide en elzen zijn elkaar uitsluitende soorten in het Lheebroeker grasland. Het heeft er veel van dat men, met de grondschatting in het vooruitzicht en zeldzaam hoge prijzen voor slachtvee op de markten in het westen, de veestapel rond 1650 bewust gereduceerd heeft (het hoorgeld daalt, zonder dat van veeziekten sprake is) en op die manier een aanzienlijk deel van het grasland kon verwaarlozen – om op die manier de kwaliteit, en daarmee de aanslag, te kunnen doen verminderen.*

⁷⁷ Zie voetnoot 8.

⁷⁸ Zie Edelman, op. cit.

zwavelzure ammoniak is, waardoor veenrot bevorderd werd, en de afnemende belangstelling voor bevoeiing is niet geheel onbegrijpelijk.

De strijd tussen de "natten" en de "drogen", zoals het in de jaren '30 in Dwingeloo heette, is uiteindelijk door de "drogen" gewonnen. Aanvankelijk streefde men daarbij niet naar maximale drooglegging: plas-dras in de winter en een grondwaterstand van 30 cm onder maaiveld werd voldoende geacht. Men vreesde droogte meer dan wateroverlast. Angst voor een gering rendement van de mest bestond er weinig: al in 1859, toen er nog volop bevoeid werd, werd er grasland bemest en men kreeg opbrengsten (ca 16 ton d.s./ha), die zelfs vandaag de dag niet worden gehaald⁷⁹. Nu was een dergelijke hoge opbrengst ongetwijfeld, ook in het landbouwkundig als voorlijk beschouwde Dwingeloo, uitzondering – daarom kwam het ook in de krant. Toch raken we hier aan een probleem, dat de waterhuishouding van alle beekdalen in ons land in zeer nadelige zin beïnvloed heeft: de vraag wat optimale grondwaterstanden zijn.

Aan onderzoek op dat punt heeft het niet ontbroken; het meest uitvoerig door de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland (COLN)⁸⁰. Daarin werd onderzoek naar grondwaterstanden gecombineerd met proefveldonderzoeken; het mondde uit in een reeks rapporten en een samenvattend rapport, waarin voor een aantal grondsoorten en voor bouwland en grasland afzonderlijk optimale grondwaterstanden voor zomer en winter werden aangegeven. De optimale grondwaterstanden liggen opvallend ondiep, veel ondieper dan nu wordt aangenomen. Toch liggen ze al dieper dan het onderzoek rechtvaardigde: Visser geeft aan, dat op gezag van (ongenoemde) deskundigen het optimum wat naar de droge kant is verschoven om effecten van verliezen door beweiding, ruwvoerwinning e.d. in te bouwen⁸¹.

Dit verschuiven van de optima is nadien gewoonte geworden. In zekere zin werd daarmee aansluiting gezocht bij en een rechtvaardiging gevonden in onderzoek van Hooghoudt⁸², dat zich in elk geval in een voor iedereen begrijpelijke zin liet samenvatten: "hoe dieper, hoe beter". Daarbij is over het hoofd gezien, dat Hooghoudt een zeer onnatuurlijk regime instelde, geïnspireerd door zijn landbouwkundig beter onderlegde collega's (hij was zelf chemicus), n.l. laag in de winter en hoog in de zomer⁸³. De

⁷⁹ Prov. Dr. en Asser Courant 13-9-1859. De langjarige netto-opbrengst van grasland is thans ca 10 à 11 ton d.s./ha.

⁸⁰ J.J. de Vries (1982): *Anderhalve eeuw hydrologisch onderzoek in Nederland*. Amsterdam.

⁸¹ W.C. Visser (1958): *De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Rapport no. 1 Comm. Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland - TNO. Z.pl. Visser was een briljant onderzoeker, die kans zag een vorm van multivariate analyse in te voeren, gebaseerd op grafische technieken, voordat krachtige computers dat werk vereenvoudigden.*

⁸² Hooghoudt legde een groot aantal proefvelden aan, waar de grondwaterstanden strikt gecontroleerd konden worden. Door voortijdig overlijden heeft hij daar zelf nauwelijks over kunnen publiceren; een voordracht met enkele voorlopige uitkomsten is na zijn dood verschenen (S.B. Hooghoudt (1952): *Waarnemingen van grondwaterstanden voor de landbouw. Versl. Techn. Bijeenk. 1-6 Cie Hydrol. Ond. TNO: 94-109*). De uitkomsten van zijn proefvelden, bijv. dat van Nieuw-Beerta, worden intussen wel in college-dictaten gebruikt, zoals bijv. het dictaat *Agrohydrologie, herziene uitgave 1973, afd. Cultuurtechniek LH Wageningen, zonder enige achtergrondinformatie over proefveldomstandigheden e.d.*

⁸³ Die wens hoort men nog wel. Ze is in zoverre merkwaardig, dat enkele miljarden jaren evolutie er ongetwijfeld toe hebben geleid, dat planten aangepast zijn aan hoge wintergrondwaterstanden en dalende standen in de zomer. In West-Europa is de enige plaats waar een daaraan tegengesteld regime voorkomt de Bodensee. Berichten over hoge opbrengsten daar zijn nooit tot de literatuur doorgedrongen.

Achtergrond van de wens van Hooghoudts (Groninger) collega's was, dat men in het kustgebied inderdaad een regime kende van diepe slootpeilen in de winter en volle sloten in de zomer. De oorzaak daarvan was, dat men in de winter streefde naar vorming van diepe regenwaterlenzen. De percelen werden met het oog daarop bol opgeploegd, om het maaiveld zo goed mogelijk

wintergrondwaterstanden lagen vast en op een diep niveau; die voor de zomermaanden wisselden wel. Gevolg van die proefopzet was, dat het in het voorjaar nieuw ontwikkelde wortelstelsel – voordat de bovengrondse delen beginnen te groeien wordt uit het reservevoedsel eerst een wortelstelsel aangelegd; de groei daarvan eindigt wanneer de grondwaterspiegel bereikt is – in meerdere of mindere mate verdrongen werd. Dat het minst verdrongen wortelstelsel dan tot de hoogste productie leidt, is eenvoudig te begrijpen⁸⁴. Dit misverstand is maatgevend geworden voor de gehanteerde normen ten aanzien van de meest gewenste grondwaterstanden. Daarbij is men geleidelijk aan opgeschoven in een richting, waarbij aanzienlijk dieper wordt ontwaterd dan teelttechnisch gezien wenselijk is – met in het achterhoofd ongetwijfeld de gedachte, dat vochttekorten ook wel met berekening kunnen worden opgelost. Daarmee wordt overigens een trend in gang gezet, waarbij het gewas “lui” wordt, d.w.z. een zeer ondiep wortelstelsel ontwikkelt en nog gevoeliger wordt voor droogte.

Enige rechtvaardiging voor die wensen t.a.v. diepere grondwaterstanden is er intussen wel, maar die schuilen in feite in de benuttingstechniek: naarmate meer gemechaniseerd werd, werd de benuttingstechniek ruwer en namen de oogstverliezen toe⁸⁵. Tegelijkertijd ziet men dan eerder plassen op het land en soms wordt de oogst daardoor geheel onmogelijk. Dan weerklinkt de roep om nog diepere ontwatering, maar daarbij wordt voorbij gegaan aan de werkelijke oorzaak: structuurbederf. Kende vroeger alleen bouwland verdichte lagen in de ondergrond, die remmend werkte op een goede drainage (zgn. ploegzolen), nu kent ook grasland die⁸⁶. En daar helpt geen diepere ontwatering aan, noch diepploegen e.d.; dat laatste leidt alleen tot een extra verdichte laag op grotere diepte. Ook daarover zijn metingen.

In dat licht bezien is het nauwelijks verwonderlijk, dat bij beide onderzoeken naar het effect van ruilverkavelingen alleen een toename in de aankoop van ruw- en krachtvoer werd gevonden. De inkomenspositie bleek niet wezenlijk verbeterd⁸⁷. Waar de belangrijkste baten geacht worden voort te komen uit een betere waterhuishouding en een daling van de genoemde posten, onderstreept dat nog eens, dat elke basis aan de gehanteerde normen

evenwijdig aan de winterse grondwaterspiegel te krijgen. In de zomer zette men met zeewater de peilen op, om aldus de regenwaterlenzen opwaarts te drukken en binnen het bereik van de plantenwortels te houden. Een specifieke oplossing voor een specifiek probleem kan natuurlijk nooit maatgevend zijn voor heel Nederland. In die zin is een heroriëntatie op de uitgangspunten van het huidige waterhuishoudkundige beheer dringend gewenst.

⁸⁴ Visser, op. cit., heeft als enige geattendeerd op de opvallende verschillen in uitkomsten tussen Hooghoudts onderzoek en de COLN-uitkomsten. Een bevredigende verklaring wist hij niet te vinden.

⁸⁵ Zie o.m. D. Logemann et al. (1981): *De grasmat van het Zuiderland. Een discussie over voor en tegen van een polderpeilverlaging in het Westerkwartier. Wetenschapswinkel Biologie RU Groningen. Haren.*

⁸⁶ Dat is een gevolg van verdichting van de ondergrond door de trillingen van de erop rijdende voertuigen. Dat probleem is minder bij rupstractie, maar niet afwezig. Bij paardentraction ontbrak het wel. Zie L.L. Karafiath & E.A. Nowatzki (1978): *Soil mechanics for off-road vehicle engineering. Ser. Rock a. Soil Mech. Vol.2 (1974/77)no. 5. Metingen in Nederlandse gronden zijn o.m. te vinden in A.H.J.C. van Esch (1974): Het bepalen van de bodemdichtheid in verschillende bodemtypen met de penetrograaf. RIN, Leersum.*

⁸⁷ G. van der Lely (1965): *Nacalculatie van het effect van cultuurtechnische werken. Landb.Tijdschr. 77:877-884; G.J.M. Austie & D. Strijker (1979): Sleenerstroom – De economische gevolgen van een ruilverkaveling voor de landbouw. Doct. Verslag RU Groningen; D. Strijker (1982): Sleenerstroom, de economische gevolgen van een ruilverkaveling voor de landbouw. Onderzoekmemorandum nr. 77 Inst. Econ. Ond. RU Groningen. De laatste studie is een verkorte versie van de voorgaande. Beide studies zijn in zoverre opmerkelijk, dat het de enige studies ooit zijn, die op basis van onderzoek aan boekhoudingen zijn verricht. Alle andere studies op dit punt zijn in feite een toepassing van dezelfde voorcalculatietechniek voor en na de ingreep; deze beide studies zijn de enige, waaruit iets te concluderen valt over het waarheidsgehalte van de gehanteerde normen. Daar blijkt het dus slecht mee gesteld te zijn.*

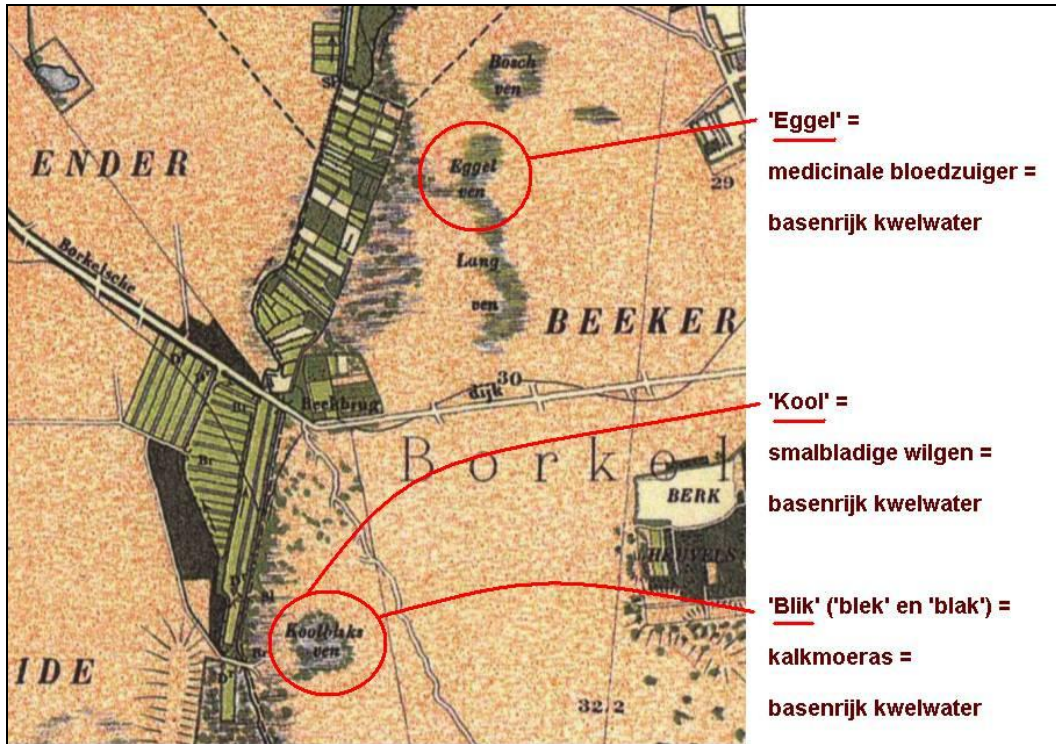
ontbreekt: de normen zijn door geloof, niet door onderzoek, ingegeven. Die harde conclusie is overigens al eens eerder getrokken: de technische redengeving voor de ruilverkaveling Havelte bijv., de eerste in Drenthe die in dat opzicht kritisch tegen het licht werd gehouden, bleek een mengeling van geknoei, verdichtsels en zelfs als metingen gepresenteerde schattingen te zijn⁸⁸.

Blijken de wensen ten aanzien van de ontwateringsdiepte van cultuurgronden dus vooral door geloof ingegeven, met de afvoernormen is het niet beter gesteld. Tussen beide dient een verband te bestaan: de wens grondwaterstanden niet boven een zeker niveau te laten komen, resulteert in de wens een zekere hoeveelheid water in een zekere tijd te kunnen laten afstromen. Dat bepaalt de dimensionering van en de afstand tussen greppels, sloten, e.d. Uitgangspunt daarbij is een stand, die gemiddeld één maal per jaar voorkomt; dat wordt de "maatgevende afvoer" genoemd. Hoewel in Drenthe al zeer lang afvoeren gemeten worden, berusten de normen nog steeds op schattingen. Al in 1978 werden die schattingen aan een nadere toetsing onderworpen; Streefkerk kwam toen tot gemeten maatgevende afvoeren, die weinig meer dan een kwart waren van de geschatte⁸⁹. Voor Brabant is het ongetwijfeld niet anders. Als gevolg van dit soort omgang met de werkelijkheid is ons land ernstig verdroogd: waar voorheen het streven gericht was op waterconservering, sloeg de balans geheel om naar een zo snel mogelijk afvoeren van het neerslagoverschot. Dat leidt tot vochttekorten in de zomermaanden, die, als het om de landbouw gaat, worden bestreden door beregening uit het grondwater. Waar het streven er aanvankelijk nog op gericht was die tekorten op te heffen door aanvoer van water vanuit de grote rivieren en aldus beregening uit oppervlaktewater mogelijk te maken, nu is die laatste optie vervallen dankzij het optreden van de (aardappelziekte) bruinrot. Dat leidt niet tot een vermindering van de aanvoer, maar tot een groter beroep op het grondwater.

Met name in de huidige beekdalen doet zich het dilemma van een keuze tussen water berging van geëutrofiëerd, gebiedsvreemd water en kwelpotenties zich het meest voor. Zowel in deze studie als in de kwelpotentiekaart van het NITG-TNO blijken de lage delen tussen de dekzandruggen, die later voorzien zijn van beeklopen, de meeste kwelpotenties te herbergen. Dat is ook precies de reden waarom die beken daar aanwezig zijn. De Middeleeuwse boeren hadden grote behoefte aan warm, lithoclien water en waren meesters in het zoeken, vinden en benutten ervan.

⁸⁸ Milieuraad Drenthe in samenwerking met de Stichting Milieuwerkgroep Havelte (1980): *Havelte verkaveld. Toetssteen voor het ruimtelijk beleid en de inrichting van het nationaal landschap Zuidwest Drenthe*. Assen.

⁸⁹ Interne notitie Staatsbosbeheer, gecit. in G.J. Baaijens (1987): *Effecten van ontwateringswerken in de ruilverkaveling Ruinerwold-Koekange*. RIN-rapport 87/11. Leersum. De meetstuw waaraan Streefkerk zijn gegevens ontleende, wordt beheerd door Rijkswaterstaat. De uitwisseling van gegevens tussen ambtelijke diensten lijkt hier redelijk slecht te zijn: terwijl toetsing van het hydrologische model dat voor deze ruilverkaveling gehanteerd is aan afvoermetingen aan boven- én onderzijde van het plangebied had kunnen plaats vinden, is van geen van beide gebruik gemaakt. Ook andere relevante gebiedsspecifieke gegevens zijn aan de opstellers ontsnapt.



Figuur 89. Toponiemen die duiden op kalkrijke kwel.



Figuur 90. Dotterbloem (Caltha palustris) een soort van kwel met dieper grondwater.



Figuur 91. Waterviolier (Hottonia palustris) een soort van kwel met carbonaatrijk grondwater.



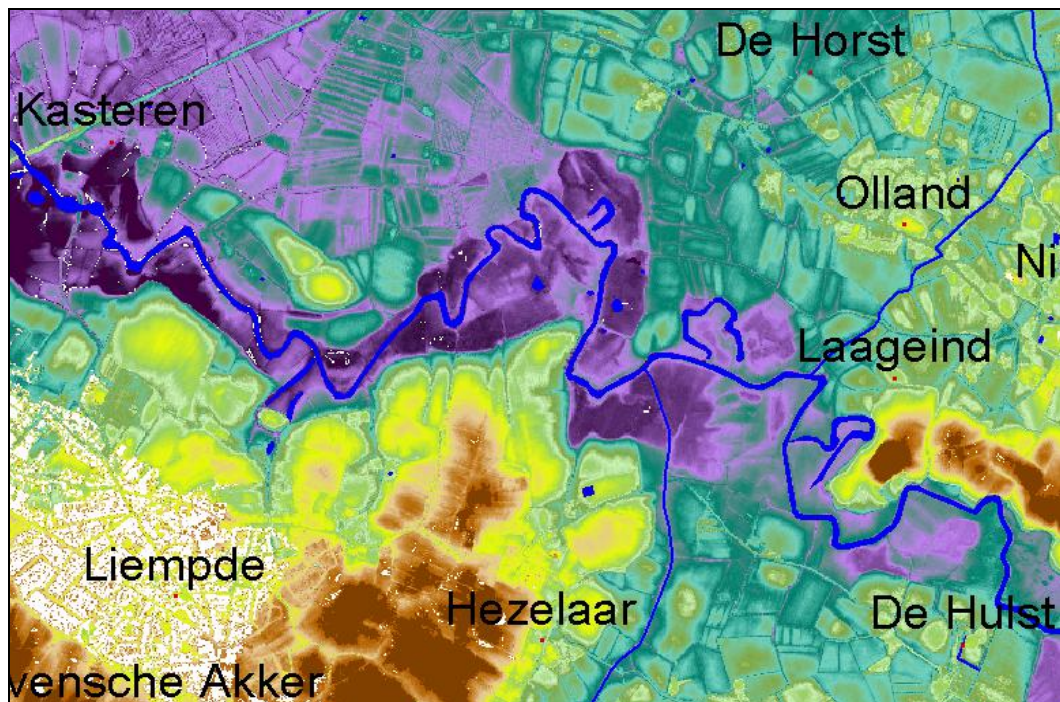
Figuur 92. Veldrus (Juncus acutiflorus) een soort die locale kwel indiceert.



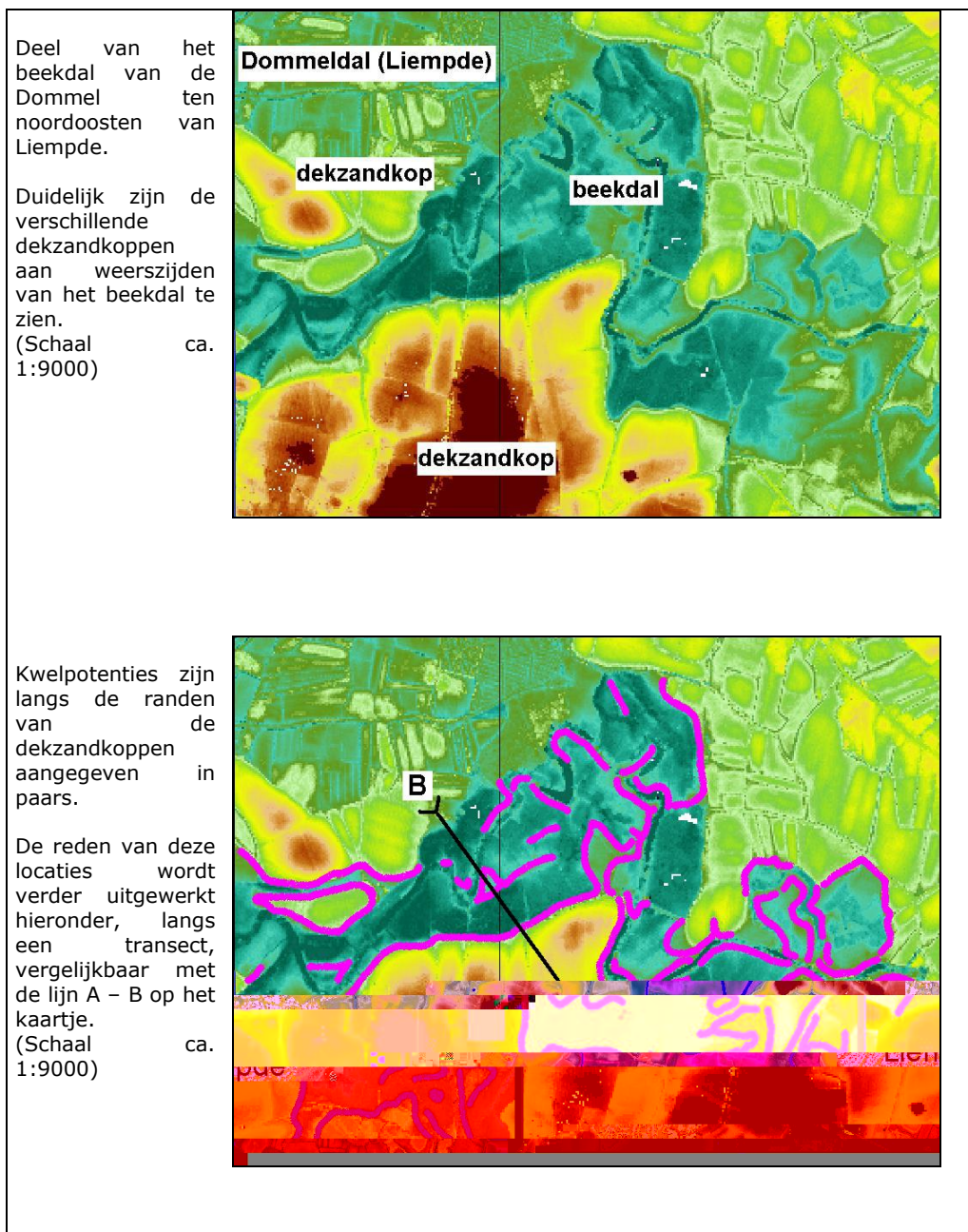
Figuur 93. Holpijp (Equisetum fluviatile) een soort van kwel met dieper grondwater.

In het veld zijn kwellocaties te toetsen door te kijken naar plantensoorten die op enigerlei wijze gebonden zijn aan bepaalde soorten kwel. Ook is het mogelijk om roestverschijnselen of bacterievliezen van ijzerbacteriën te karteren. Zoals we zagen kunnen toponiemen ook aanwijzingen geven over het voorkomen van kalkrijke kwel.

