

5 Overstroming Gelderse Vallei in 1855

In dit hoofdstuk wordt kennis over historisch waterbeheer toegepast om de historische overstroming van 1855 in de Gelderse Vallei te reconstrueren. Hiervoor is een hedendaags hydraulisch model toegepast in een historische context. De modelresultaten zijn gebruikt om de effecten van deze overstroming op natuur en landschap te beschrijven. Door deze reconstructie kunnen de daadwerkelijke effecten van overstroming worden beschreven die anders alleen met scenario's kunnen worden berekend. Dit geeft inzicht in de bruikbaarheid van historische data in combinatie met hedendaagse modellen.

De pilot Gelderse Vallei is tevens onderdeel van een studie naar de verspreiding van stoffen en organismen via waterberging en overstroming (SEO 2003, ongepubliceerd).

Achtergrond

Dijkdoorbraken in het rivierengebied waren in het verleden niet ongewoon. Ze werden vaak veroorzaakt door grootschalige ijsvorming in en langs de hoofdstroom. De ijzetting werd bevorderd door het grillige verloop van de rivieren en de aanwezigheid van zandbanken. De begroeiing en bebouwing van buitendijkse oevers, met riet, geriefhout of steenovens vergrootte het probleem nog. Door de omvang van de ijsvorming ontstonden er soms dammen van enkele kilometers lengte in de rivier. Het ijs werd bij plotselinge dooi door smeltwater en kruierend ijs uit de bovenloop tot grote hoogten en breedten opgestuwd. Bij hydraulische knelpunten, zoals bij Rhenen, bleven de ijsmassa's steken, waardoor stroomopwaarts dijkdoorbraken ontstonden. Deze kwamen vaak op meerdere plaatsen voor en werden zowel veroorzaakt door de druk van het ijs op de dijken als door oplopende waterpeilen. Soms werd geprobeerd deze ijssdammen op te blazen om de doorstroming weer op gang te brengen.

In de winter van 1855 vonden er in het rivierengebied op grote schaal overstromingen plaats. Eén van deze dijkdoorbraken langs de Rijn vond plaats in de Grebbedijk op 5 maart 1855. Het gevolg van deze doorbraak was dat de Gelderse Vallei tot aan Amersfoort onder water liep.

5.1 Gegevensbronnen

De overstroming van 1855 is uitvoerig beschreven en gekarteerd. Zowel voor als na de overstroming zijn peilmetingen verricht en is het overstroomde gebied gedetailleerd in kaart gebracht. Voor deze pilot zijn de volgende gegevensbronnen gebruikt:

- Afwatering Gelderse Vallei, rapport van de Commissie voor de Gelderse Vallei, ingesteld bij beschikking van den Minister van Binnenlandsche Zaken en Landbouw van 16 april 1931.

- Beekman A.A., 1948. De wateren van Nederland. Martinus Nijhoff, Den Haag.
- Sloet L.A.J.W. baron en H.F. Fijnje, Beschrijving van den Watervloed in Gelderland in maart 1855.
- Poll W. van de, 1855. Schets van den Watervloed in Gelderland, Noord-Brabant, Utrecht en Zuid-Holland.
- Algemene Dienst Rijkswaterstaat, 1968. Beschrijving van de provincie Utrecht behorende bij de Waterstaatskaart.
- Deys, H.P. 1988 De Gelderse Vallei. Geschiedenis in oude kaarten... HES, Utrecht.

Vanwege het verkennende karakter van deze pilot zijn de volgende bronnen niet geraadpleegd. Ze bevatten vermoedelijk aanvullende informatie:

- Verslag over den toestand der provincie Utrecht in 1855, gedeeltelijk geciteerd via bron 1.
- Archieven waterschap Vallei en Eem
- Waterstaatskaart 1879 (Kwartblad 2 Rhenen)