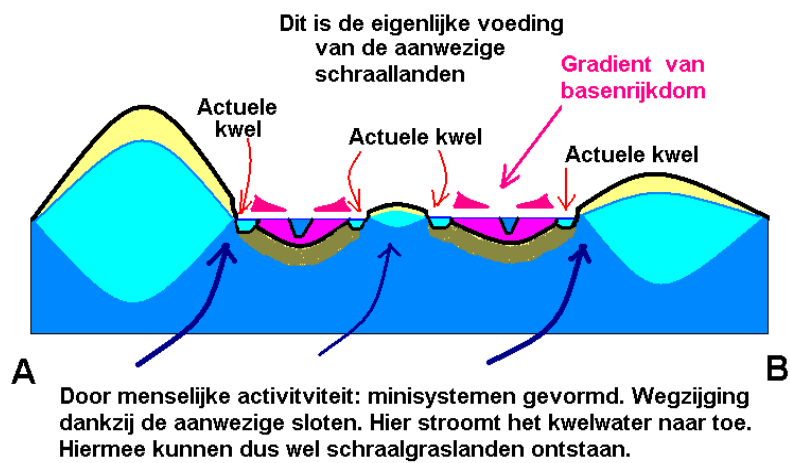
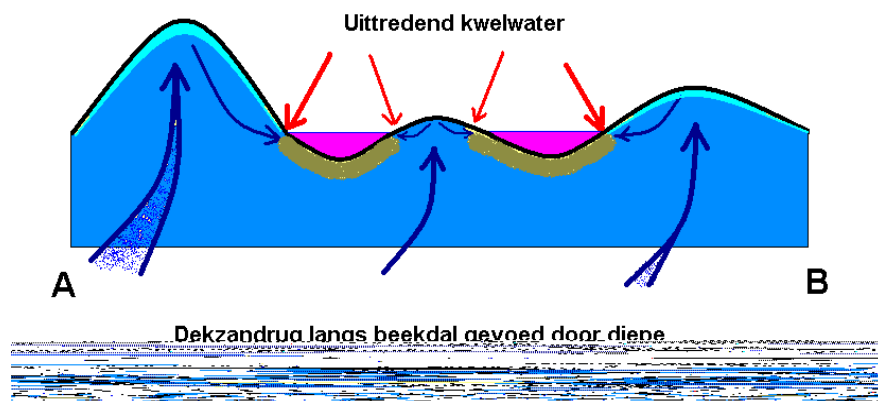
Ondanks het feit dat in de meeste beekdalen grote potentiële en actuele kwel gevonden kan worden, wil dat niet zeggen dat berging van water niet tot de mogelijkheden behoort. Dit voorbeeld geeft aan waarom er kwel optreedt in deze beekdalen, waar dat water haar herkomst heeft en waar zich dus wel en niet actuele en potentiële kwel kan voordoen. Gebieden met de aanduiding 'waterberging' zijn uiteraard het meest geschikt voor het tijdelijk opslaan van gebiedsvreemd water. Een en ander is uitgewerkt in een kleine verkenning voor het Dommeldal bij Liempde:



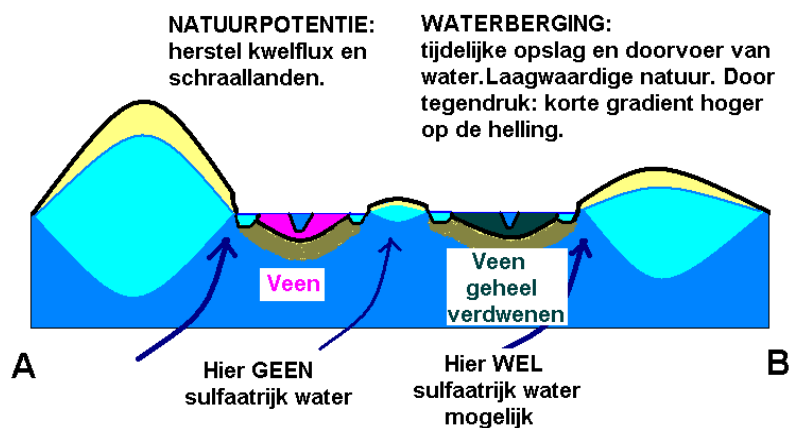
Figuur 94. Studiegebieduitwerking kwel in beekdalen: Dommeldal bij Liempde.



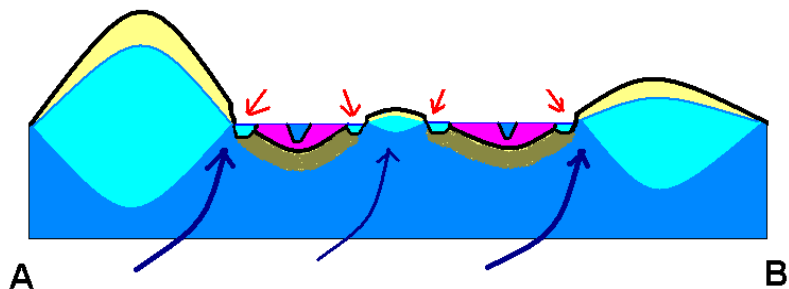
Figuur 95. Kwel in beekdalen: Dommeldal bij Liempde Afbeelding 1 en 2.



Figuur 96. Kwel in beekdalen: Dommeldal bij Liempde Afbeelding 3-5.



- Natuurdoeltypenkaart geeft potentie weer, maar zegt niets over de herkomst van het water.
- LES-kaart geeft de herkomst van het water weer.



Figuur 97. Studiegebieduitwerking kwel beekdalen: Dommeldal bij Liempde Afbeelding 6 en 7.

Kwelwater is afkomstig uit voormalige stromingsstelsels die door reliëfinversie nu dekzandruggen zijn geworden. Voor de komst van de mens trad dit water dus vrijelijk uit langs de randen en vanuit de ruggen zelf. Leemlagen in het "beekdal" voorkwamen dat het kwelwater in kon zijgen en in het gehele beekdal ontstonden rijk geschakeerde vegetatiemozaïeken, variërend van sterk kwelafhankelijk tot hoogveen.

Na de grote verdroging rond het jaar 900 – 1000 AD en de latere verdroging door de mens zijn hangwaterprofielen en diepe regenwaterlenzen ontstaan in de dekzandruggen. Deze vernauwen de opening waardoor kalkrijk kwelwater nog het "beekdal" kan bereiken. Door de ontwateringen binnen de "beekdalen" zijn miniwegzijingssystemen gevormd, naar de waterloop toe. Deze vergroten de kans op verzuring van de graslanden tussen de waterloop en de rand van de dekzandrug.

Deze benadering maakt duidelijk waar de grootste kwelpotenties zich bevinden. Uiteraard moeten deze verwachtingen wel in het veld worden getoetst, b.v. aan de hand van soortkarteringen, veldwaarnemingen van kwelverschijnselen zoals bacterievliezen en eventueel hydrologische

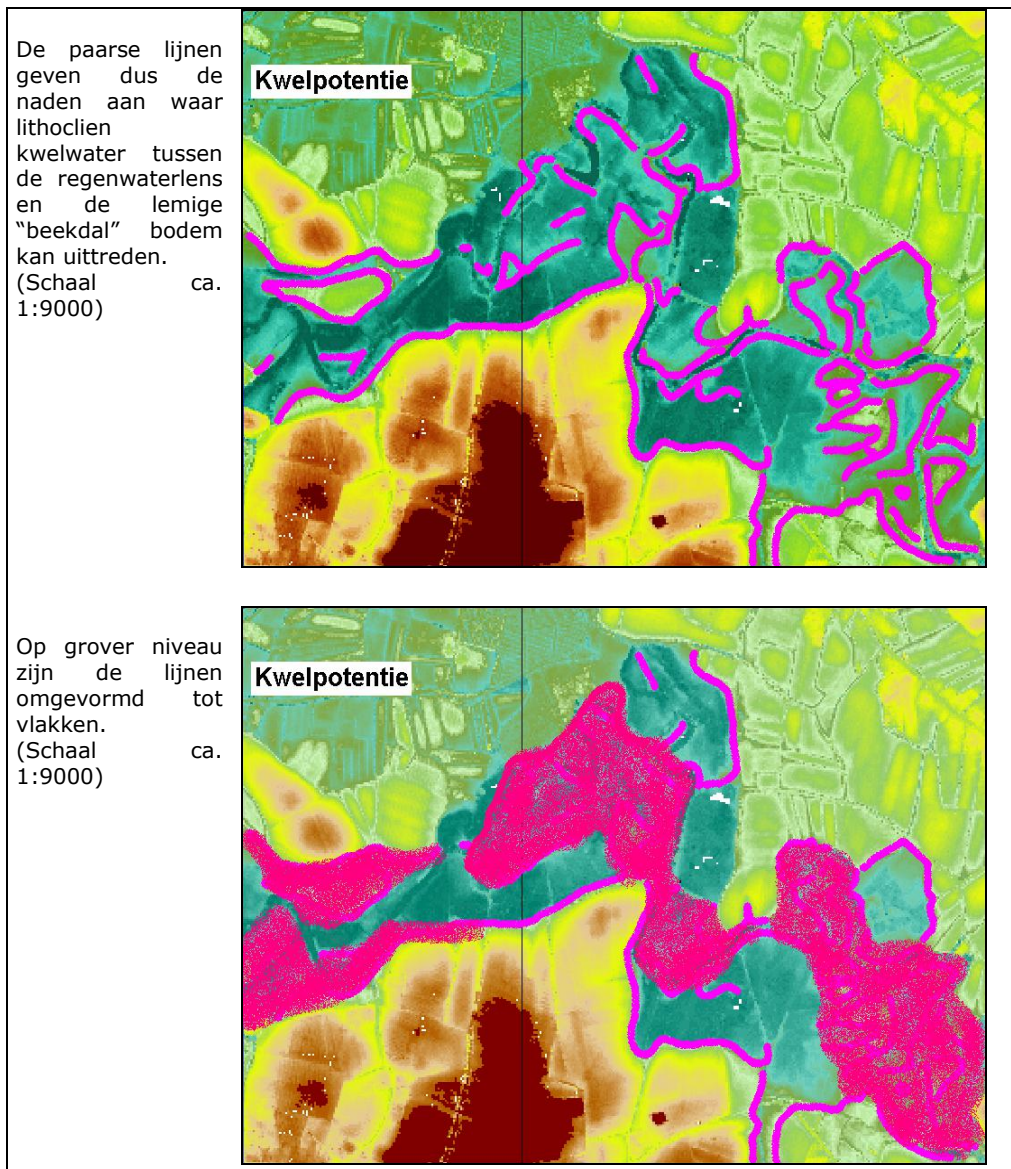
metingen. Als de lijnen worden geaggregeerd tot vlakken zijn dus delen met hogere kwelpotenties onderscheiden van delen waar deze potenties geringer zijn.



Figuur 98. Roestverschijnselen duiden op ijzerrijke kwel. Hier is ijzeroxide neergeslagen op het gras.



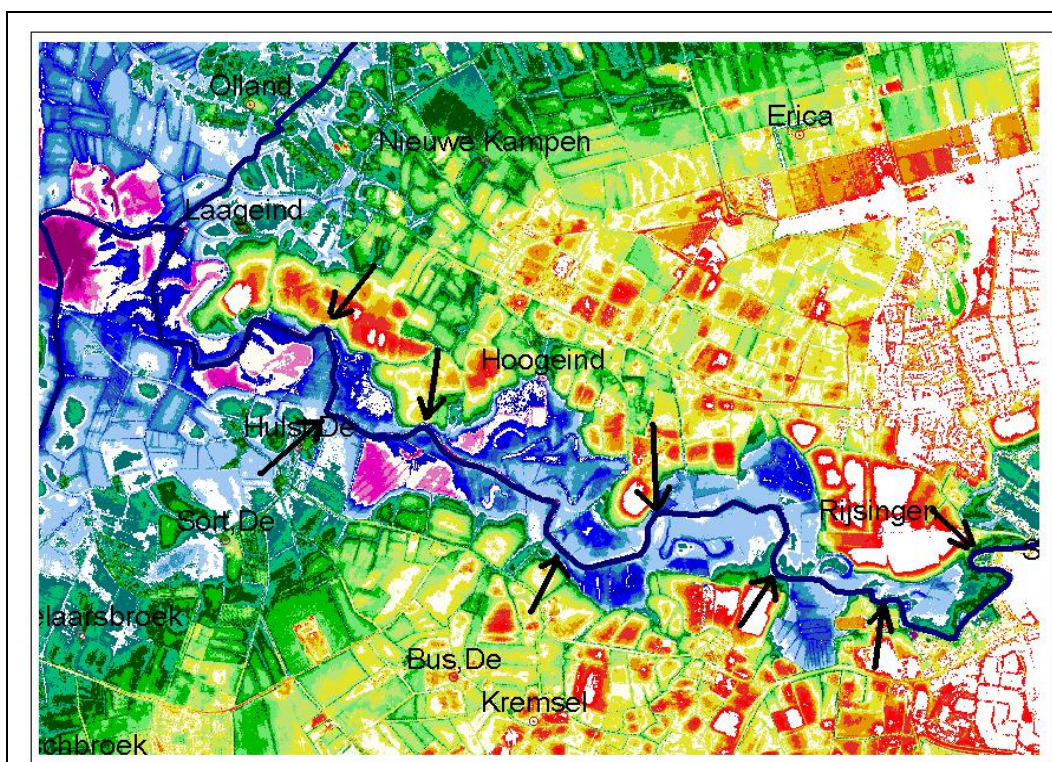
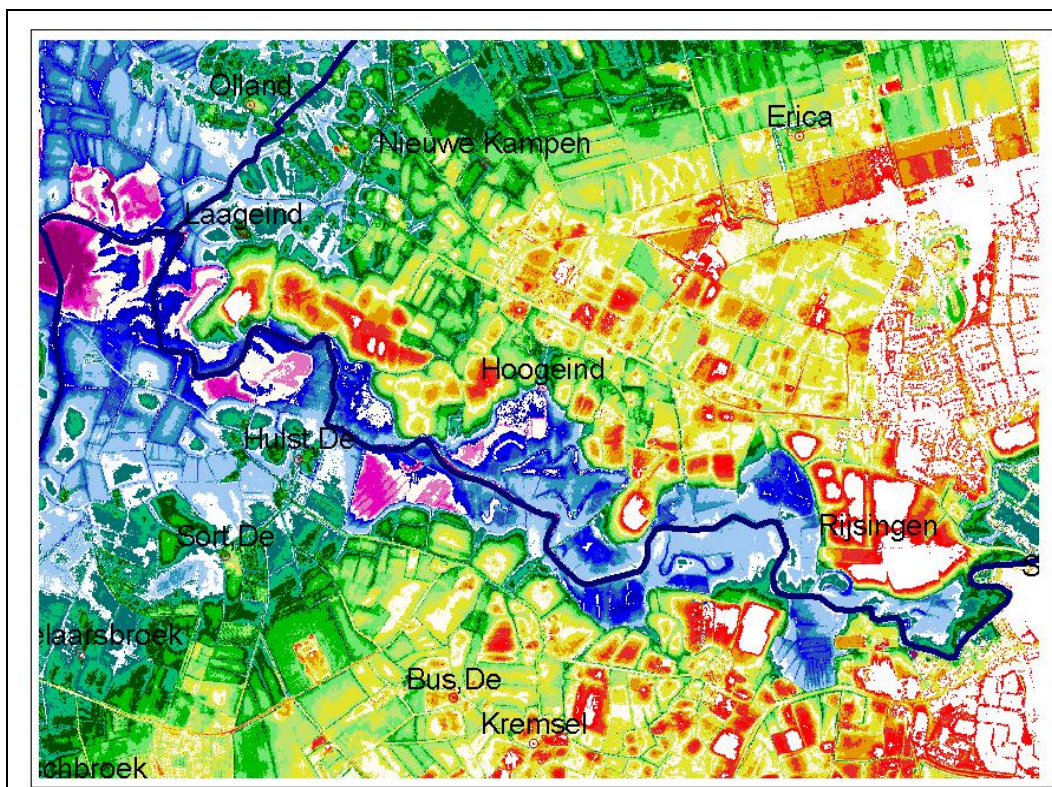
Figuur 99. Bacterievliezen van IJzerbacteriën geven olieachtige laagjes op het water. Bij aanraking breken ze in stukjes, in tegenstelling tot echte olie. Dit is een duidelijke indicatie van kwel.



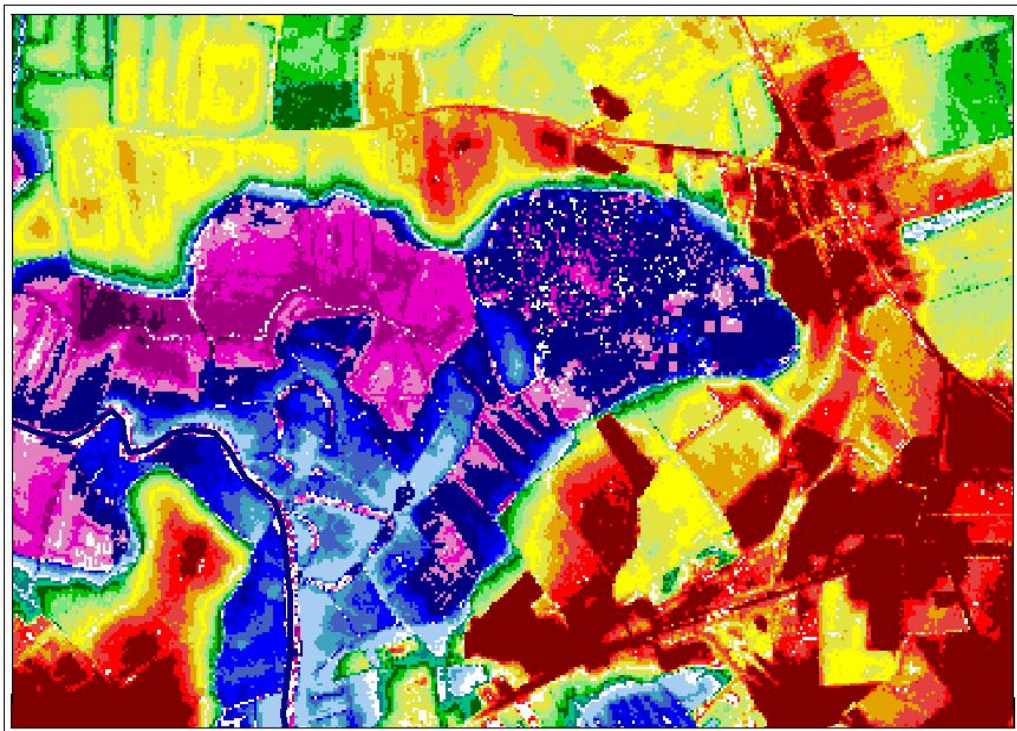
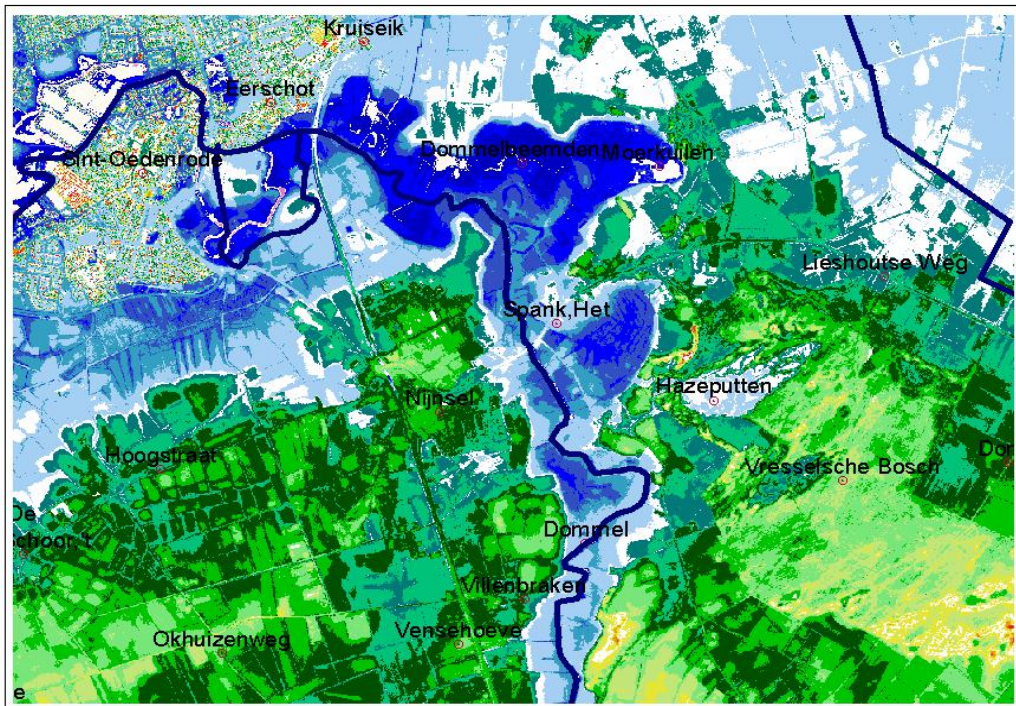
Figuur 100. Kwel beekdalen: Dommeldal bij Liempde Afbeelding 8 en 9.

Zoals uit de afbeeldingen hierboven blijkt, blijft het kwelwater niet beperkt tot de plaatsen waar het uittreedt. Ook op andere plaatsen kan zich dit water verzamelen en daar aanleiding geven tot bijzondere natuurdoeltypen. Als plekken in een beekdal een lage kwelpotentie hebben, wil dat dus niet zeggen dat zich daar geen hoge natuurpotenties zullen/kunnen bevinden!

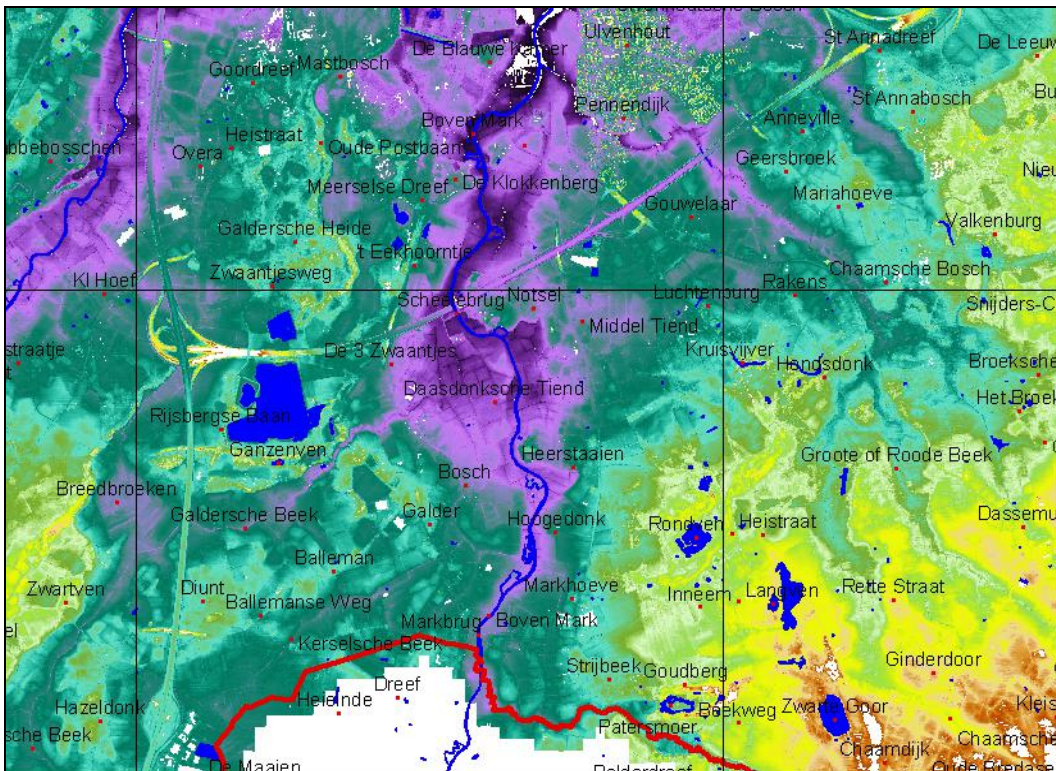
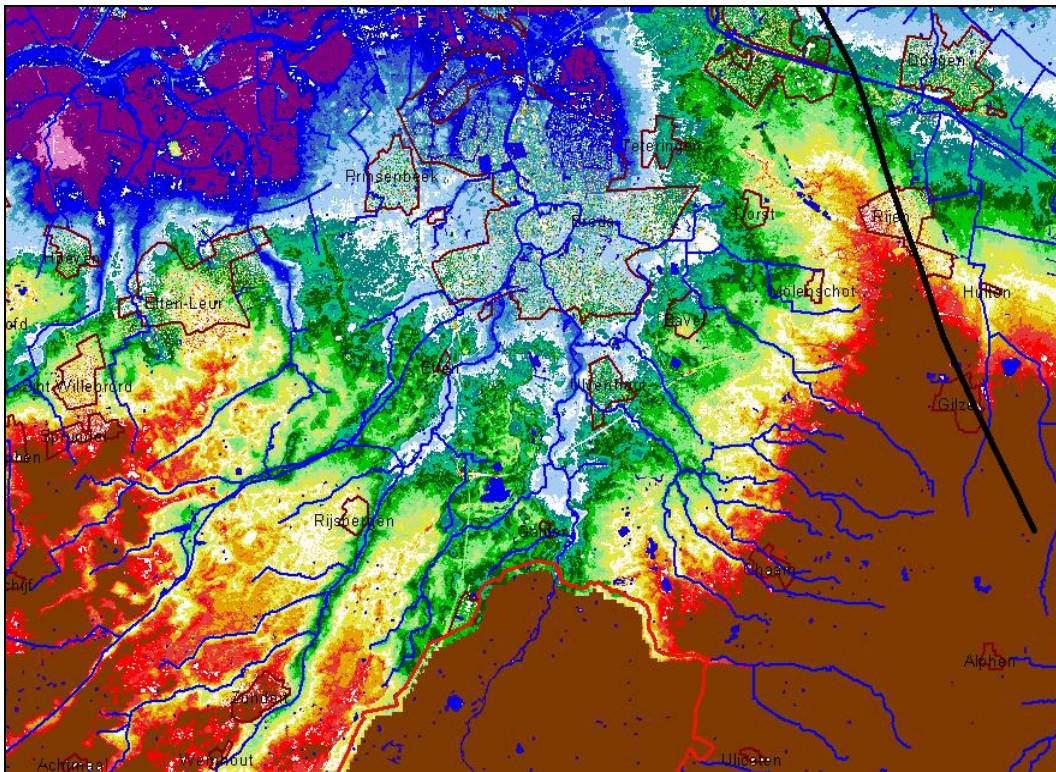
Vanuit het oogpunt van de noodzaak voor waterberging gezien, ligt het echter meer voor de hand deze locaties te benutten voor gebiedsvreemd voedselrijk water, dan de plaatsen met hoge kwelpotentie. Berging van water kan op deze wijze helpen de kwel te concentreren op de randen van de dekzandruggen, waardoor interessante gradiënten kunnen ontstaan.



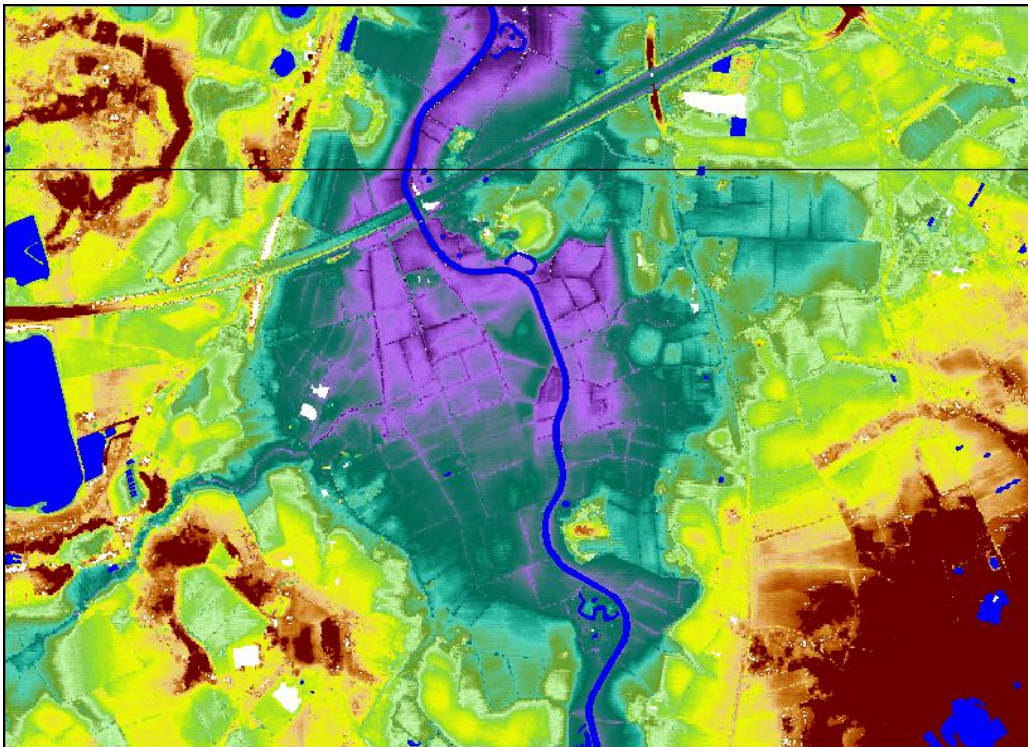
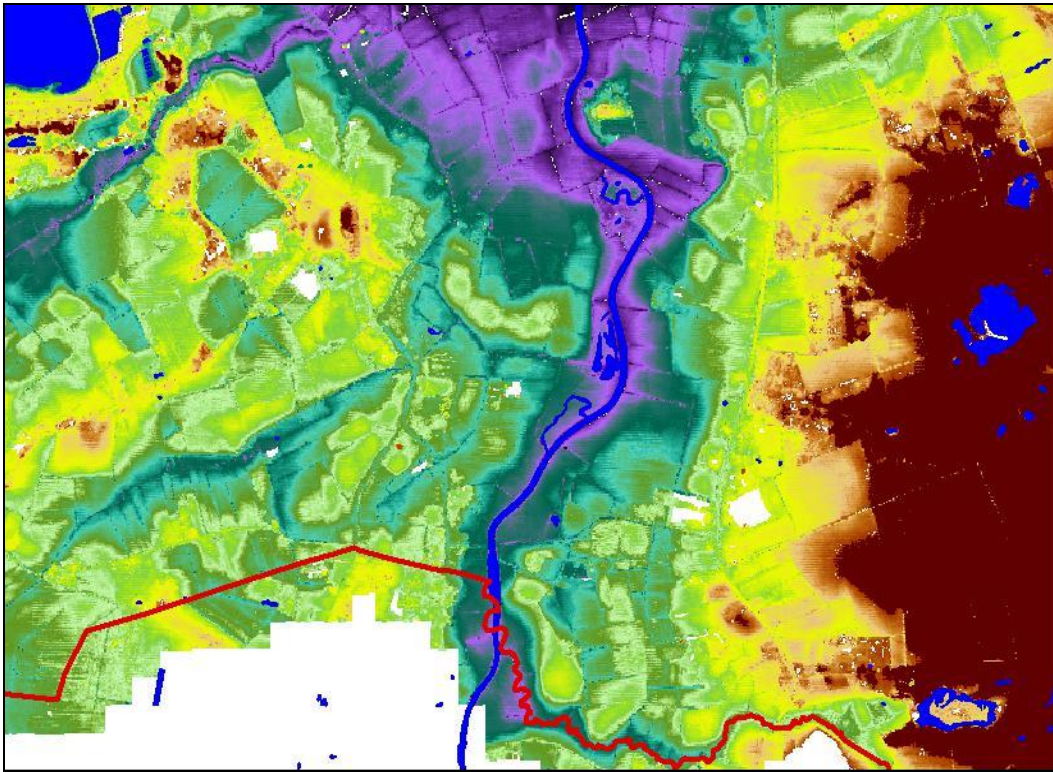
Figuur 101. De Dommel ter hoogte van Liempde. De pijlen in de onderste figuur duiden de punten aan waar kalkrijk kwelwater werd afgetapt.



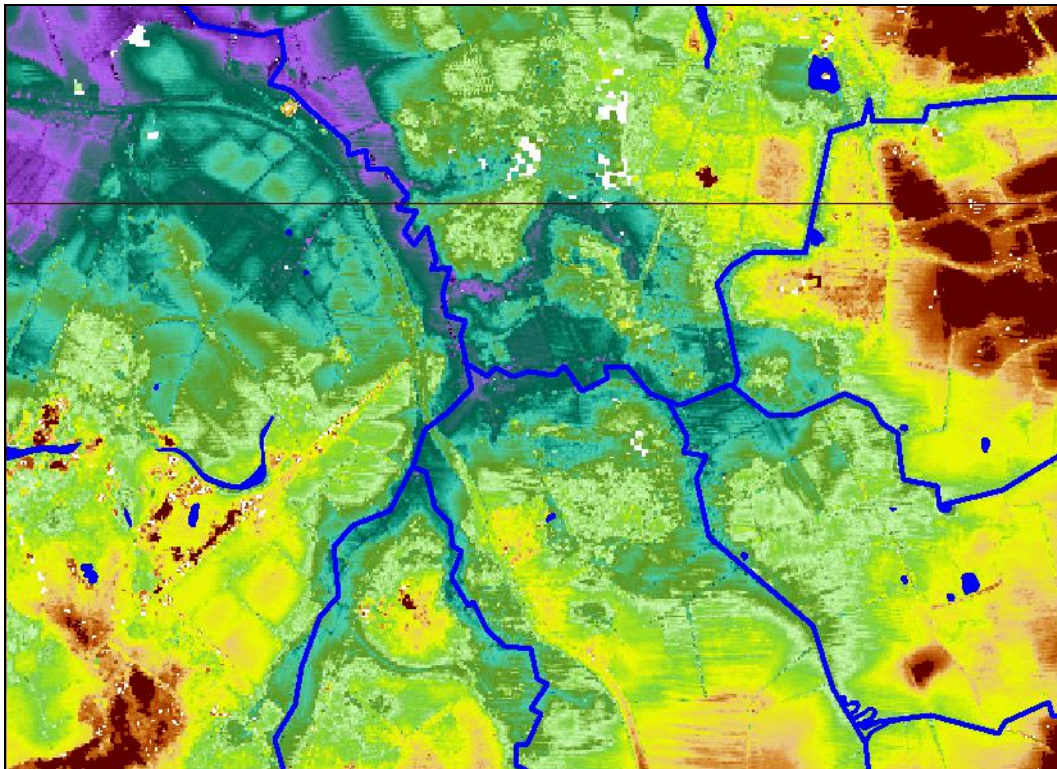
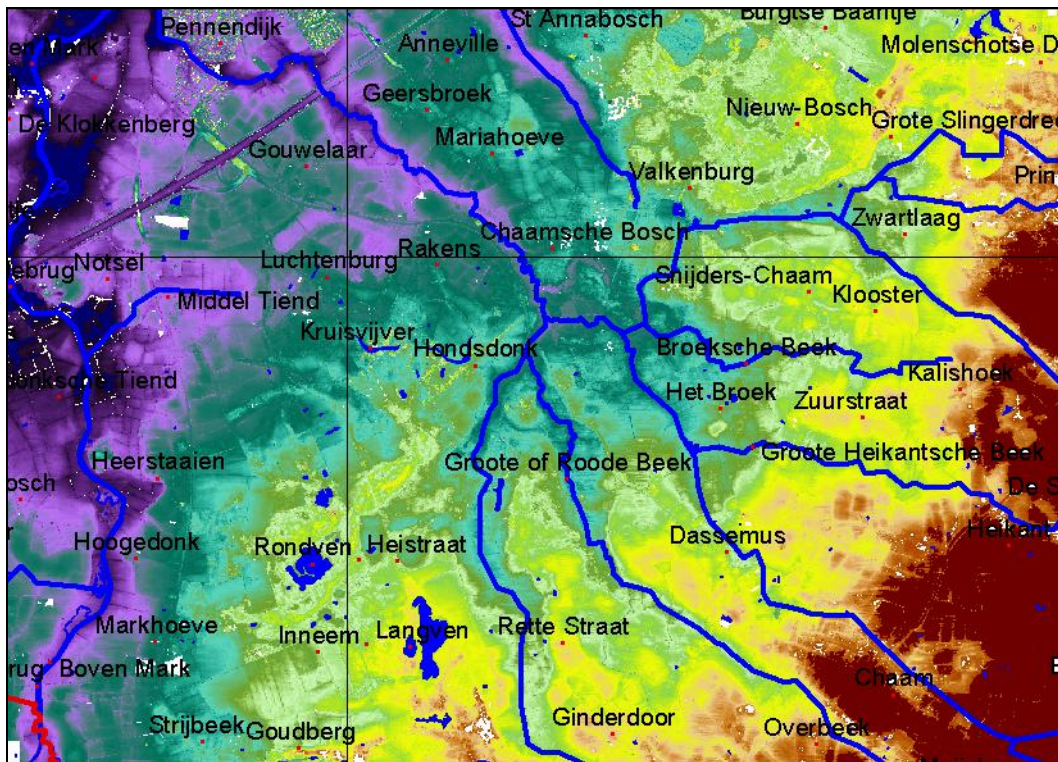
Figuur 102. De Moerkuilen bij St. Oedenrode. Hier botste de Dommel tegen het kwelsysteem van Veghel en werd naar het noordwesten gedwongen. Afhankelijk van de locatie t.o.v. het dekzandreliëf kwamen er basenrijke zegge en blauwgraslandvegetaties tot ontwikkeling, dan wel hoogveen. Dit is later uitgeveend.



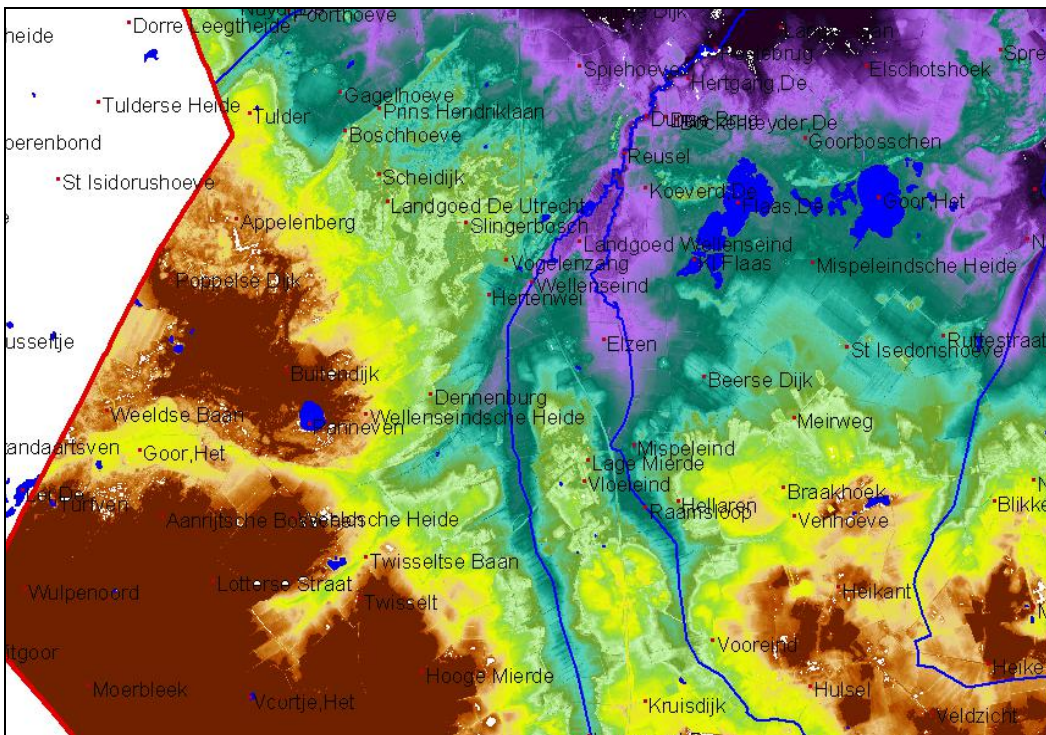
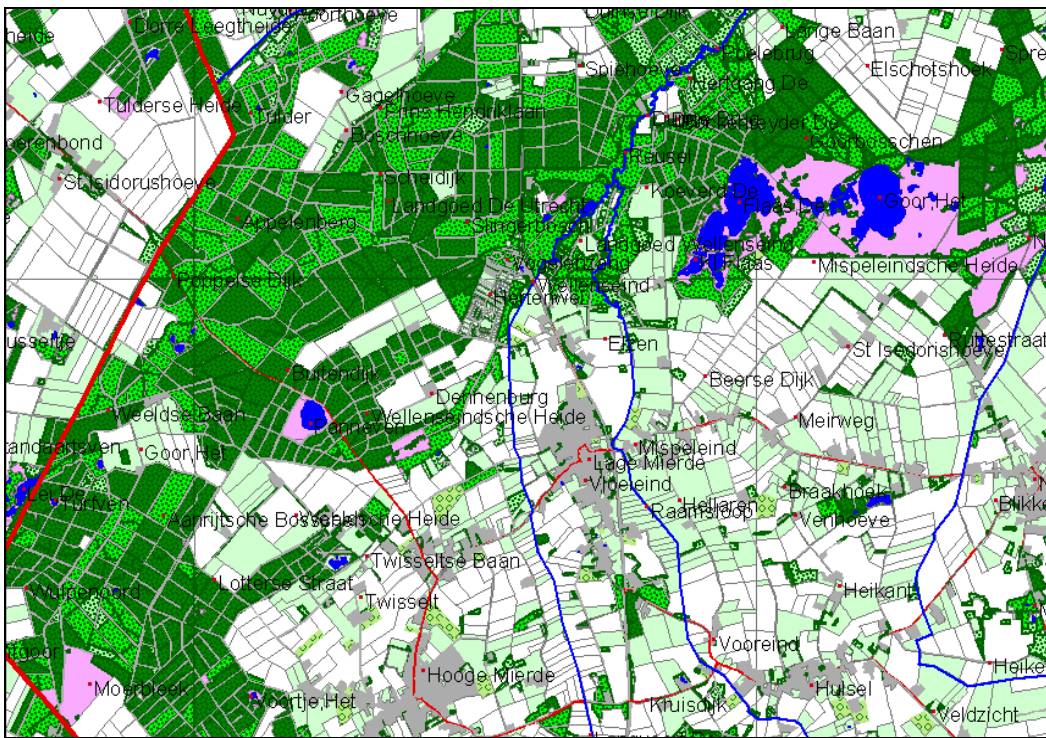
Figuur 103. Het systeem van de Mark onder Breda. Vanuit het zuidwesten komen lange smalle beekdalen van b.v. de Weerijs aan op het Markdal. Vanuit het zuidoosten het stelsel van de Chaamse beken.



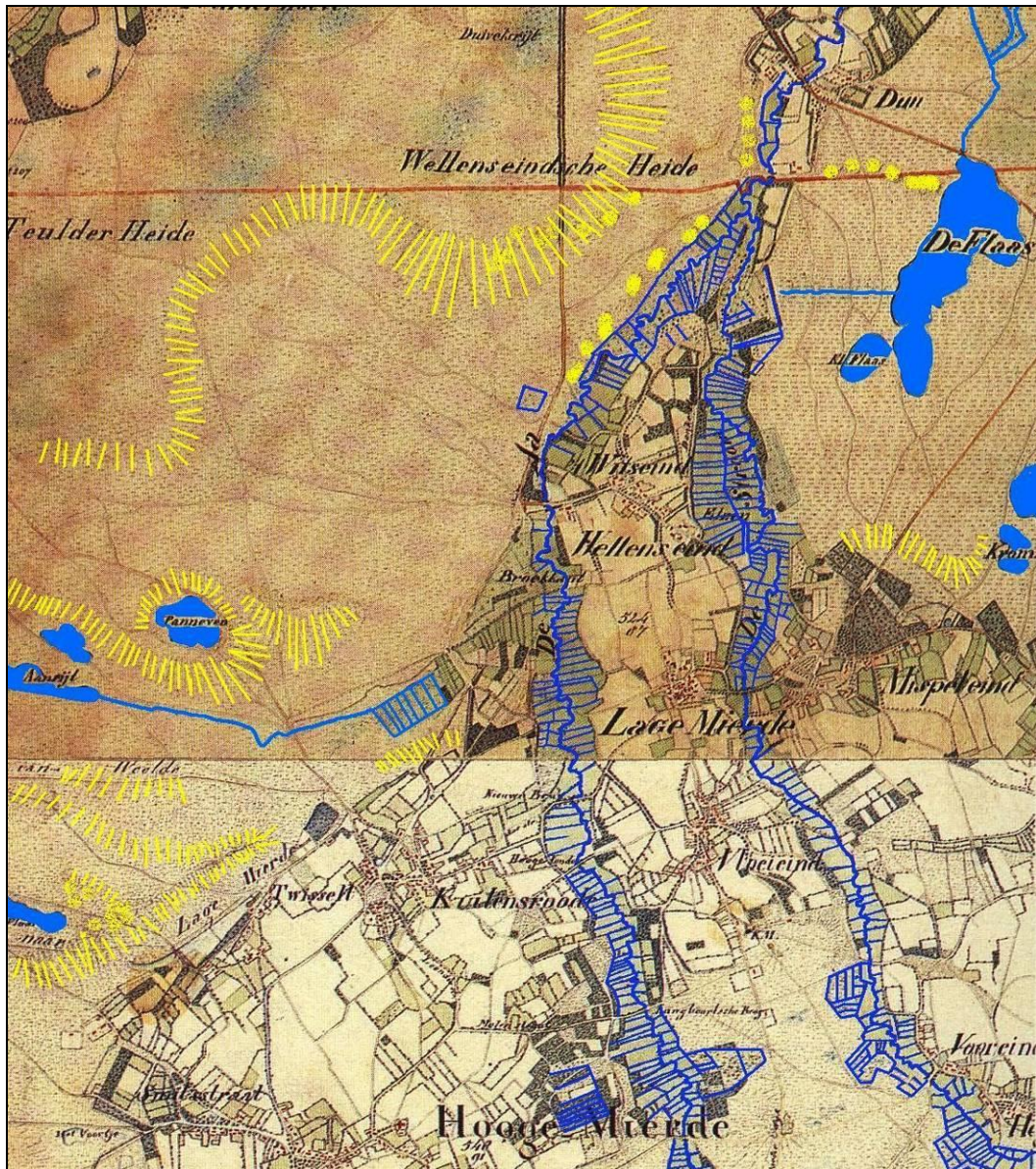
Figuur 104. Dekzandkoppen en -ruggen binnen het Markdal geven op verschillende plaatsen aanrijking met kalkrijke kwel.



Figuur 105. Het stelsel van de Chaamse beken. Op de onderste afbeelding is duidelijk te zien hoe de beek de wanden van elk "beekdal" volgt en van kwelkop naar kwelkop gaat.



Figuur 106. De Reusel (links) en de Raamse Loop (rechts) verenigen zich bij Wellenseind (een indicatie voor kwel!) tot de Reusel. Ook het toponiem Vloeiend is veelzeggend: in het gebied bevinden zich uitgebreide bevoeiingsstelsels.



Figuur 107. Bevoeiingsstelsels zoals weergegeven op de Militair Topografische Kaart (1837-1859) langs de Reusel en de Raamse Loop.

10 Fossiele beekstelsels

10.1 Veldbeschrijving landschapsvorm

We zagen, dat op grote schaal sprake is geweest van omkering van het reliëf. Als gevolg daarvan zijn natuurlijke beekstelsels, in de zin van spontaan ontwikkelde afwateringssystemen, buitengewoon schaars, zometoent ontbrekend. Eigenlijk kennen we dergelijke stelsels alleen in fossiele vorm. Ze zijn dan gewoonlijk het resultaat van een tamelijk abrupt afsterven en afdekking met leem. Zeer mooie voorbeelden daarvan kennen we uit Oost-Groningen en Z.W.-Drenthe. Wijd meanderende laagten, ter breedte van de Maas bij Maastricht, zijn min of meer losjes verbonden met de Ruiten A resp. Wold Aa en Koekanger Aa. Plaatselijk is in een enkel geval sprake van afsnoeringen met dekzand.