5.2 Hydrologische historie van het gebied

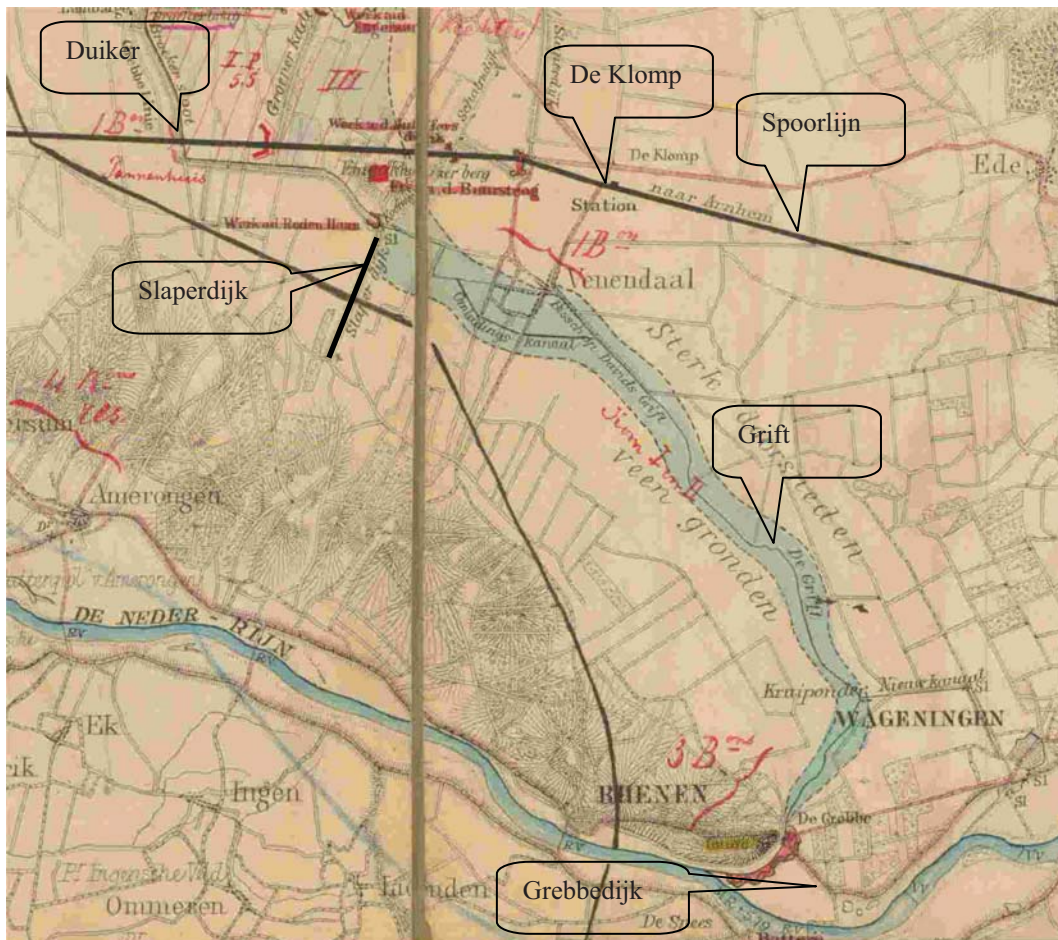
De Gelderse Vallei wordt in het oosten en westen begrensd door stuwwallen resp. de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug. Aan de zuidkant loopt de Rijn en de noordelijke begrenzing wordt gevormd door de randmeren, voorheen de Zuiderzee. Waterhuishoudkundig was de Gelderse Vallei voor 1550 op te splitsen in een noordelijk en een zuidelijk stroomgebied. Ter hoogte van Veenendaal lag een waterscheiding die uit een dik veenpakket bestond en dat aansloot bij een stuwwalrelict, de Emmikhuizerberg (Stol, 1992). De afwatering van het noordelijk deel van de Vallei vond plaats via tal van beken die via de Eem bij Amersfoort uitmondden in de Zuiderzee. Soms leidden dijkdoorbraken vanuit de Zuiderzee tot overstromingen in de noordelijke Vallei. De afwatering van het zuidelijk stroomgebied van de Vallei verliep via de Kromme Eem, die bij Rhenen via de Grebbesluis in de Rijn uitmondde. Ook vanuit de Rijn traden voor 1550 soms overstromingen op. Deze reikten tot aan Veenendaal.