Min of meer losjes, want voorzover de beken al in deze laagten liggen, liggen ze langs de hoge flanken en zijn de grootste meanders afgesneden. Daarmee doen de grote systemen zich kennen als afgestorven stelsels, de erin liggende beken als kunstmatig en bedoeld om de tussen- en naastgelegen laagten te bevoeien. Voor Westerwolde is die ook gedocumenteerd; elke buurtschap beschikte hier over een "knipe", een voorziening, waarmee de beek kon worden "geknepen" en het beekwater dus kon worden opgestuwd.⁹⁰

⁹⁰ J.E.Muntinga(1945):*Het landschap Westerwolde. Diss.LH Wageningen. Groningen/Batavia.*



Figuur 108. Fossiel beekstelsel in het Brokkenbroek.

In Brabant vonden we binnen het "hoefijzer" van Tilburg twee fossiele beekstelsels, die afgesneden worden door de noordelijke arm daarvan, het gebied waarop de Loonsche en Drunense Duinen zijn gelegen. De Brand is een wel heel mooi voorbeeld; het voorkomen van leem in de ondergrond is hier bij de bodemkartering vastgesteld. Ook in en rond De Brand is ongetwijfeld bevoeid; we vinden hier driehoekige percelen⁹¹ en de boerderijnaam De Knijperij is veelzeggend. De turfputten zijn overigens een ander teken van de cyclus in het grondgebruik: turfbereiding en boekweitcultuur ging vaak vooraf aan bevoeiing: op de daardoor egaal gemaakte ondergrond werd vervolgens bevoeid en als de ontwateringsmogelijkheden beperkt waren en het veenpakket dik werd tenslotte baggerturf bereid. Is bij deze stelsels sprake van meandering, zuidelijk van het oostelijke deel van de Centrale dekzandrug vinden we een fossiel vlechtend stelsel. De naam van de belangrijkste plaats hier, Beek en Donk, drukt dat verbrokkelde karakter mooi uit. Ook hier is, blijkens de bodemkaart, sprake van afdekking met klei en leem. Hoewel, strikt genomen,

⁹¹ *Op dit kenmerk werden we geattendeerd door N.Zuurdeeg te Oosterbeek, mede-herontdekker van bevoeiingsstelsels in Nederland. De vorm vloeit voort uit de wens water over een breed front over het land te leiden. Men kan vermoeden, dat bij driehoekige percelen behalve bescherming tegen vorst ook toediening van nutriënten, in de vorm van slib of humus, een rol speelde. Als dat het geval was, bezonk het meeste materiaal direct in de zone naast de toevoergreppel. Om de rest van het perceel dan toch nog wat te laten profiteren, werd de afvoerweg versmald. Engelse bronnen spreken van water, dat stapvoets op het perceel moest worden gebracht en er in galop weer af.*

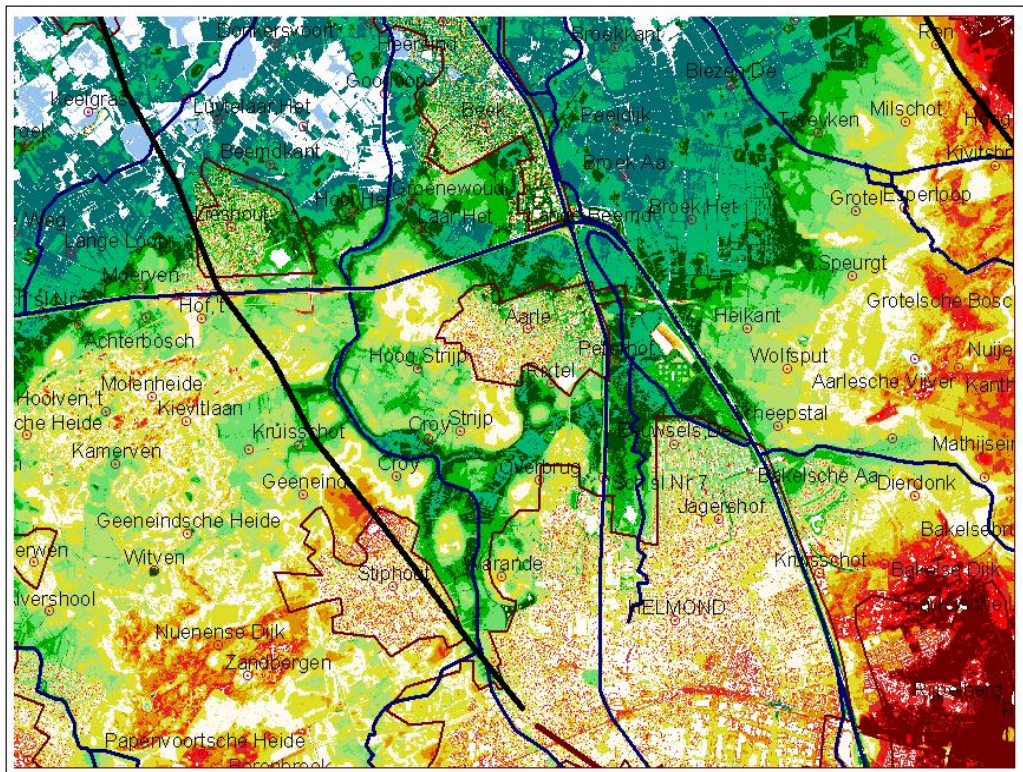
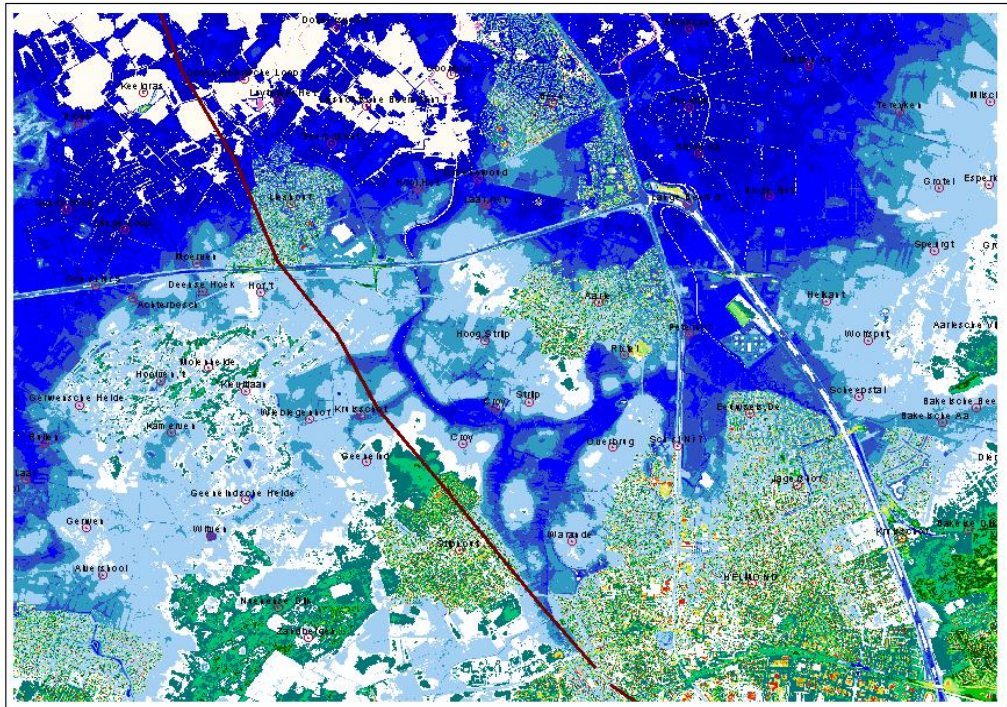
geen fossiel bekenlandschap, willen we in dit verband toch ook noemen het Weichselien-kleilandschap van het noordoosten van de provincie. Delen ervan zijn als meanderende, andere als vlechtende stelsels ontwikkeld⁹².

10.2 Interpretatie – genese en functioneren

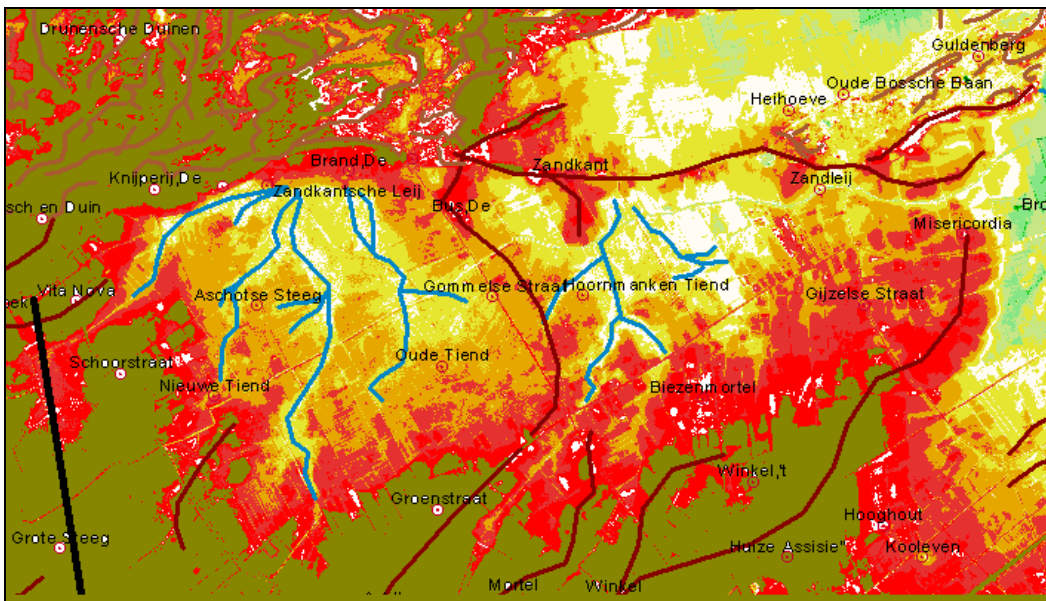
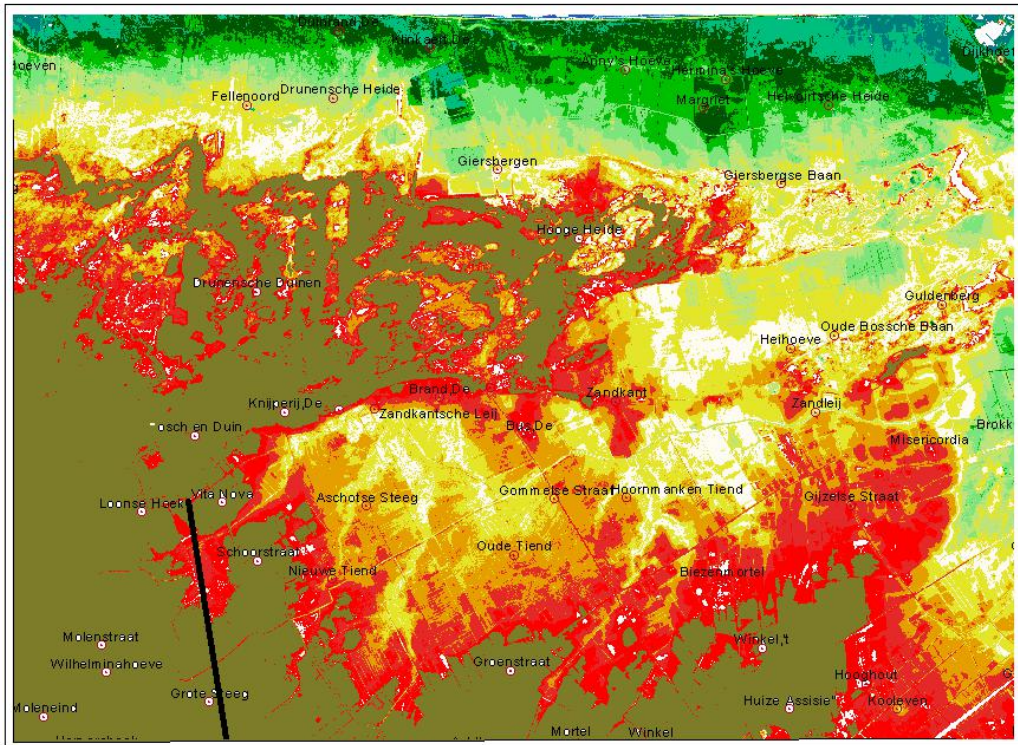
In het algemeen is dit type terreinvormen ontstaan door isolatie als gevolg van verdroging. Bij de stelsels langs de rivieren – en daar kan men gemakshalve ook de meanderende stelsel in het hoefijzer van Tilburg toe rekenen – lijken verleggingen van de hoofdstroom een rol te hebben gespeeld. De oude kleilandschappen in het noordoosten hangen samen met de verlegging van de Rijn tijdens de voorlaatste IJstijd: de hoofdstroom lag voor de ijskappen, die door de stuwwallen van Nijmegen en Kleve begrensd werden. Na het afsmelten van de ijskappen zocht de Rijn weer het oude dal op, aanvankelijk noordelijk om Montferland heen, later, nadat zijdelingse erosie voor een doorbraak tussen Montferland en Nijmegen had gezorgd, min of meer op de huidige plaats.

Door de afdichting met fijn materiaal werd bij latere grondwaterstandstijging kwel geconcentreerd in de inliggende of omringende zandige hoogten. In de laagten zelf vond veenvorming plaats; dat werd, zoals we zagen, de basis voor de landbouwkundige exploitatie. In een enkel geval zal hoogveen gevormd kunnen zijn; in dat geval ging turfwinning en/of boekweitteelt vaak aan de omvorming tot grasland vooraf.

⁹² Zeer mooi in D. van Diepen (1952): *De bodemgesteldheid van de Maaskant*. VLO 58.9. Den Haag.



Figuur 109. Fossiele beekstelsels uit het Weichselien ten noorden van Helmond.



Figuur 110. Fossiele beekstelsels uit het Weichselien in het hart van De Leijen bij De Brand en Het Brokkenbroek.

11 Huidige riviersystemen

11.1 Veldbeschrijving landschapsvorm

Ecologisch gezien is van belang het onderscheid tussen oeverwallen, gewoonlijk verenigd tot meandergordels⁹³, en komgronden; resp. grovere en fijnere afzettingen. Veel van de klei- en zavelgronden zijn in Brabant afgezet in een (zoetwater-)getijdenmilieu, wat inhoudt, dat meandergordels vaak eb- en vloedscharen vertonen. Speciale vormen zijn de zgn. overslaggronden, resultaat van dijkdoorbraken en te beschouwen als een vorm van crevasse-afzettingen. Ze liggen achter wielen.

Hier en daar liggen oudere Pleistocene afzettingen dicht onder of juist boven het huidige maaiveld. Fameus zijn in dat opzicht de in het Waardengebied door Vink uitgebreid onderzochte donken. Die moeten als de toppen van complexen oude rivierduinen worden beschouwd. Hoewel contact met de diepere ondergrond door de meeste onderzoekers wordt uitgesloten (aan de onderzijde zijn ze gewoonlijk begrensd door een leemlaagje) is die stelligheid vermoedelijk niet terecht – Vink spoorde ze op door op kwelverschijnselen te letten en de verhouding komgronden-oeverwallen is gewoonlijk zodanig, dat de kans in de ondergrond op oeverwallen te stuiten aanmerkelijk geringer is dan die op komgronden. In het Land van Heusden en Altena, deel van de vroegere Grote of Hollandse Waard komen ook enkele van die donken voor⁹⁴.

Een tot dusverre onopgemerkt verschijnsel hier is een reusachtig rond kwelsysteem westelijk van Wijk en Aalburg, afgedekt met hooggelegen komkleien, die blijkens Sonnevelds kartering⁹⁵ ondanks zijn hoogteligging ongerijpt bleven⁹⁶. Dit kwelsysteem is hier beschouwd als een kwelkrater, en is net als zijn kleine naamgevers op de bodem van beekjes, in staat om door de grote druk achter de kwel, weerstand te bieden tegen de lagere energie van de beek of rivier. Deze natte kwelsystemen zijn dus in staat erosie door water tot op zekere hoogte te weerstaan.

11.2 Interpretatie – genese en functioneren

Bezielt men het rivierengebied als geheel, dan valt op, dat gaande van oost naar west een verschuiving plaats vindt van (vooral) minerale gronden naar

⁹³ Zie voor een buitengewoon fraai overzicht H.J.A.Berendsen & E. Stouthamer (2001): *Palaeographic development of the Rhine-Meuse delta, The Netherlands*. Assen. Berendsen & Stouthamer, op.cit.

⁹⁴ Zie Berendsen & Stouthamer, op.cit.

⁹⁵ Op.cit.

⁹⁶ Berendsen & Stouthamer, op.cit. achtten de structuur onderdeel van een stroomgordel, maar blijkens de AHN betreft het een min of meer geïsoleerde structuur, die de Maas dwong tot noordelijk (de Alm) resp. zuidelijk ervan (het Oude Maasje) gelegen lopen.

veengronden: het tekort aan sediment werd door veen opgevuld. In dezelfde volgorde neemt ook de gemiddelde korrelgrootte van de minerale afzettingen af. Van een vast punt is intussen nooit sprake geweest; in de loop van de geschiedenis verschoof het omslagpunt tussen, wat Vink noemde, sedimentatie en accumulatie (resp. minerale gronden en veengronden) verschillende malen, in ruimte en tijd. De verschillende afzettingen kunnen daarom ook boven elkaar voorkomen. Ook de terrassenkruising (het punt waar de grens tussen overwegend erosie en overwegend sedimentatie) verplaatste zich in de loop van de tijd en wel in oostelijke richting⁹⁷. Een aanzienlijke vertraging in dat proces vond plaats door een uitloper van de Peelhorst. Pas toen die opgeruimd was kon dat punt weer verder hellingopwaarts verschuiven. Die erosie maakt, dat bij de interpretatie van de dekzandruggen op en rond de Peelhorst in het grensgebied met de grote rivieren de richting van de dekzandruggen niet zonder meer als maatstaf voor de stromingsrichting van het grondwater kan worden gehanteerd: een deel van de ruggen is hier afgekald.

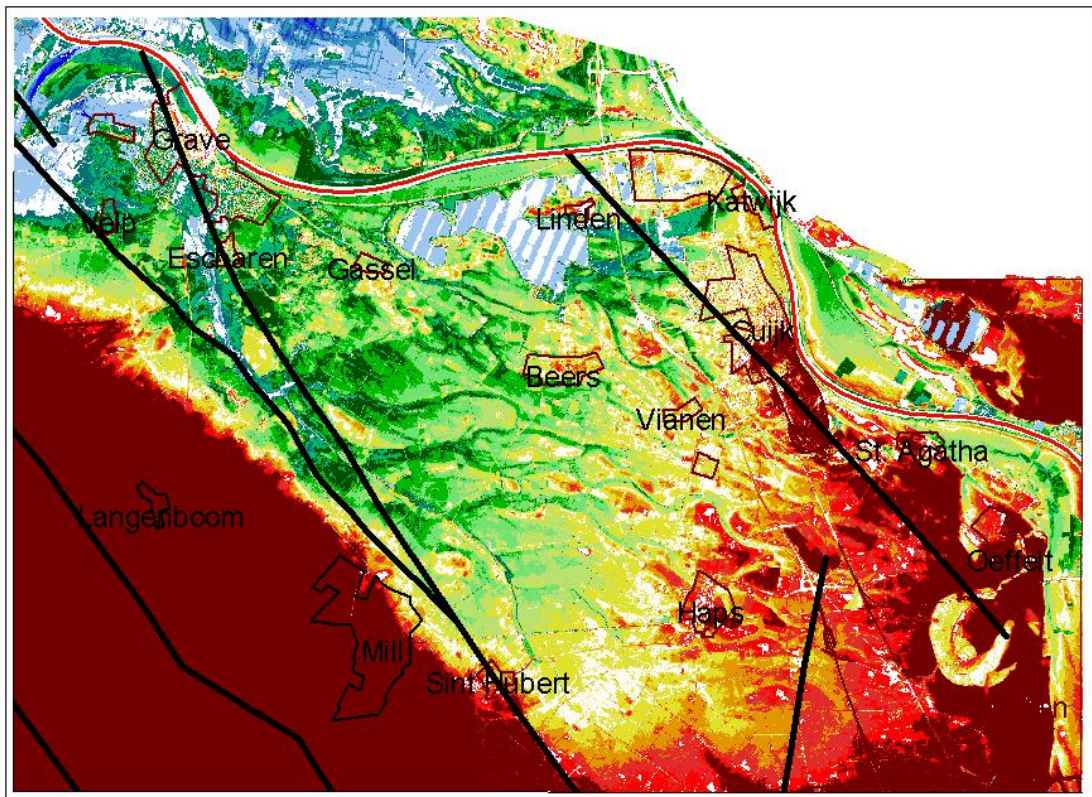
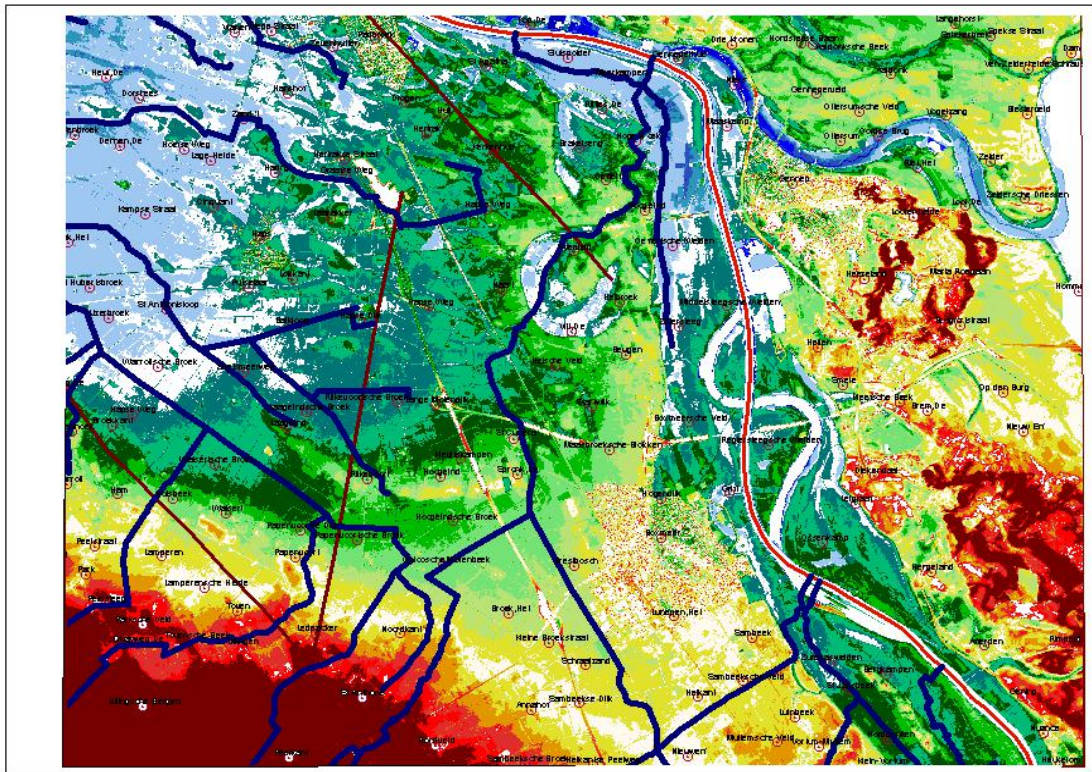
Oeverwallen en overslaggronden zijn relatief goed doorlatend en fungeren als preferente plaatsen voor grondwaterstroming; kwelsoorten komen daarom vaak langs de randen daarvan voor. Soms zijn in de oeverwallen restgeulen aanwezig; grootste voorbeeld daarvan is de Alm; langste het Oude Maasje. Oeverwallen in de ondergrond zijn gewoonlijk aan de bovenzijde met klei afgedekt en lekken dus, zoals Vink al in het eerste kwart van de vorige eeuw opmerkte, altijd langs de flanken. Waar goed doorlatende oeverwallen dijken raken of kruisen, is het risico van dijkdoorbraken groot; die plekken worden dan ook gewoonlijk door, soms zeer diepe, wielen gekenmerkt. In dat verschijnsel schuilt overigens de verklaring voor de massieve kleidijken die men vroeger opwierp: zand in het dijklichaam zelf zou aantasting alleen maar bevorderen⁹⁸.

De verplaatsing van de terrassenkruising is, voor wat Brabant betreft, niet alleen van belang voor het rivierengebied zelf, maar ook voor de Pleistocene randgebieden – erosie kon plaats maken voor sedimentatie en/of accumulatie; wegzijging voor kwel. Zonder dat verschijnsel zou veenvorming ten noorden van de Middenbrabantrug vermoedelijk een zeer lokaal verschijnsel zijn geweest; zonder dat zou ook de noordelijke arm van het hoefijzer van Tilburg niet tot praktisch Vught aan toe zijn verlengd.

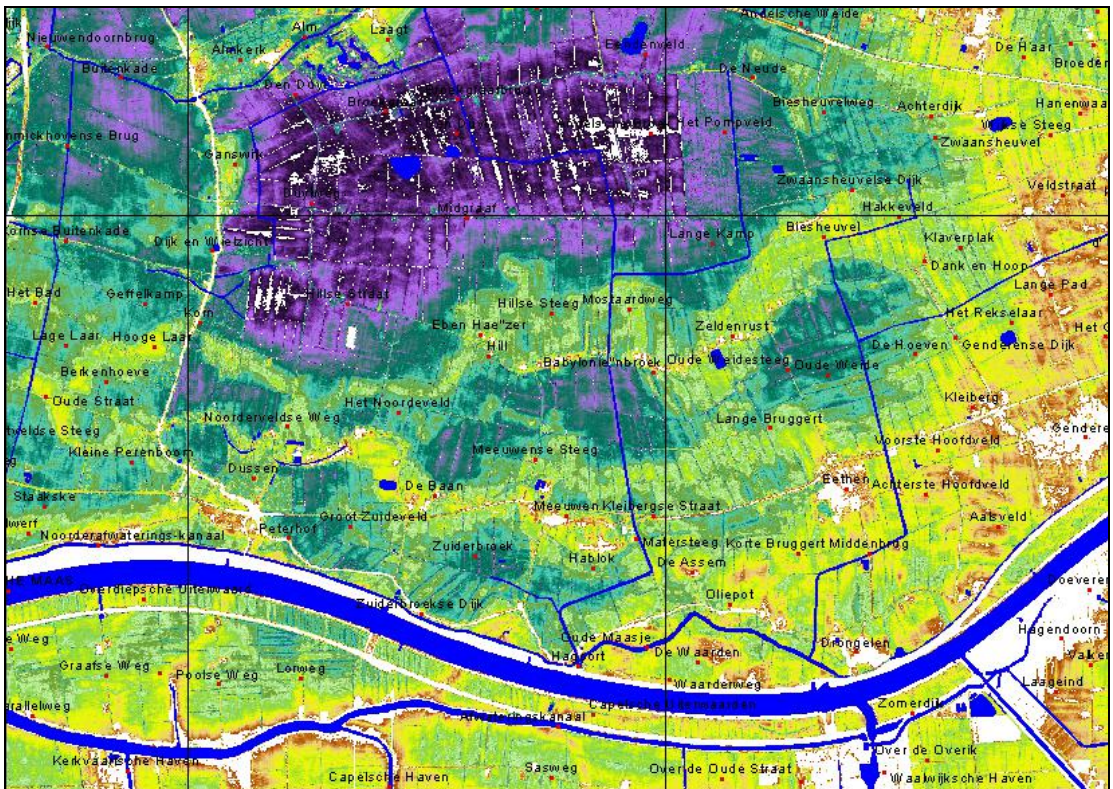
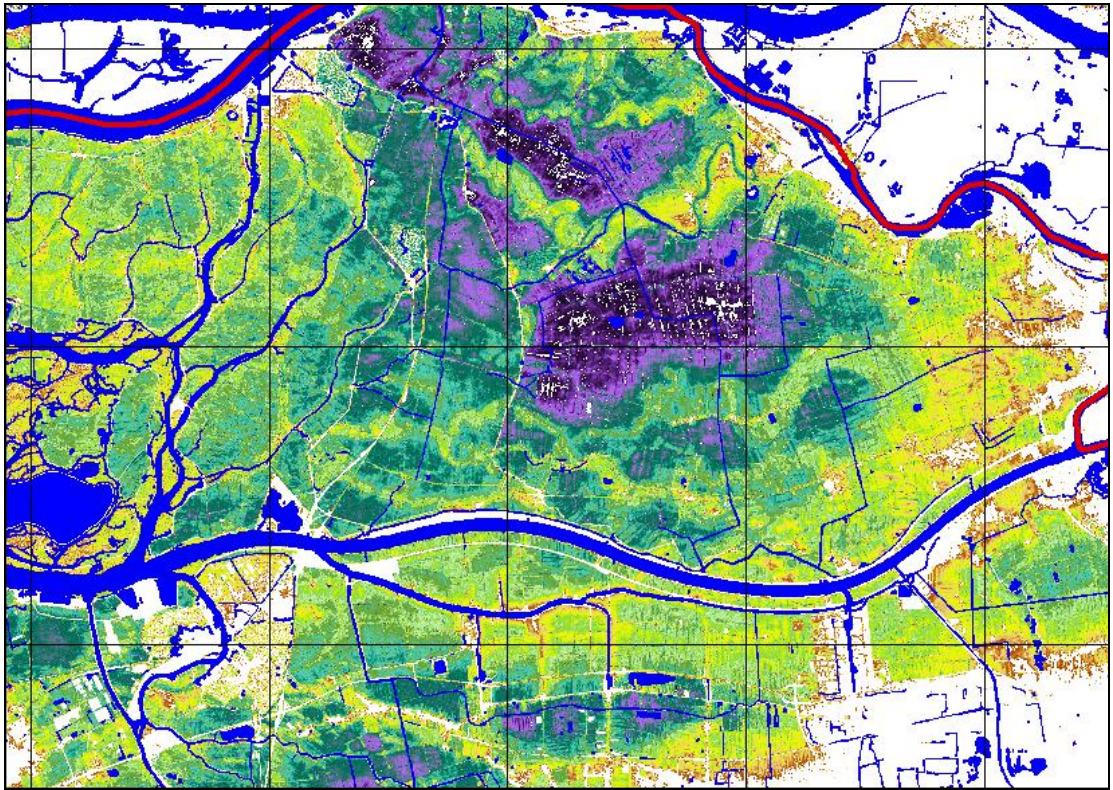
Voorts werden door de getijdenwerking afvoerstelsels verruimd of wellicht zelfs geschapen, ook op het zand, terwijl, anderzijds, buiten de stromingsstelsels sediment werd afgezet. De plaatsen waar zich daardoor kwel vanuit de hogere gronden kon manifesteren werden daardoor in aantal en oppervlakte beperkt en in de overgangszones tussen zand en klei geconcentreerd. Dat verschijnsel, van concentratie, ligt overigens ook ten grondslag aan Van Leeuwen's gradiënten theorieën – een op een hecht bouwwerk van waarnemingen stoelend gedachtegoed.

⁹⁷ Zie Berendsen & Stouthamer, op.cit.

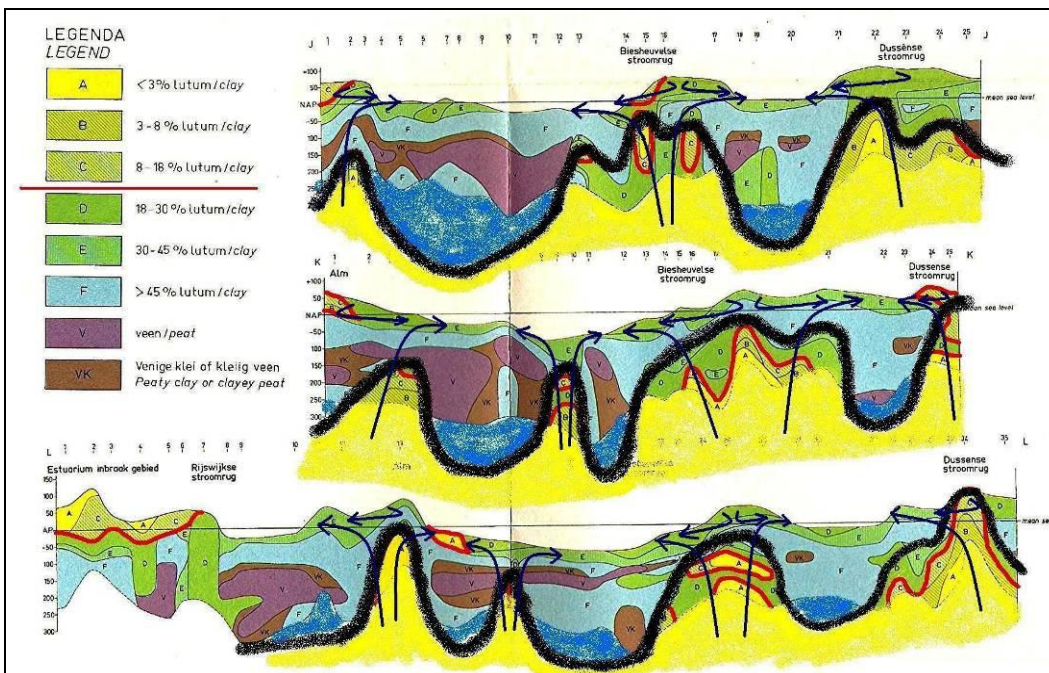
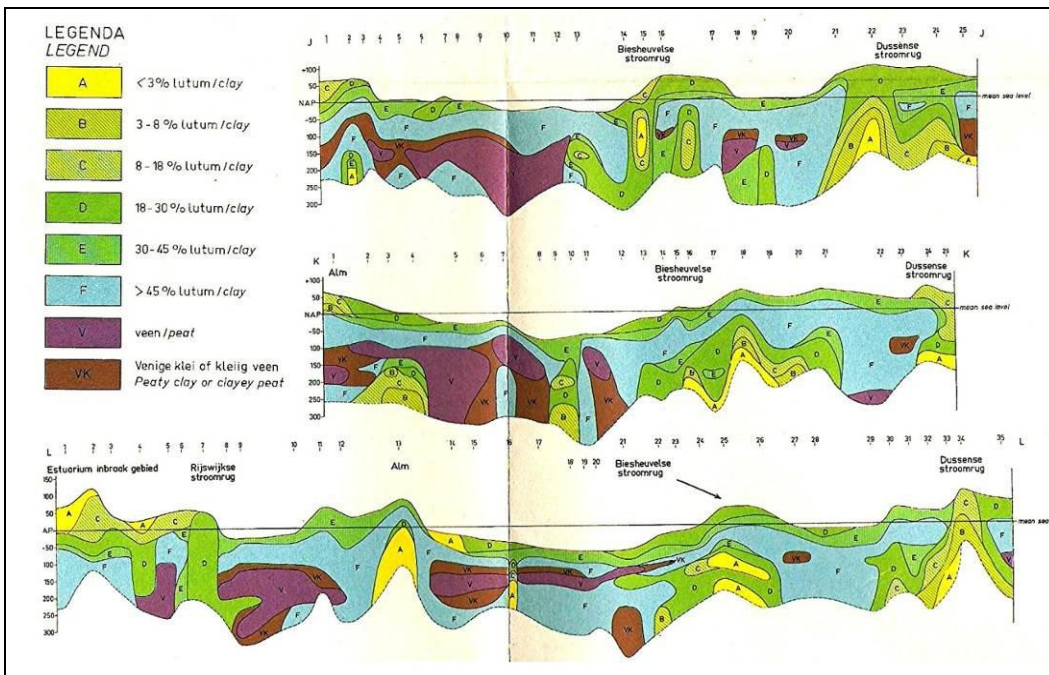
⁹⁸ De taluds waren daarbij betrekkelijk steil, om de oppervlakkige afvoer te bevorderen en doorwerking te voorkomen. Meidoornhagen en bomen droegen er toe bij, dat het dijklichaamhecht doorworteld en bijeen gehouden werd.



Figuur 112. Weichselien stroomruggen langs de Maas.



Figuur 113. Details van de kwelkrater en ruggen in het Land van Heusden en Altena.



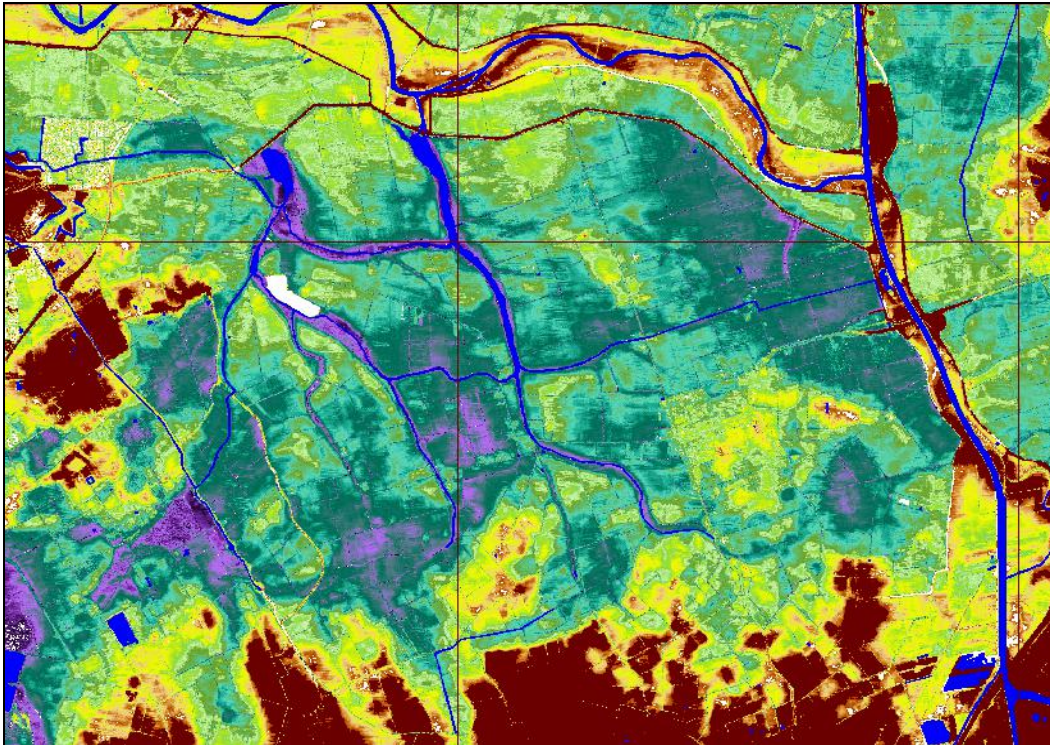
Figuur 114. Profielen door de ruggen van de kwelkrater in het Land van Heusden en Altena. Op de onderste afbeelding is weergegeven hoe deze ruggen het contact met de ondergrond verzorgen. Kwelwater kan langs deze weg het maaiveld bereiken, maar wordt ook in de lengterichting door de ruggen aangevoerd (blauwe pijlen). (Bron: F. Sonneveld 1957. Bodemkartering van Nederland deel XVIII: Bodemkartering en daarop afgestemde landbouwkundige onderzoeken in het land van Heusden en Altena).

12 De zee

Onder deze noemer hebben we dat deel van Noordwest-Brabant gebracht, dat in het Holoceen goeddeels buiten de directe invloed van de grote rivieren bleef, althans: geen daarmee samenhangende stroomruggen e.d. vertoont en buiten het eigenlijke dekzandgebied ligt. Het is misschien wel het minst bekende, bestudeerde en gewaardeerde deel van Noord-Brabant en de neiging is groot het als een soort vastelandsvorm van de Zeeuwse eilanden te beschouwen. Die geringe belangstelling is ten onrechte, want het gebied vertoont fascinerende en raadselachtige trekken.

12.1 Beschrijving – landschapsvorm in het veld

We maakten eerder al gewag van het feit, dat hier misschien wel de natuurlijkste beken van Noord-Brabant liggen – zij het, dat feitelijk sprake is van getijdengeulen. Onder directe invloed van het (zilte)zeewater heeft het niet of nauwelijks gestaan; het ondervond wel de werking van de getijden en werd daardoor bedekt met een laagje klei, werd er door vervormd tot een reeks eilanden, uitgangspunt voor de latere polders, die tenslotte door een aaneensluitende dijk omgeven werden. Die polders zijn gescheiden door een aantal diepe, zandige vloedgeulen. Daarin liggen stelsels als de benedenloop van de Mark (de Dintel), de Steenbergse/ Roosendaalse Vliet, het Keene en, in het oosten, de Donge.



Figuur 115. Detail van de eb- en vloedscharen bij Steenberg. Veel kleine opduikingen in het landschap zijn vermoedelijk het gevolg van dekzandkopjes.

In het noorden en westen van Noord-Brabant is bij verschillende gelegenheden de zee diep ingedrongen, het meest recent nog bij de ramp van februari 1953. Dat was aanleiding tot versnelde uitvoering van de Deltawerken. Daarmee werd de getijdenwerking in belangrijke delen van het zuidwesten van ons land buitengesloten danwel sterk verminderd. Zo verminderde in de Biesbosch de vloedhoogte van ca 2 m naar 30 cm. Ander gevolg was dat de werkelijk unieke schorren bij Woensdrecht, uniek omdat het de laatste schorren waren waar Pleistocene dekzandkopjes door het dunne kleidek staken⁹⁹ en daardoor de meest soortenrijke van ons land, compleet van de, wel gespaarde, Oosterschelde werden afgesloten¹⁰⁰. Daarbij raakte ook de laatste klifkust van ons land, bij Hildernisse, geïsoleerd van de zee. Men kon in Brabant, als enige provincie in ons land na de afsluiting van de Zuiderzee, in dit kleine gebied tussen Schelde en Elbe het complete scala van (overgangen tussen) zout- en zoetwatergetijden en een klassiek rivierenlandschap aantreffen en de rijkste groeiplaatsen van de enige soort die als endemisch voor Noordwest-Europa kan gelden: de Spindotter, als eerste beschreven uit de Brabantse Biesbosch en daar ooit zijn zwaartepunt vindend.

Hoewel thans èn vroeger geheel anders van karakter – fluviaatiele invloed was en is hier aanzienlijk sterker – kon in de Biesbosch een type verschijnselen, dat op de “vaste wal” verward is als gevolg van bedijkingen, hier tot 1970 ten volle bestudeerd worden: een zoetwatergetijdengebied. Zonneveld wijdde

⁹⁹ In het noorden van ons land kwamen vergelijkbare structuren voor, maar die zijn al zo'n 1000 jaar geleden ingepolderd.

¹⁰⁰ Zie o.m. E.S.Bos & H.H.J.Simons (1964): *Vegetatieonderzoek van het schorrencomplex ten zuiden van Bergen op Zoom. Rapport RIVON/Hydrobiol.Inst.; Zeist/Yerseke*; G.J.Baaijens, D.J. de Jong, J.Visser & B.A.Bannink (1980): *Een afgesloten Markizaat van Bergen op Zoom. Rapport RIN/ Nota DDMI 80.04 Deltadienst Milieu en Inrichting. Leersum/Middelburg*

daaraan zijn indrukwekkende monografie¹⁰¹, en volgt het tot de dag van vandaag. Intussen gloort er enige hoop op herstel van het biotoop van de Spindotter.

Met getijdeninvloed samenhangende landschapsvormen vindt men ook ver landinwaarts, in de noordwesthoek. Voor de waterhuishouding het meest interessant zijn vloedscharen, voor het eerst beschreven door de grondlegger van de Deltawerken, Johan van Veen.

12.2 Interpretatie – genese en functioneren

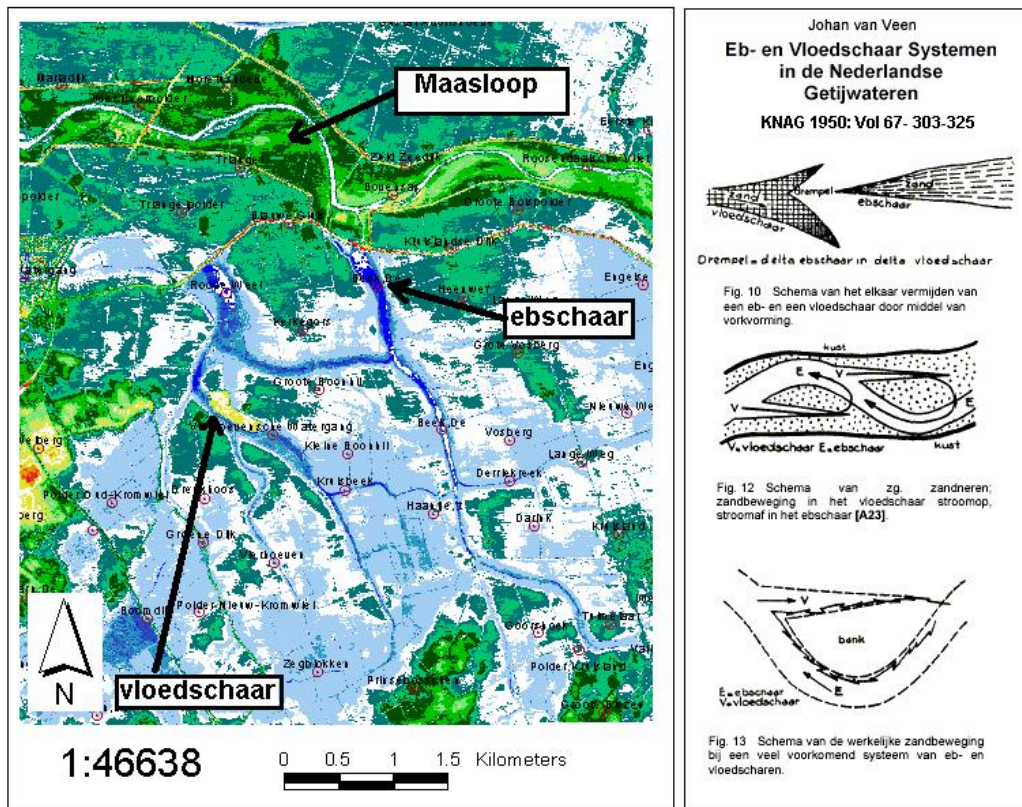
De ondergrond is een dekzandlandschap, dat alle oorspronkelijke kenmerken behouden moet hebben, gevrijwaard als het is van later menselijk ingrijpen. Daarop werd veen afgezet, in samenhang met de reusachtige venen die Zuidwest-Nederland ooit bedekten¹⁰². Die venen maakten mede, dat de Schelde een loop ver noordwaarts had, min of meer langs de provinciegrens met Zeeland. Die noordelijke loop bleef overigens, tijdens vloed, in stand tot de spoorlijn Bergen op Zoom – Middelburg werd aangelegd. Omdat in de Noordzee de vloed vanaf Zeeland naar Denemarken oploopt, werd de Schelde gedwongen bij stijgend water naar het noorden af te voeren. Als ook op de Oosterschelde de vloed opkwam, werd de afvoer weer verder noordwaarts verlegd. Tussen Wester- en Oosterschelde bevonden zich overigens twee vereffeningsgeulen – het Sloe en de verbinding westelijk van de prachtige steilrand van Hildernisse¹⁰³.

Als de vloed opkomt, werpt ze in buitenbochten een wal op, waarachter een kom ligt, waar op hetzelfde moment nog eb heerst. Die scheidende wal wordt vloedschaar genoemd, omdat eb en vloedstroom er als het ware om heen scharen. Ze kunnen zich tot oeverwallen ontwikkelen. Door dit proces wordt een aanmerkelijk selectie in sediment tot stand gebracht: het grofste materiaal vindt men op de bodem van de vloedgeul en op de rug; het fijnste in de kommen.

¹⁰¹ I.S. Zonneveld(1959): *De Brabantse Biesbosch. Een studie van bodem en vegetatie van een zoetwatergetijdendelta*. VLO 65.20. Wageningen.

¹⁰² Zie voor een overzicht L.J.Pons(1992):*Holocene peat formation in the lower parts of the Netherlands*. In: J.T.A.Verhoeven(ed.):*Fens and bogs in the Netherlands:vegetation, history, nutrient dynamics and conservation*, p. 7-79. Dordrecht/Boston/London.