Door verving (Veenendaal) in de 16^{de} eeuw van het scheidende veenpakket daalde het maaiveld met meerdere meters en verdween de belangrijke waterscheiding in de Vallei. Hierdoor werden beide stroomgebieden hydrologisch met elkaar verbonden tot een nieuw stroomgebied. Deze verbinding werd door de aanleg van turfvaarten (Bisschop Davidsgrift, Schoonebekergrift) versterkt. Na de turfwinning bij Veenendaal speelde de Grift een belangrijke rol in de ontwatering van de Vallei. Deze functie is later (1937-1942) overgenomen door het Valleikanaal en genormaliseerde beken. Eerdere plannen (1933) om in de Vallei een groot scheepvaartkanaal aan te leggen tussen de Rijn en de Zuiderzee (Eem-Rijnkanaal) zijn gestrand, ondermeer door tegenwerking van Amsterdam (Beekman, 1948). Dit initiatief is in de vorm van het Amsterdam-Rijnkanaal (1933-1952) elders uitgevoerd. De Grebbedijk is 7 keer doorgebroken, namelijk in 1595, 1602, 1643, 1651, 1682,

1711 en in 1855. Daarnaast zijn er tal van bijna doorbraken geweest, waarvan die in 1998 de bekendste is.

Na de doorbraak in 1651 is de Slaperdijk aangelegd. Hierdoor werd de Vallei wederom in twee delen opgesplitst. De functie van de Slaperdijk was om o.a. Amersfoort te beschermen tegen een overstroming van de Rijn bij een eventuele doorbraak van de Grebbedijk. Door de aanleg van de Slaperdijk werd de afwatering van het zuidelijke deel van de Gelderse Vallei (Binnenveld) in noordelijke richting bemoeilijkt. In 1744 is voor militaire doeleinden de Grebbelinie aangelegd. Dit stelsel van kaden en sluizen was bedoeld om vijandelijke invallen vanuit het oosten te vertragen door het opzetten van inundatievlakken. Door het grote hoogteverschil tussen de zuidelijke en noordelijke Vallei (circa 6 meter), was compartimentering noodzakelijk om leegloop in noordelijke richting te voorkomen. De toepassing van de Grebbelinie in 1793 om de Franse troepen tot staan te brengen mislukte door te lage waterstanden in de Rijn. Gemiddeld bleek er maar 83 dagen per jaar voldoende water in de Rijn te staan om de inundatie tot stand te brengen. Ook bleek het vullen van het meest zuidelijke compartiment gemiddeld 25 dagen te duren voordat het naastliggende compartiment gevuld kon worden. Dit aspect is in de pilot niet verder bekeken, maar zou bij een goed werkend 'historisch hydraulisch model' wel kunnen worden berekend. Dat geldt ook voor de ijsvorming die in 1794/1795 in de inundatievlaktes optrad, waardoor de Franse troepen alsnog de stellingen konden innemen.