¹⁰³ Die vereffeningsgeulen vormden in zekere zin de veiligheidsventielen tussen Wester- en Oosterschelde. Hun sluiting leidde tot versnelde aanwas langs de Westerschelde en, vermoedelijk, tot permanente problemen met de vaargeul naar Antwerpen en een schonere Oosterschelde.

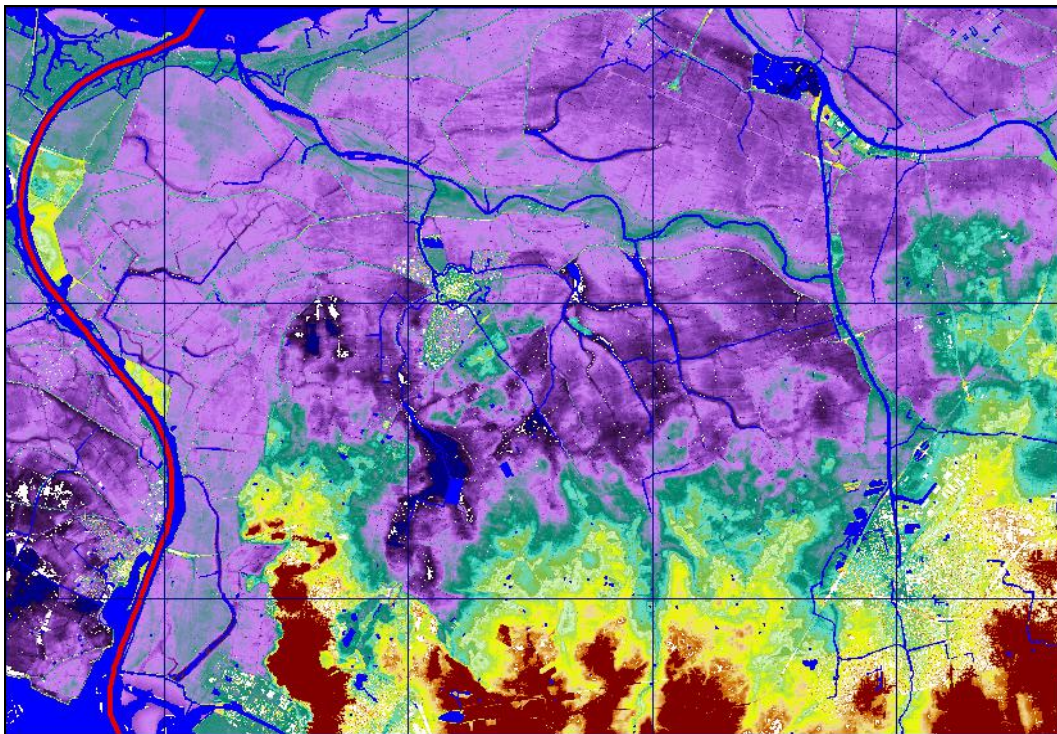
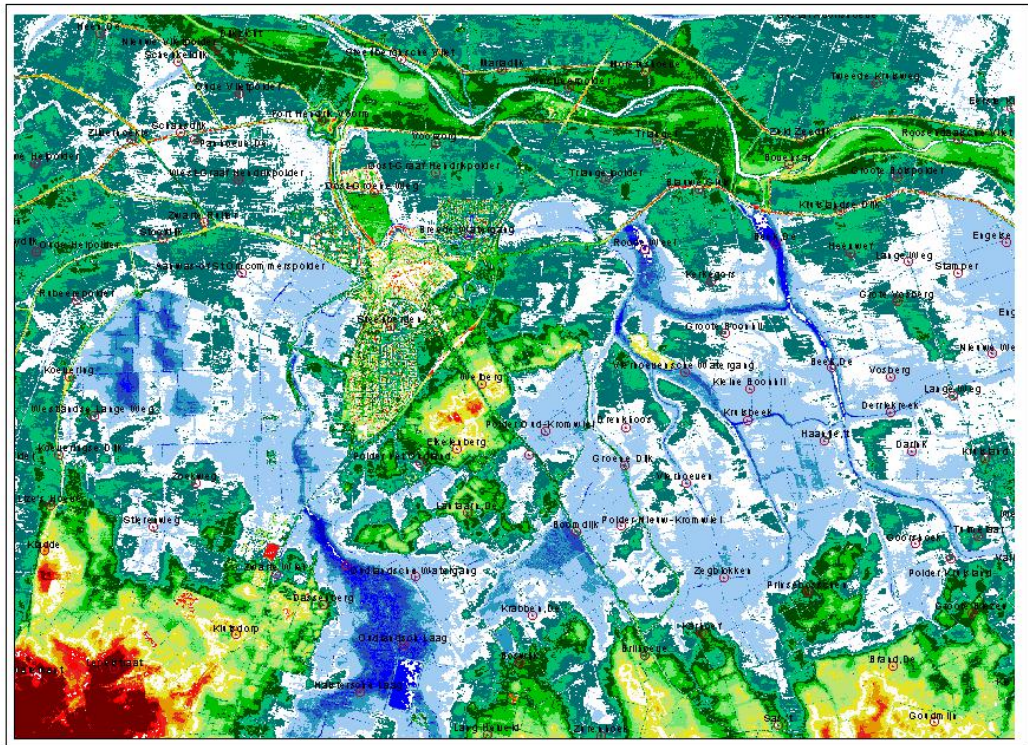


Figuur 116. Eb- en vloedscharen rond Steenberg (Bron: J. van Veen: *Eb- en Vloedschaar Systemen in de Nederlandse Getijwateren*. Tijdschr. Kon. Nedl. Aardr. Gen. Vol. 67 (1950) Pagina 303-325).

De soms diep ingesneden vloedgeulen maken contact met vanuit het Pleistocene zuiden afstromend grondwater mogelijk. Getuige een naam als de Rode Kreek, ten noorden van Fijnaert (de Fundert, in de wandeling) kan dat ver reiken¹⁰⁴. Fijnaert zelf, een voormalige versterking, vormt overigens ook een aanwijzing voor kwel: forten, middeleeuwse kastelen, e.d. liggen gewoonlijk op plaatsen met krachtige kwel. Alleen dan konden de grachten in de zomer watervoerend blijven en was de bezetting verzekerd van voldoende drinkwater. Het kleidek belemmerde die kwel en droeg daardoor bij aan de kwel op plaatsen waar het dun was of ontbrak. De grens tussen Pleistoceen en Holoceen Brabant is daarom belangwekkend – Wit Bosvogeltje en Stippelzegge zijn twee Rode Lijst-soorten die daaraan gebonden zijn.

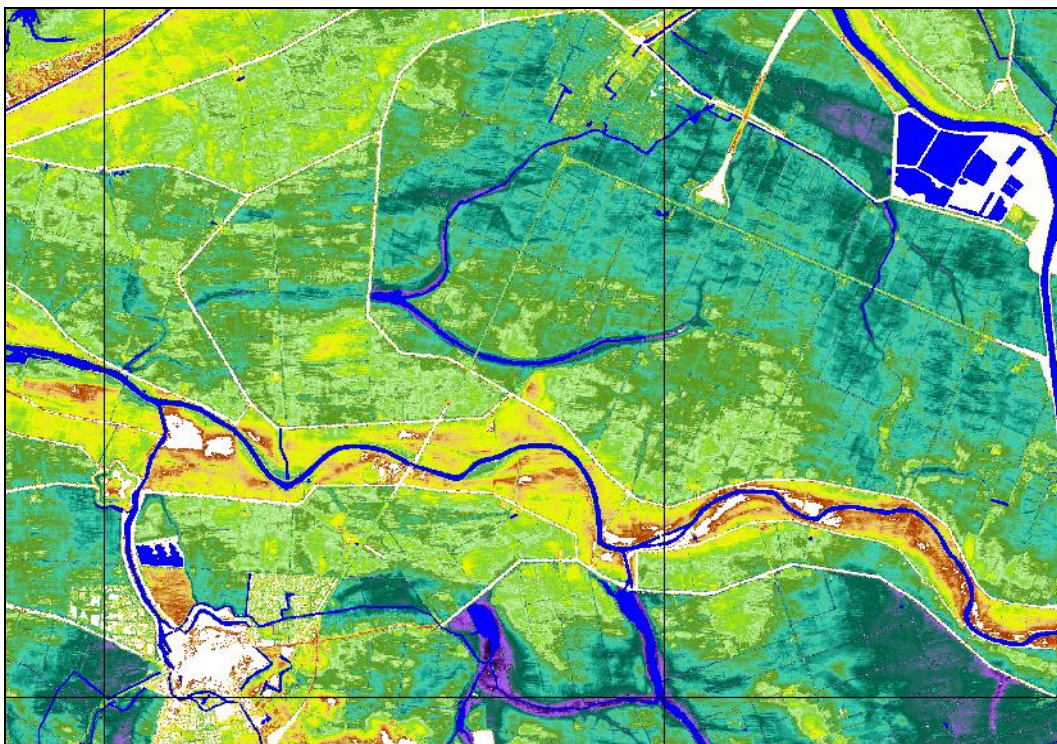
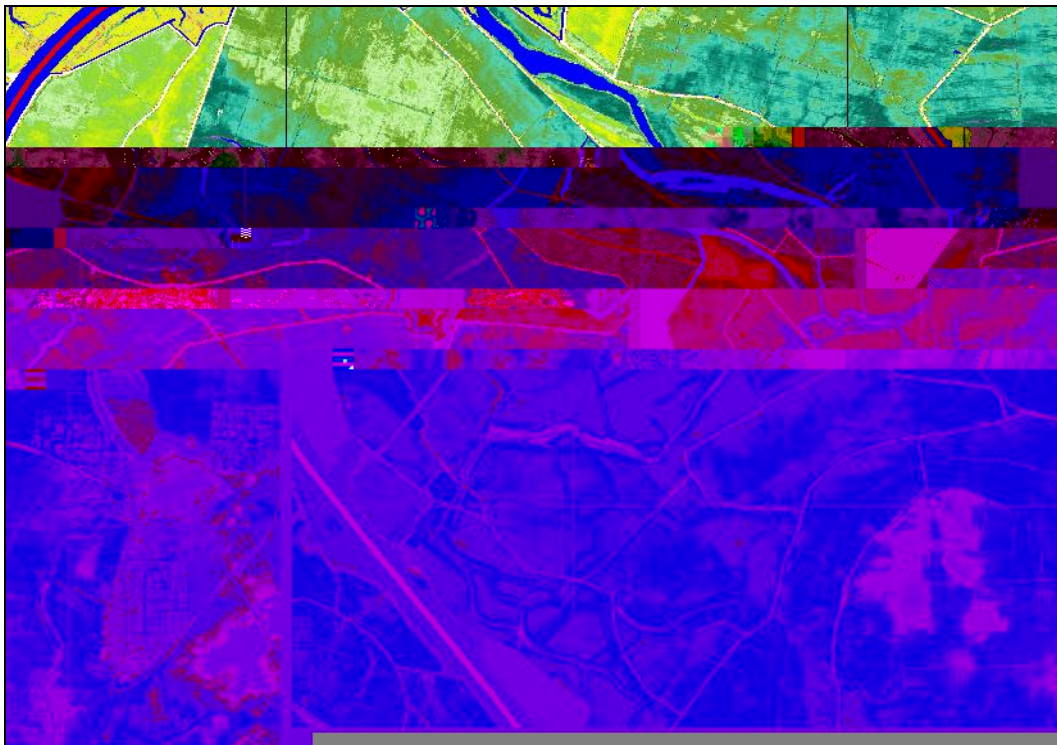
Door de selectie als gevolg van verschillen in stroomsnelheid ontstaan er verschillen in verticale doorlatendheid. De ruggen blijven daarbij, ook na opslibbing van de voedende geulen, relatief goed doorlatende plekken en het zijn daarmee concentratiepunten voor kwel danwel wegzijging. Wat er precies optreedt, hangt af van de lokale situatie.

¹⁰⁴ Rode-toponiemen kunnen wijzen op het rooien van bos, maar als ze een kleuraanduiding zijn, zoals in de Rode kreek, wijzen ze gewoonlijk op kwel van ijzerrijk, dus roodbruin gekleurd, water.



Figuur 117. Het mariene landschap rond Steenberg. Kwelkoppen zoals de Welberg steken door de zeelei heen en vormen het contact met het diepere grondwater.

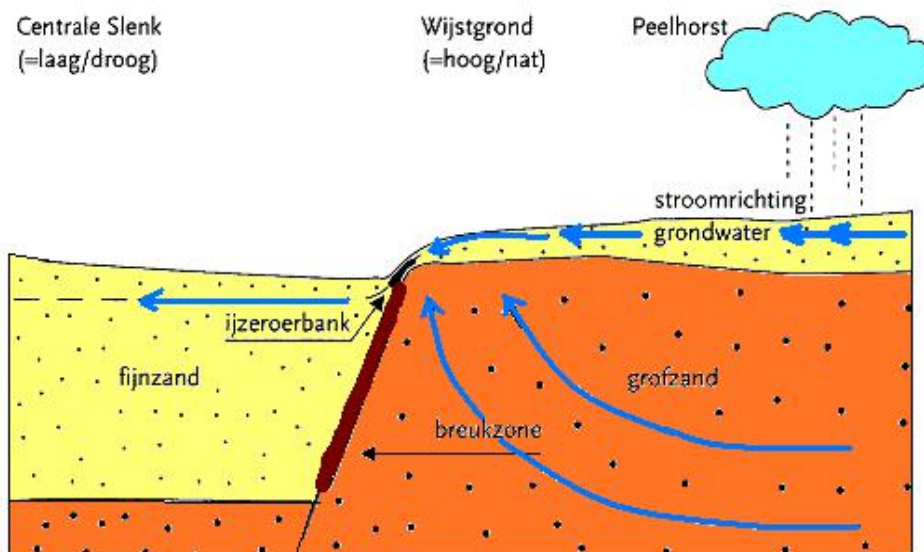
Bij binnendijking treedt als eerste verzoeting op onder die oeverwallen. Omdat ze uit relatief grof materiaal bestaan en hoger lagen, werd bouwland bij voorkeur daarop ingericht. Daarbij dreigde voortdurend het gevaar van verdroging. Dat leidde tot unieke oplossingen: men handhaafde de bolle ligging van het land en bevorderde die wanneer door afspoeling toch egalisatie dreigde, door van buiten naar binnen rond te ploegen, danwel door met behulp van een molbord grond naar het midden van het perceel te duwen. Rond de percelen groef men sloten, die men in de winter diep ontwaterde. Daardoor kon in de winter in de ploegvoren maximale infiltratie optreden, waardoor een regenwaterlens in de ondergrond werd opgebouwd, waarvan de opbolling min of meer overeenkwam met de maaiveldsligging – de percelen werden dus bol gehouden om overal een min of meer gelijke vochttoestand te bereiken. Wanneer zich vochttekorten gingen voordoen, liet men zeewater in. Daardoor werd de regenwaterlens opgeduwd. Men paste dus de Wet van Badon Ghyben-Herzberg al eeuwen toe voor die beschreven werd!



Figuur 118. Stroomruggen en fossiele kreeksystemen in het landschap rond Steenbergen.

13 Wijstgronden

13.1 Veldbeschrijving landschapsvorm



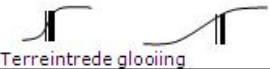
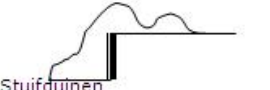

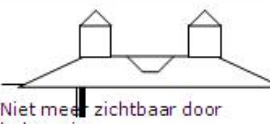
Figuur 119. Schets van de Wijstgronden rond de Bedafsche Bergen bij Uden. Water dat wordt aangevoerd vanuit de Peelhorst wordt tegengehouden door oerbanken langs het breukvlak. Het water stuwt op en stroomt vervolgens over de oerbank heen.

De Wijstgronden zijn van bijzonder belang voor de studie van wijst, een verschijnsel dat neerkomt op een speciale vorm van kwel onder invloed van een breuklijn. Wijst is, althans in zichtbare vorm, een landelijk en zelfs wereldwijd bijzonder zeldzaam verschijnsel. Hoewel er ook buiten Uden wijstgronden voorkomen, zoals bij Meijel, Liessel, Bakel en Handel, bepaalt het wijstverschijnsel alleen bij Uden over grotere oppervlakten de vegetatie.

De Peelrandbreuk bij Uden is duidelijk zichtbaar als een steilrand in het landschap. Het hoogteverschil is ongeveer vijf meter. De breuklijn blokkeert het vrij doorstromen van grondwater vanwege de verspringende aardlagen, verdichting, versmering en ijzerafzetting. Het breukvlak wordt daardoor moeilijk doordringbaar voor water en het hopt zich er achter op. Zodoende ontstaat kwel: het grondwater wordt opgestuwd tot aan het maaiveld. Het merkwaardige gevolg hiervan is dat de hogere delen van het landschap, de horst, het natste zijn en grotendeels tamelijk moerassig. De slenk daarentegen is ondanks de enkele meters lagere ligging aanzienlijk droger.

Wijstgronden zijn in Brabant een belangrijk fenomeen, maar zijn als landschapsvorm via de kaart nauwelijks te detecteren. Het is mogelijk deze

vormen op het spoor te komen wanneer men de beschikking heeft over nauwkeurige bodemkarteringen en deze kan combineren met breuklocaties en het AHN. Meuwissen en van de Brand (2003) hebben de volgende indeling gemaakt van wijstgebieden:

• <i>Mate van kwel</i> ▶ • <i>Zichtbaarheid breuk</i> ▼	• <i>Kwel tot in maaiveld</i>	• <i>Kwel in de sloten</i>	• <i>Geen kwel</i>
 Terreintrede glooiing	Wijstgronden type • A1	Wijstgronden type • A2	Zichtbare breuk, geen wijstgrond, maar wel waardevol
 Stuifduinen	Deze komen naar verwachting niet voor	Wijstgronden type • B	Geen <i>wijstgrond</i>
 Niet (meer) zichtbaar	Wijstgronden Type • C1	Wijstgronden Type • C2	Geen <i>wijstgrond</i>
 Niet meer zichtbaar door bebouwing	Wijstgronden type D	Wijstgronden type D	Geen <i>wijstgrond</i>

Figuur 120. Indeling van wijstgronden in Brabant (Bron: Meuwissen en van de Brand 2003).

13.2 Interpretatie – genese en functioneren

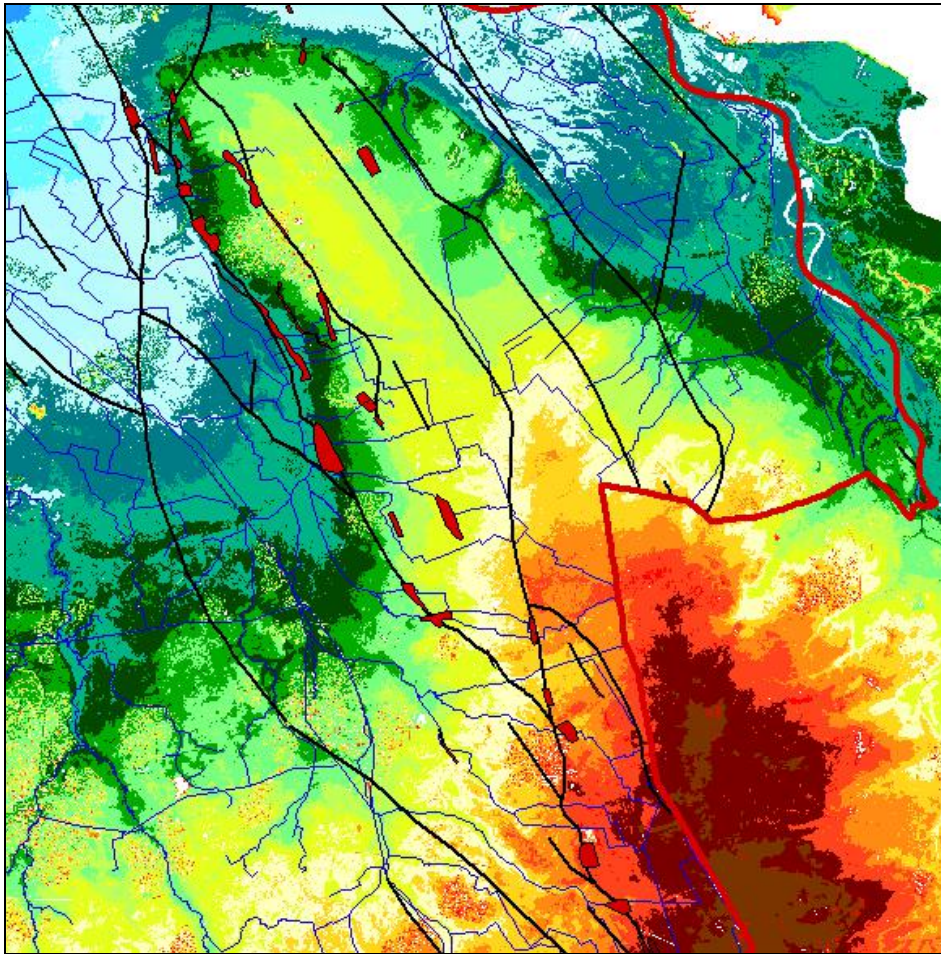
Meuwissen en van de Brand (2003) hebben door een gezamenlijk onderzoek van het Waterschap Aa-en-Maas, Staatsbosbeheer en de Brabantse Milieufederatie een goede inventarisatie opgesteld van de wijstgebieden in de Provincie Noord-Brabant¹⁰⁵.



Figuur 121. IJzerrijk water uit wijstgebied.

¹⁰⁵ Meuwissen, I.J.M. en Van den Brand, L. 2003. *Brabantse wijstgronden in beeld. Inventarisatie en verkenning van de aanpak. Waterschap Aa en Maas. 31 p.p. + Bijlagen.*

Op de kaart hieronder staan de wijstgronden weergegeven zoals ze in het rapport van Meuwissen en Van de Brand zijn waargenomen.



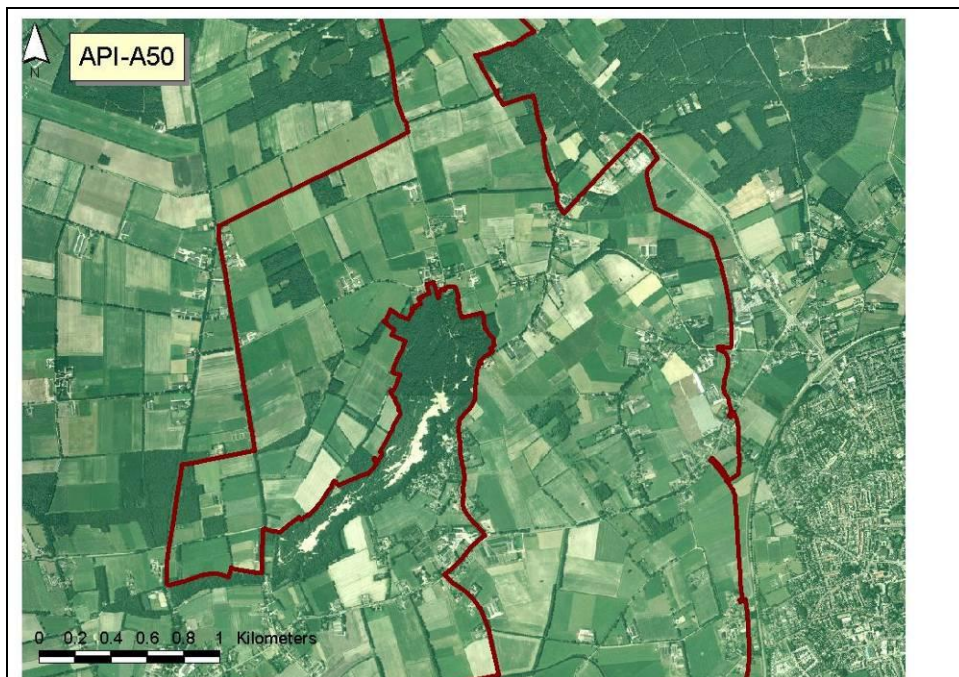
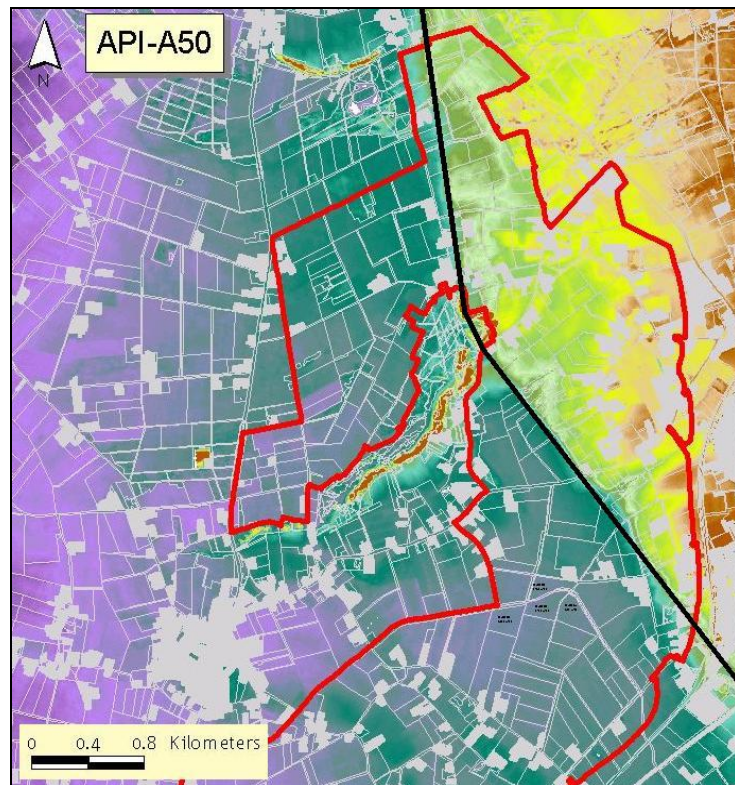
Figuur 122. Ligging van Wjstgronden in de Provincie Noord-Brabant.

De nu bekende wijstgronden liggen voornamelijk langs de westflank van de Peelhorst. Toch is er reden genoeg om aan te nemen dat zich ook langs andere breuken wijstgronden moeten bevinden.

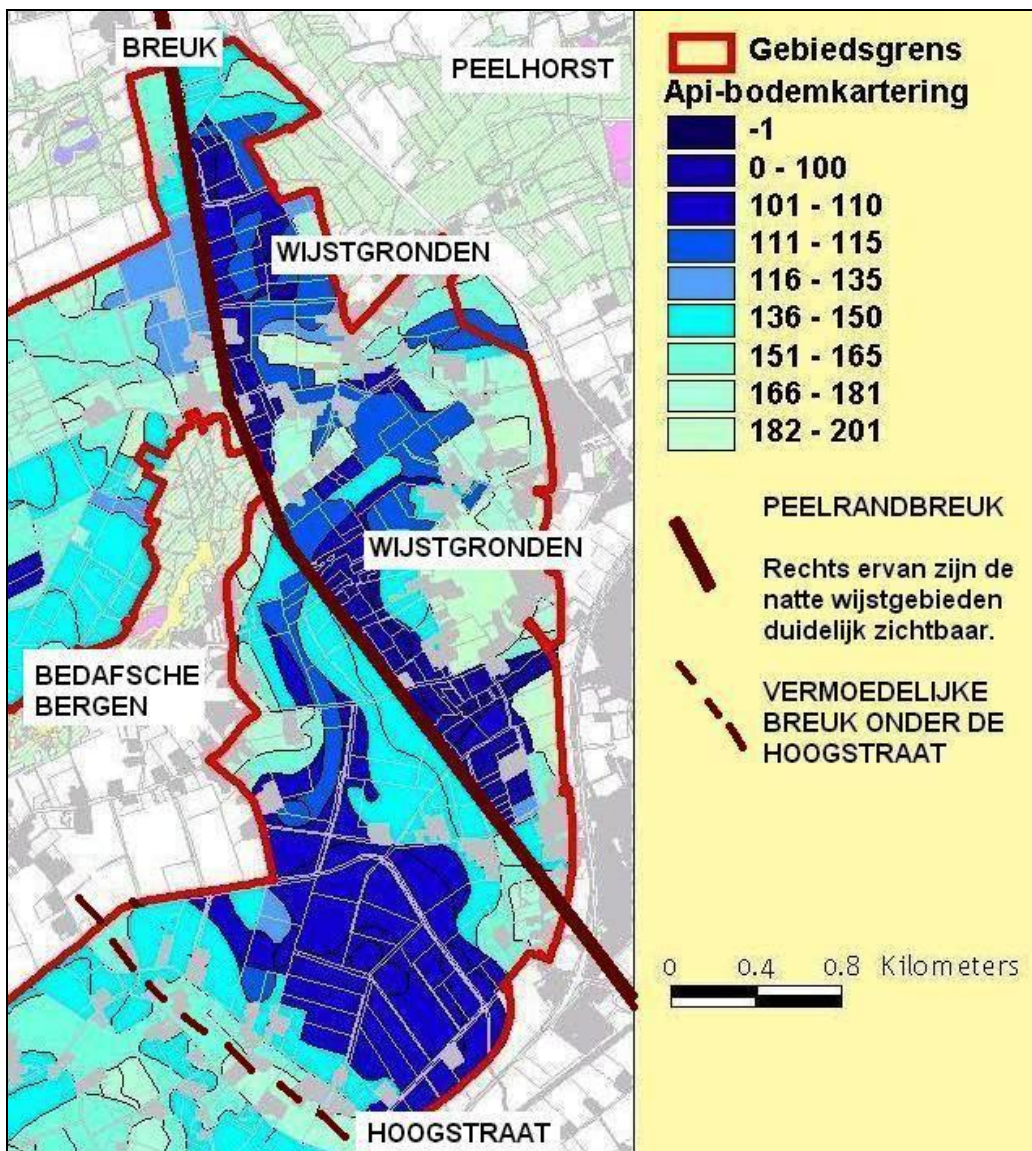
Een voorbeeld is gegeven in het projectgebied van de Aanpassingsinrichting A50. De hoogtekaart laat zien dat er sprake is van een duidelijke scherpe terreintrede, die overeen komt met de bekende locatie de Peelrandbreuk. Daarnaast is op basis van het bodemgeografisch onderzoek van Leenders een drietal kaarten gemaakt die respectievelijk de droogtestress in de bodem, het gehalte organische stof en bijvoorbeeld ook het voorkomen van ijzer en veen weergeven¹⁰⁶. De locatie in het midden van de figuren zijn de Wjstgronden bij Uden, ten oosten van de Bedafsche Bergen. In feite is dit nagenoeg de typelocatie voor het wijstverschijnsel, en er zijn meerdere rapporten over verschenen¹⁰⁷.

¹⁰⁶ Leenders, W.H. 1998. *Bodem en grondwatertrappenkaart binnen de Aanpassingsinrichting A50*. DLO-Staringcentrum Wageningen. xx p.p. + bijlagen

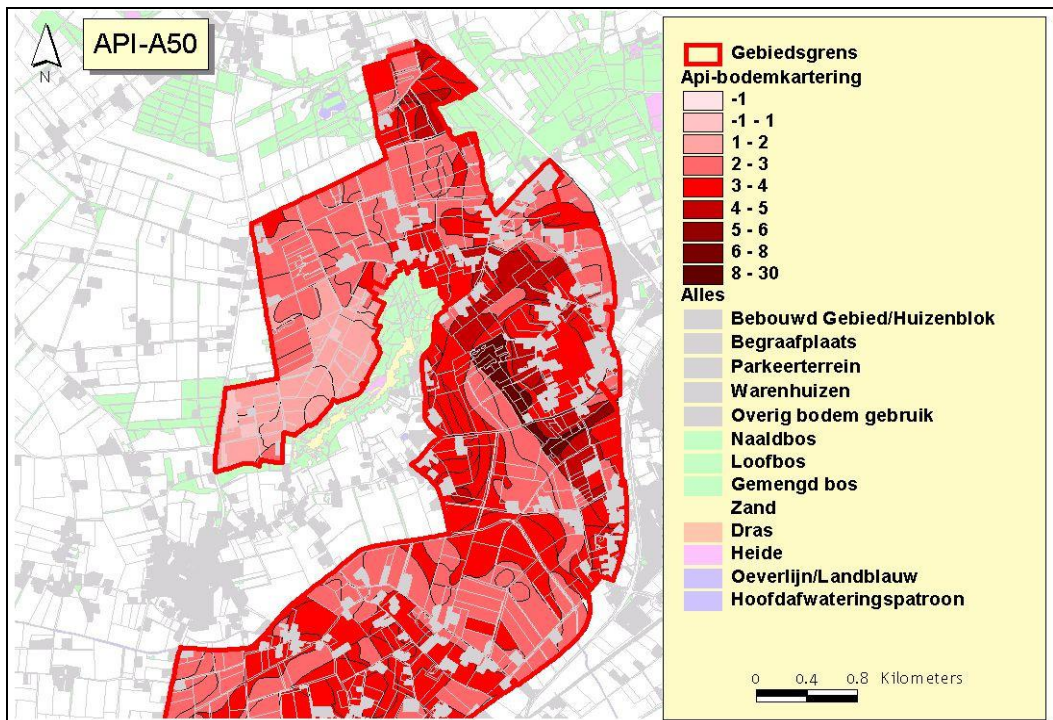
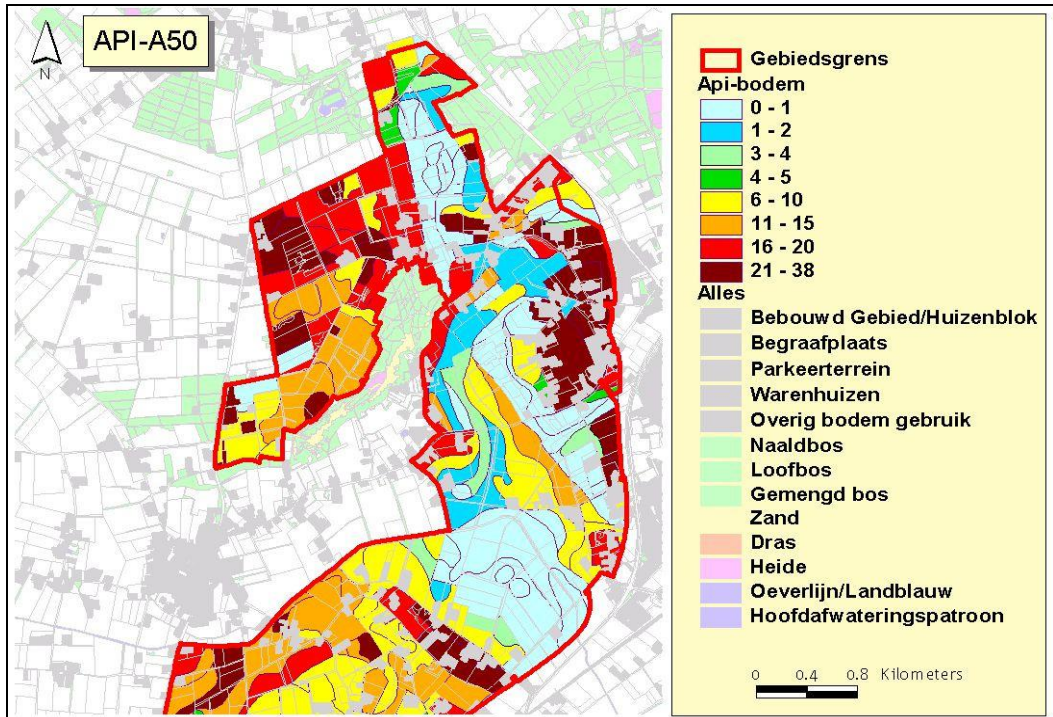
¹⁰⁷ Stuurman, R.J. en Atari, R.H. 1996. *De grondwatersituatie rond de Wjstgronden bij Uden*. Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO. TNO-Rapport 97-212(A). 67 p.p. + bijlagen.; Verwijst, Th. 1982. *De Wjstgronden*. St. Uitg. Distel; Vught. 69 pp.; Visser, W.C. 1948. *Het probleem van de wjstgronden*. Tijdschr. Kon. Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap. LXV (6): 798-823



Figuur 123. Het gebied van de Wijstgronden rond de Bedafse Bergen bij Uden. Op de bovenste afbeelding is de terreintrede zeer duidelijk zichtbaar. De onderste afbeelding is een luchtfoto van hetzelfde gebied. De rode lijn is de grens van het projectgebied van de Aanpassingsinrichting A50. (Bron Eurosense B.V. Breda 2000)

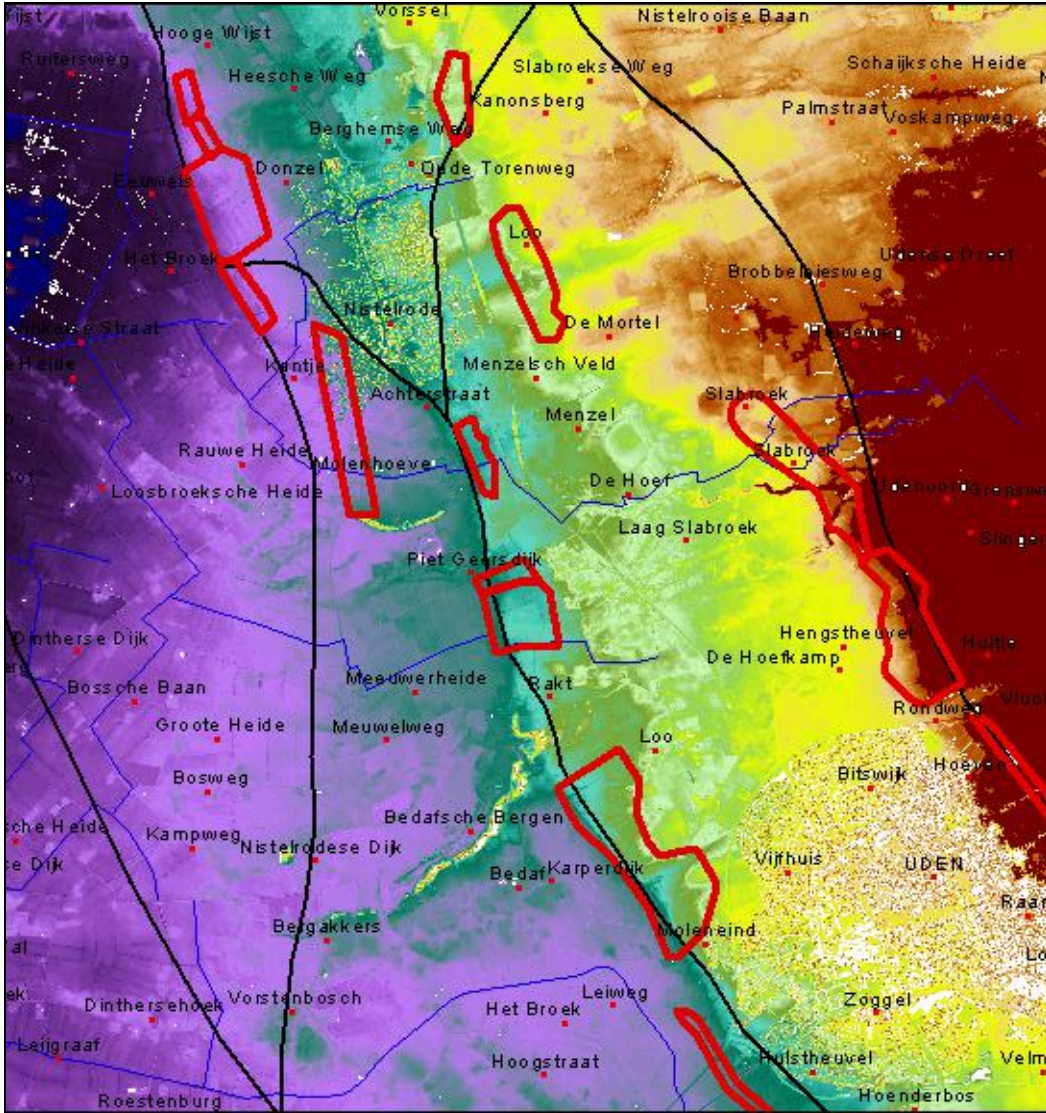


Figuur 124. Schets van de Wijstgronden rond de Bedafsche Bergen bij Uden. Boven de breuk blijft water staan.



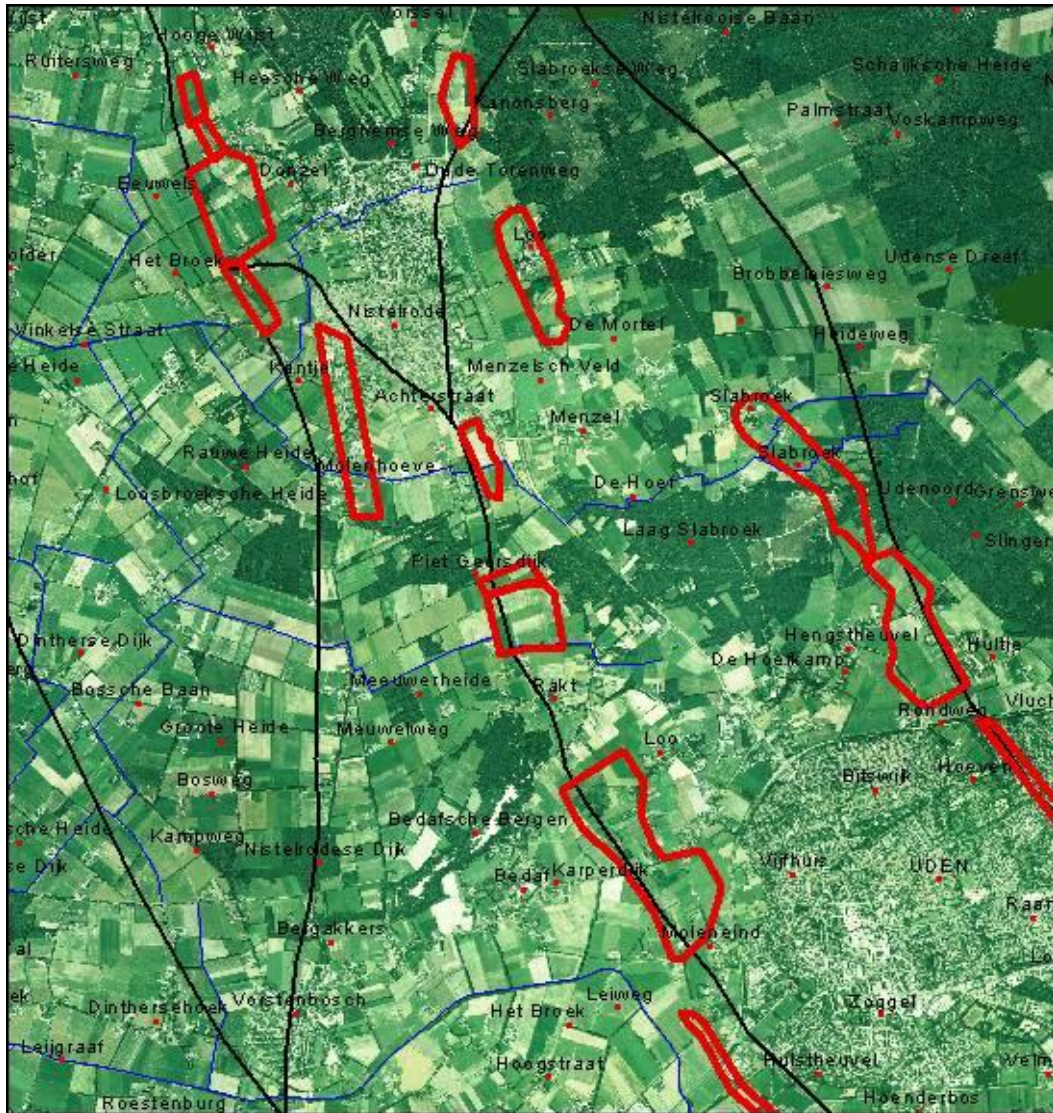
Figuur 125. Bodemgeografisch onderzoek uitgevoerd in het kader van de Aanpassingsinrichting A50. De Wijstgronden komen duidelijk naar voren door het geringe aantal dagen droogtestress in de bodem (bovenste figuur) en de grote hoeveelheid organisch materiaal (onderste figuur).

De volgende twee figuren geven de locaties aan van de wijstgronden ten noorden van Uden. Op veel plaatsen is deze duidelijk gebonden aan een bekende breuk en in een groot aantal gevallen ook geassocieerd met een terreintrede.



Figuur 126. Locatie van de wijstgronden ten noorden van Uden op de hoogtekaart.

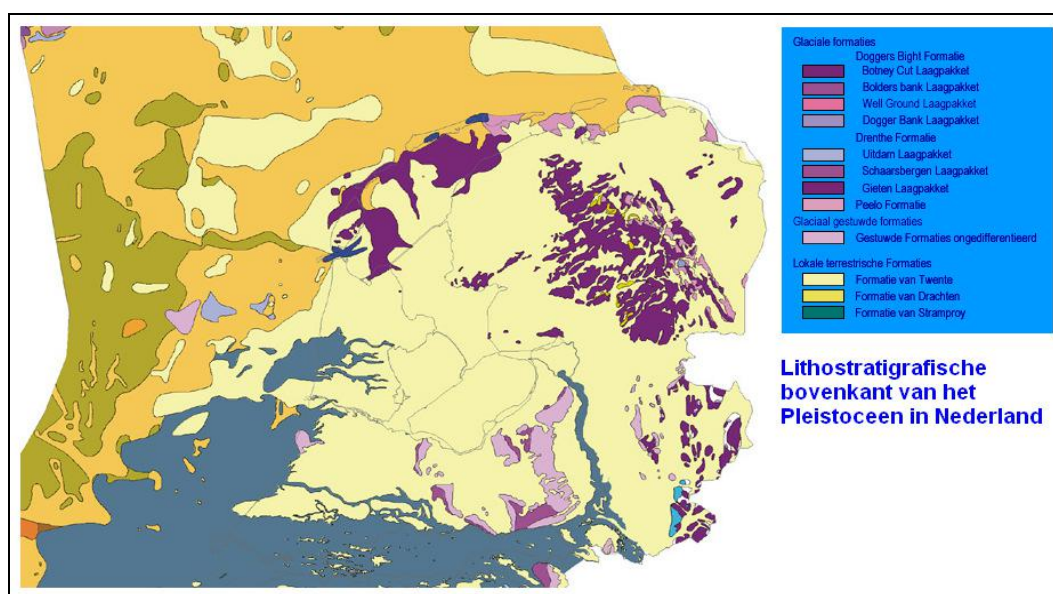
Een eerste overweging bij herstel van wijstgronden is of er een actuele dan wel potentiële toevoer is van grondwater tot in of dicht onder het maaiveld. Ook de aanwezigheid van een zichtbare terreintrede is een criterium. Een ander belangrijk aspect bij herstel van de wijstgronden is de toevoer van het water. Veel gebieden hebben momenteel een toevoer van water met een sterke landbouwinvloed. Dit zal niet kunnen leiden tot natuurdoeltypen met een hoge natuurwaarde. Het is veelal gunstiger om gebieden te kiezen die een voedingsgebied hebben met bos of ander natuurgebied.



Figuur 127. Luchtfoto: locatie van de wijnstroken ten noorden van Uden.

14 Flutings

Minder bekend, maar niet minder belangrijk voor het begrip van functioneren van het landschap zijn de zogenaamde flutings (Rappol M. 1984, Flint R.F. 1971, Sugden D.E. & B.S. John 1984). Dit zijn langgerekte ruggen, die ontstaan zijn onder voortbewegend landijs. Wanneer het landijs zich over een obstakel in de ondergrond heen bewoog, werd achter het obstakel de ondergrond als het ware omhoog geperst in de vorm van een rug.



Figuur128. Lithostratigrafische bovenkant van het Pleistoceen in Nederland. (De Geoatlas van Nederland CD TNO 2002).

Uit de figuur hierboven en de hieronder staande hoogtekaarten is duidelijk te zien dat we in Noord Nederland te maken hebben met zeer langgerekte ruggen zoals de Hondsrug en de Rolderrug, maar ook dat er zich verschillende strekkingsrichtingen aftekenen.

Dat stelsel van ruggen is voor het eerst opgemerkt door Van Veen (1925) en het is ook op satelliet beelden terug te vinden (zie bijv. Rappol, 1992). Roeleveld beschreef de voortzetting ervan in Noord-Groningen (Roeleveld 1970/1971). Het meest opvallend is het in de beekdalen, waar ze zich, in de woorden van Van Veen, als "kapen" manifesteren. Het zijn flutes: langgerekte lage verheffingen in het landschap, die ontstaan zijn door drukverschillen binnen het op de grondmorene rustende landijs.

Door die drukverschillen werd lokaal materiaal omhoog geperst. Kennelijk bieden ze weerstand tegen erosieve processen, want ze hebben zowel het geweld van de smeltwaterstromen in het Saalien als die van het Weichselien

in de oerdalen overleefd. Keileem en keien lijken er dus een belangrijk bestanddeel van uit te moeten maken¹⁰⁸.



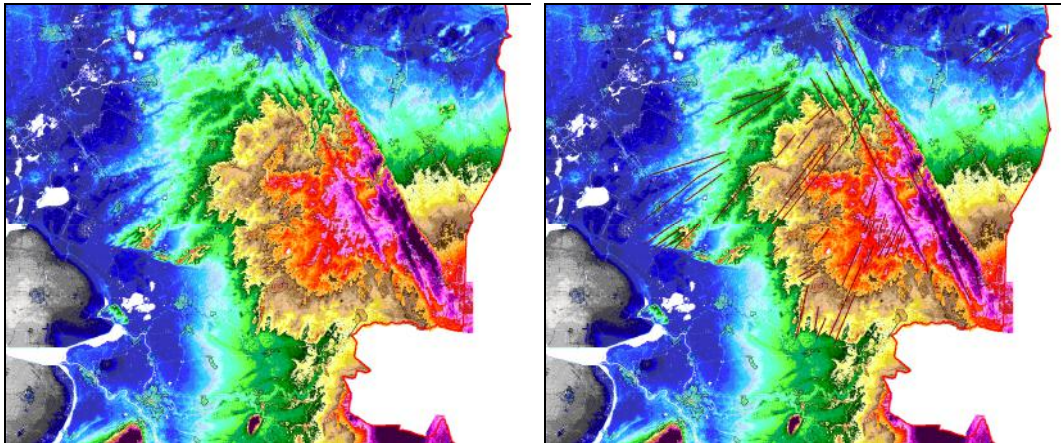
Figuur 129. Satellietfoto Noord Nederland uit 'In de bodem van Drenthe' door Rappol (1992).

Kennelijk hebben ze ook verticale dimensies in die zin, dat ze niet alleen nog steeds boven een groot deel van het maaiveld uitsteken – vooral opvallend in de beekdalen – maar zich ook in de diepte manifesteren. Ware dat niet zo, dan konden ze niet als kapen de beekdalen insteken¹⁰⁹. Dat leidt dus tot de

¹⁰⁸ Johan van Veen, die als eerste deze structuren beschreef, maar beter bekend is als de vader van de Deltawerken, beschreef de kern van zo'n "kaap" bij Dwingeloo inderdaad als uit keileem bestaand.

¹⁰⁹ Bij die vervormingen zijn keien met gletsjerklassen rechtop komen te staan. De vondst van dergelijke stenen in ongestoorde keileem bij de rotonde bij Gieten leidde in de kolommen van Grondboor en Hamer tot een wrevelige discussie tussen Rappol en de amateur-geoloog Schuddebeurs. Terwijl Rappol de vorming van flutes als eerste had geopperd, ontging het hem kennelijk, dat daarin een verklaring voor dat al eerder en elders beschreven verschijnsel school.

aanname dat die verwrongen keileem als min of meer verticale schotten in de ondergrond zou kunnen fungeren. Deze schotten zouden niet alleen scheidend behoeven te zijn, maar ook transporterend – de op satellietbeelden zichtbare structuren kunnen zeer breed zijn en het is niet ondenkbaar, dat er zgn. premorenaal zand in ingesloten is geraakt. Ook keileem bevat overigens zandnesten en gedraagt zich eerder als een zavel dan als een dichte leemafzetting. Dat alles wijst op belangrijke discontinuïteiten in doorlatendheid in het horizontale en in het verticale vlak.



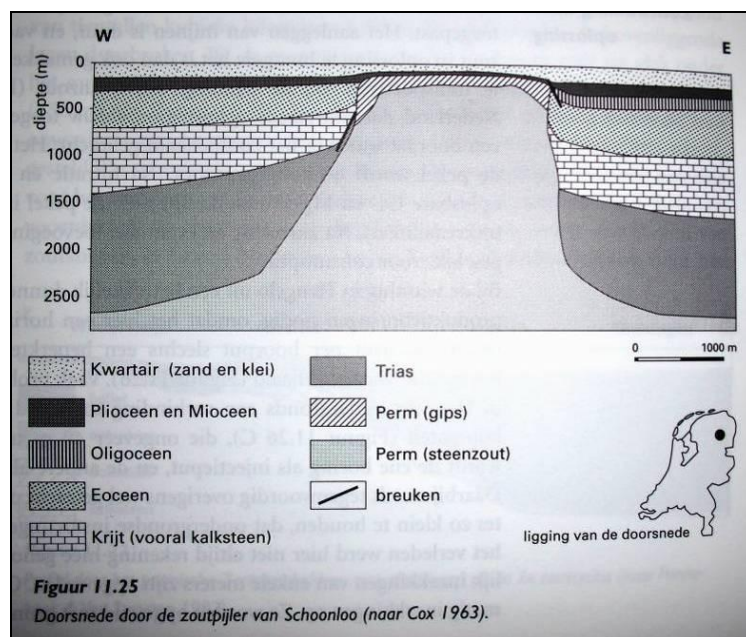
Figuur 130. Hoogtekaart Noord Nederland voorzien van interpretaties tav flutings.

Zoutdiapieren en grondwaterstelsels

Een zoutdiapier of zoutpijler of zoutkoepel is een grote (van 100 m tot enkele km brede) paddenstoelvormige structuur in de ondergrond, die hoofdzakelijk uit zout bestaat. Zoutdiapieren zijn in de ondergrond onder andere te vinden in het noorden van Nederland en Duitsland, en onder de aangrenzende delen van de Noordzee.

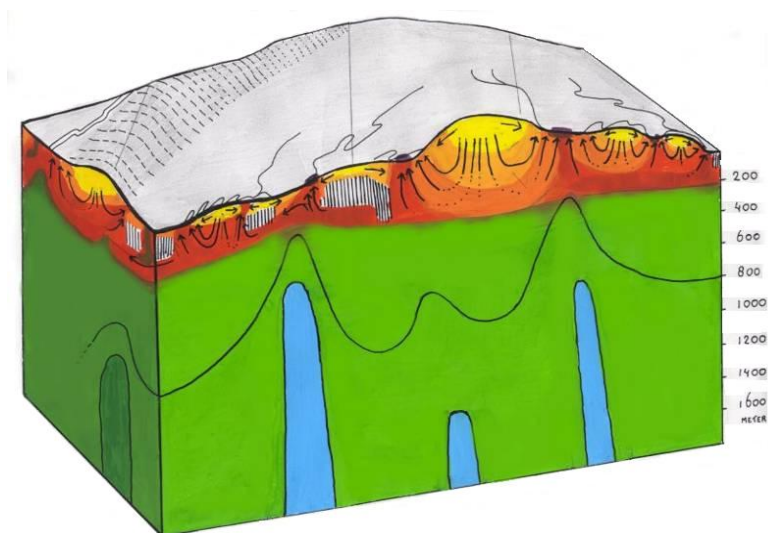


Figuur 131. Verbreiding belangrijkste zoutdiapieren in Noord Nederland.



Figuur 132. Doorsnede door de zoutdiapier van Schoonloo (Bron Berendsen 2000).

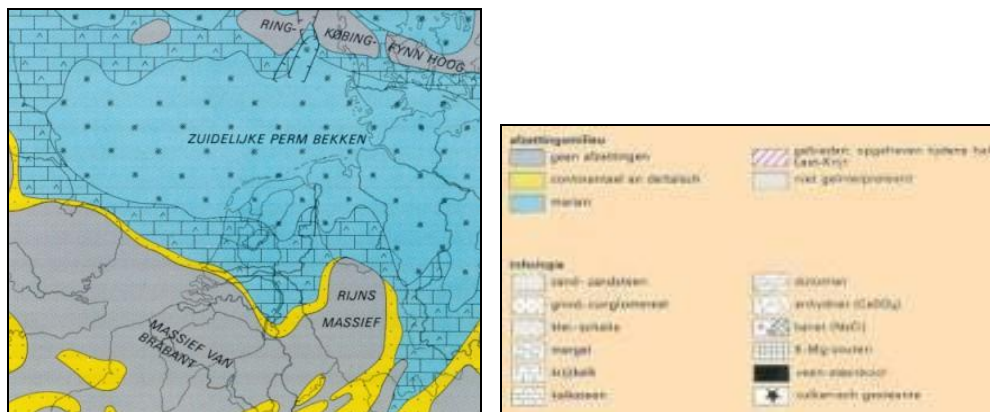
Zoutdiapieren zijn het gevolg van diapirisme, een verschijnsel dat optreedt als een zwaardere vloeistof over een lichtere ligt. De lichtere vloeistof zal in de vorm van paddenstoelvormige diapieren omhoog proberen te vloeien, door de zwaardere vloeistof heen. Omdat steenzout vergeleken bij omringend gesteente onder relatief lage druk al plastisch deformeert, kan het in de aardkorst op langere tijdschaal als een visceuze vloeistof beschouwd worden. Als er over een laag steenzout een dik pakket gesteente en sediment ligt (dit heeft een hogere dichtheid dan zout) zal het zout gaan vloeien en zullen diapieren vormen.



Figuur 133. Doorsnede (Grootjans e.a. 1988) met een schematisch beeld van de relatie tussen beken en de ligging van de zoutpijlars (blauw). De lijn geeft de invloed op grondwaterstroming weer.

In Noord-Nederland en Duitsland komen zoutdiapieren voor, die gevormd worden door zout afkomstig uit het geologisch tijdvak Zechstein (ongeveer van 270 tot 251 Ma). In die periode maakte West-Europa deel uit van het supercontinent Pangea, waar tegenwoordig de Noordzee ligt lag destijds een ondiepe, niet met de oceaan verbonden binnenzee (de zogenaamde Zechsteinzee).

Er heerste een droog woestijnklimaat, waardoor de zee bloot stond aan extreme verdamping, zodat o.a. zout werd afgezet. Dit zout is bedekt geraakt met een dikke laag andere sedimenten (soms tegen 6 km dik), waardoor de druk op het zout toenam met uiteindelijk diapirisme tot gevolg. Het zout komt tot een paar honderd meter onder het oppervlak omdat het slechts stijgt tot het niveau waarop de dichtheid van het sediment gelijk is aan de eigen dichtheid. Plekken waar zoutdiapieren voorkomen zijn bijvoorbeeld Ternaard, Heiligerlee, Winschoten, Ommelandervijk, Zuidwending, (Veendam), Hooghalen, Anloo, Gasselte, Schoonloo, Amen, Pieterburen en Onstwedde.



Figuur 134. Palaeogeografie van het Laat Perm (Bron: www.geologievannederland.nl).

Aangezien de zoutdiapieren tot hoog vanuit de ondergrond oprijzen hebben ze -samen met het wisselend waterkerend, dan wel watergeleidend karakter van flutings- een veelal onbekende, maar ook onderschatte invloed op het verloop van grondwaterpatronen. Dit is aangestipt door De Gans (1981) en ook Everts en de Vries (1991) vroegen in hun proefschrift aandacht voor drempels in de tertiaire basis van het watervoerend pakket en voor gaten in de Eemklei. Verder is het onderzoek naar het verband tussen oppervlakkige verschijnselen en ondergrondse structuren een goeddeels onverkend terrein. Eén van de weinige auteurs die nadrukkelijk de link heeft gelegd tussen de aanwezigheid van zoutdiapieren in de ondergrond en het functioneren van hydrologische systemen is Engelen (1984)

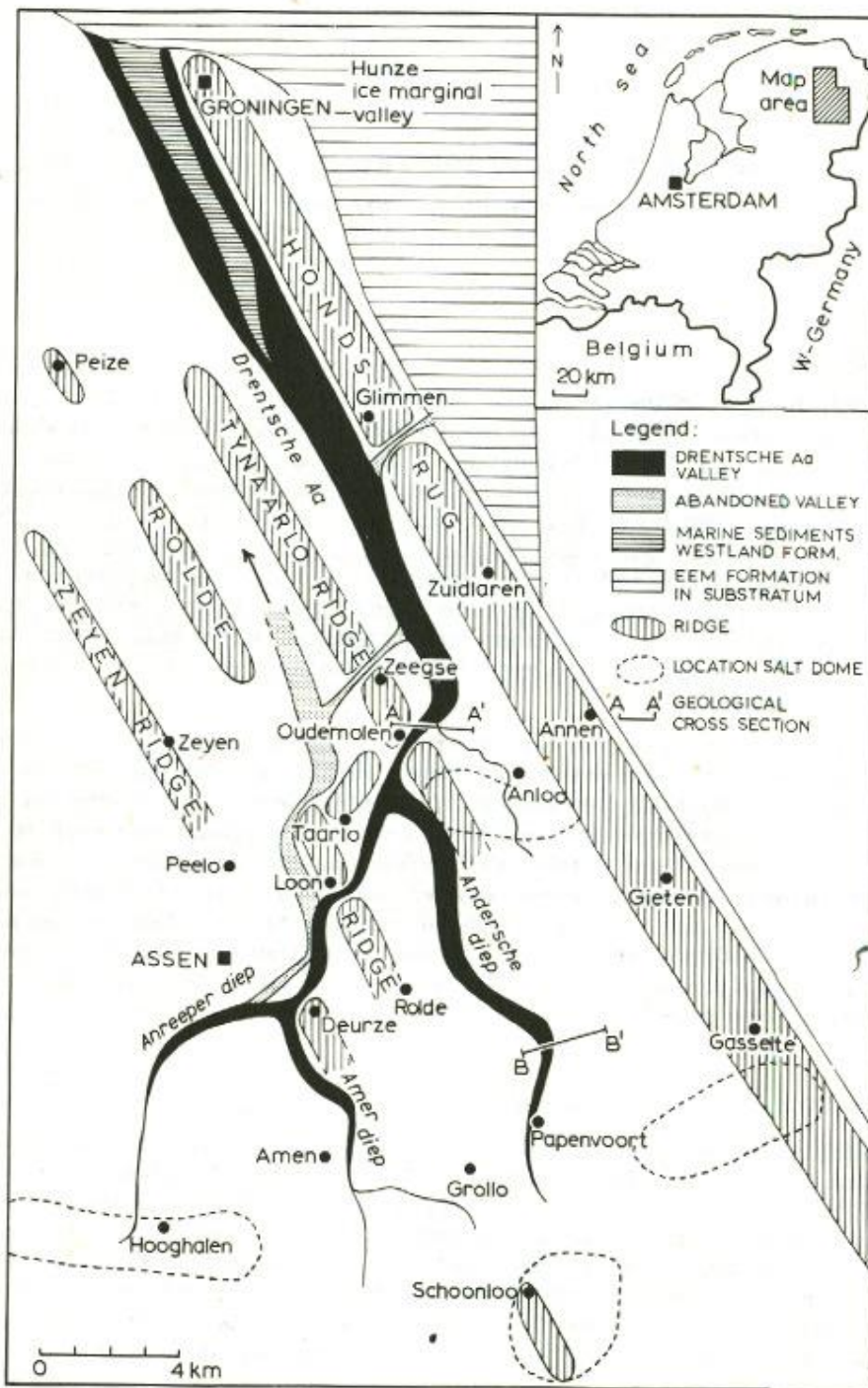


Fig. 1 The Drentsche Aa drainage basin. The ridges are idealized according to their appearance on topographic maps. Location of the salt domes according to Ter Wee (1972).

Figuur 135. Locatie enkele zoutdiapieren in relatie tot de Hondsrug (Bron: De Gans 1981).

15 Literatuur

- Baaijens, G.J. & Van der Molen, P.C. 2004. Landschapsecydrologisch Structuurbeeld Noord-Brabant.
- Baaijens, G.J. & Van der Molen, P.C. 2004. Waterbergings-kansenkaart op basis van het Landschapsecydrologisch Structuurbeeld Noord-Brabant. Provincie Noord-Brabant 2004.
- Baaijens, G.J. & Van der Molen, P.C. en Geensen, T. 2007. Het Bossche Broek. Gebiedsanalyse en voorstellen voor schraallandbeheer. Rapport tbv Dienst Landelijk Gebied en Staatsbosbeheer.
- Baaijens, G.J. (1987): Effecten van ontwateringswerken in de ruilverkaveling Ruinerwold-Koekange. RIN-rapport 87/11. Leersum.
- Baaijens, G.J. (1997): Waterbeheersing rond de Haler Leek. In: Havelaar et al., op. cit. p. 113-136.
- Baaijens, G.J. (2001): Goed kijken kan nooit kwaad. Over nepmeanders en ander ongerief. Kenmerken 8, 3: 8-11.
- 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. Rapport Expertisecentrum LNV, Wageningen.
- Baaijens, G.J., F.H.Everts & N.P.J. de Vries (2003): Vloeiweidesysteem Klein Bieler – leven op kwelkraters. Lab. voor Plantenoecologie RU Groningen/ EGG consult everts & de vries.Groningen.
- Beekman, A.A. (1907): Het dijk- en waterschapsrecht in Nederland vóór 1795. Tweede deel, sub lemma sluis.Den Haag.
- Berendsen, H.J.A. & E. Stouthamer (2001): Palaeogeographical development of the Rhine-Meuse delta, The Netherlands. Assen.
- Bieleman, J. (1987): Boeren op het Drentse zand 1600 – 1910.
- Bloemendaal, F.H.J.L. & J.G.M. Roelofs (1988): Waterverharding. P. 147-158 in: F.H.J.L. Bloemendaal & J.G.M. Roelofs (red.): Waterplanten en waterkwaliteit. Nat.hist.Bibl. KNNV no. 45. Utrecht.
- Burny, J. (1999): Bijdrage tot de historische ecologie van de Limburgse Kempen (1910-1959). Publ. Nat.hist.Gen. Limburg Reeks 42, afl. 1. Maastricht.
- Buurman P. (1970): Pollen analysis of the Helvoirt river valley. Geol.& Mijnb.49, 5:)381-390
- Cals, M.J.R. & J.G.M.Roelofs(1989): Ecohydrologisch onderzoek Noorderpark. Med.190 LID. Utrecht/Nijmegen.
- Cancrinus, S. (1956): Dwingeloo. Schetsen van verleden en heden. Meppel.
- D.Edelman, D. (1995): Geologie rond Tilburg. Grondboor en Hamer 49, 3/4: 74- 76.
- De Vries, J.J. (1982): Anderhalve eeuw hydrologisch onderzoek in Nederland. Amsterdam.
- Edelman, C.H. (1943): De geschriften van Harm Tiesing over den landbouw en het volksleven van Oostelijk Drenthe. Assen.
- Elerie, J.N.H. (1998): Weerbarstig land. Een historisch-ecologische landschapsstudie van Koekange en de Reest. Groningen.
- Engelen, G.B., J.M.J.Gieske & S.O.Los (1989): Grondwaterstromingsstelsels in Nederland. Achtergrondreeks Natuurbeleidsplan nr. 2. Den Haag.
- Fockema Andrea, S.J. e (1950): Studien over waterschapsgeschiedenis II: Salland. Leiden.
- Hijszeler, C.C.J.W. (1966): Mander en omgeving, gem. Tubbergen. Versl.Med.Ver.Be oefen.Ov.Regt en Gesch. 81: 1-50 en (1970): De buurschap Mander en omgeving in de historie. Op.cit.85: 1-160.

- Hijszeler, C.C.J.W. (1966): Mander en omgeving, gem. Tubbergen. Versl.Med.Ver.Beoef. Ov.Regt en Gesch. 81: 1-50
- Hijszeler, C.C.J.W. (1970): De buurschap Mander en omgeving in de historie. In op.cit. 85: 1-160.
- Hooghoudt, S.B. (1952): Waarnemingen van grondwaterstanden voor de landbouw. Versl. Techn. Bijeenk. 1-6 Cie Hydrol. Ond. TNO: 94-109
- Karafiat, L.L. h & E.A. Nowatzki (1978): Soil mechanics for off-road vehicle engineering. Ser. Rock a. Soil Mech. Vol.2 (1974/77)no. 5.
- Kuenen, P.H. (1945): De Drentsche riviertjes en het meandervraagstuk. Verh. Geol.-Mijnb. Gen. Geol. Ser. 14: 313-336.
- Lamers, L.P.M. (2001): Tackling biogeochemical questions in peatlands. Diss. KUN. Nijmegen.
- Lanjouw, H. & H. van Westing (1995): Voorden in Drenthe. NDV 112: 36-50.
- Lely, C. (1884): Ontwerp tot verbetering van de Schipbeek in het belang der afwatering van het waterschap De Schipbeek. Zwolle.
- Logemann, D. et al. (1981): De grasmat van het Zuiderland. Een discussie over voor en tegen van een polderpeilverlaging in het Westerkwartier. Wetenschapswinkel Biologie RU Groningen. Haren.
- Lorié, J. Hoe ontstonden de vennen van Oisterwijk? Versl. Alg Verg. Natuurmonumenten 1918-1922, p. 73-81.
- Polak, B. (1963): A buried Allerød pine-forest. Act. Bot.Neerl. 12: 533-538
- Prov. Dr. en Asser Courant 13-9-1859.
- Stuurman, R.J. J.E.M.Peeters & J.W.T.M.Reckman (1997): Watermolenafhankelijke standplaatsen in Noord-Brabant. Stromingen 3, 3: 11-30.
- Tijms, W. (1992): De landbouw in het kerspel Diever (Middeleeuwen – 1612). In: J. Bos et al. (red.): Geschiedenis van Diever. Zuidwolde.
- Van den Berg, J.P. (1986): Het water en Staphorst. In: N.J. Driessen (red.): Van Reestdal tot Beentjesgraven; van Kievitshaar tot Kievitsnest: geologie, natuur, cultuur en historie in de gemeente Staphorst. Zwolle; pp. 21-47.
- Van Dijk, J. (z.j.): Vennen in een krans van groen. In: Hier is Oisterwijk, p. 28- 41. Zwarte Beertjes 520. Utrecht.
- Van Dorsser, H.J. (1956): Het landschap van westelijk Noordbrabant. Diss. RU Utrecht
- Van Esch, A.H.J.C. (1974): Het bepalen van de bodemdichtheid in verschillende bodemtypen met de penetrograaf. RIN, Leersum.
- Van Heuveln, B. (1965): De bodem van Drenthe. Wageningen.
- Van Wijk, W.R. & W.J. Derksen (1963): Sinuisodal temperature variation in a layered soil. P. 171-209 in: W.R. van Wijk (ed.): Physics of plant environment. Amsterdam.
- Visser, W.A. & J.I.S.Zonneveld (1997): Stevins Stofroerselen des Eertcloots en de aardwetenschappen. Grondboor en Hamer 51, 3/4: 51-56.
- Visser, W.C. (1958): De landbouwwaterhuishouding van Nederland. Rapport no. 1 Comm. Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland – TNO.
- Von Frijtag Drabbe, C.A.J. (1972): Luchtfotografie. Den Haag,
- Westeringh, W. van de (1984): Ontstaan, ontwikkeling en ligging van de Winterswijkse beken. Geogr.Tijdschr. 18, 4: 294-308.
- Westhoff, V. & H. de Miranda (1938): Kotten, zoals de NJN het zag. Amsterdam.
- Zuurdeeg, N. (1991a): Oud boeren-waterbeheer in de Achterhoek. Natuur en Landschap in de Achterhoek en Liemers 52: 44-51
- Zuurdeeg, N. (1991b): Water wijst de weg. Natuur en Landschap in de Achterhoek 5, 3/4: 98-106.