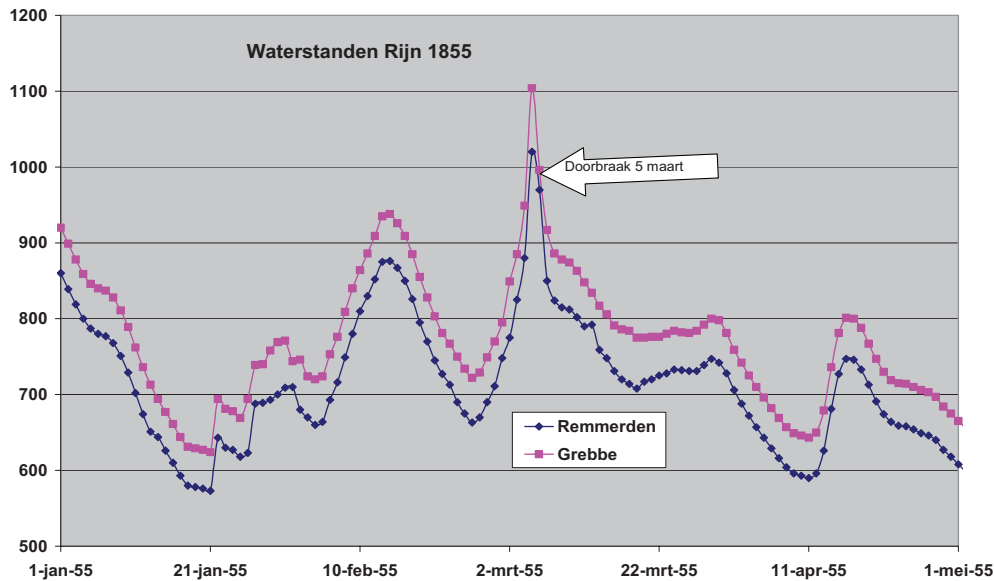
Tot slot is tussen 1843 en 1845 de spoorlijn Utrecht-Arnhem aangelegd. In de Gelderse Vallei is deze spoorlijn op een dijklichaam aangelegd. Hierdoor is er in 1845 nog een extra compartiment in het gebied ontstaan (figuur 5.1 resp. 5.3). Deze spoordijk werd op twee plaatsen doorsneden: door een duiker in de Grift en de spooronderdoorgang bij 'De Klomp' (Veenendaal).



Figuur 5.1 Ligging van enkele dijken en de deel inundatiekammen van de Grebbelinie in de Gelderse Vallei.

5.3 Beschrijving van de doorbraak in de Grebbedijk in 1855

De doorbraak van de Grebbedijk laat zich goed aflezen uit de waterstanden uit die tijd (figuur 5.2). De Rijn had in die tijd nog een vrije afvoer. In deze figuur is duidelijk te zien dat de hoogwatergolf een piekvorm heeft en dus door een stremming gevolgd door een doorbraak wordt veroorzaakt. De overstroomde gebieden in de Gelderse Vallei, maar ook elders in de Betuwe, hebben daardoor de functie gehad die we nu noodoverlopen zouden noemen.



Figuur 5.2 Waterhoogten bij de Grebbe en Remmerden (5 km stroomafwaarts) in cm +AP tussen 1 januari 1855 en 1 mei 1855 (Bron internet)

De belangrijkste bron die de doorbraak in detail beschrijft is het verslag over “den toestand der provincie Utrecht in 1855 (bron: 1,1931)”. Onderstaande tekst is hieruit integraal overgenomen. De data die hierin worden genoemd zijn van cruciaal belang bij de latere modellering, zowel voor de schematisatie als voor de calibratie van het model. Met A.P. wordt Amsterdams peil bedoeld (zie bijlage 2).

“Den 5. Maart, des voormiddags te 6 ure, geraakte het ijs in beweging met een waterstand van 11,00 el boven A.P., welke steeds hooger werd, tot dat op drie plaatsen eerst de noodkade en later de dijk zelf boven den Dooven 3 ure des namiddags, bij een waterstand van 11,215 el boven A.P. of 0,215 el boven noodpeil, doorbrak, terwijl het binnenwater slechts een hoogte van 6,25 el boven A.P. aangaf.

De eerste geringe doorbraak, werd bij zulk een groot verval spoedig dieper en groeide aan tot eene wijdte van 1,65 el en eene diepte van 5,00 el onder A.P.

In 4 uren tijds viel het water buiten de Grebbesluis, ten gevolge van deze doorbraak en van die van den Marschdijk, van den dijk te Lienden, te Maurijk en te Ingen, tot 10,15 el boven A.P. weg, en rees binnen tot 7,90 el boven A.P.

Zestien uren na de doorbraak begon het water aan den Rooden Haan merkbaar te stijgen. De schotbalkensluis aldaar was door de zorg van den aan de Grebbesluis gestationeerden luitenant der genie bezorgd en de waterverdeling geregeld.²

De naast de sluis liggende heulen werden door een kistdam aan de buitenzijde tegen doorbraak bezorgd.

Het vloedwater rees voor de sluis aan den Rooden Haan en dus ook in de geheele kom van Geldersch en Stichtsch Veenendaal, den 5., 6., 7., 8., 9. en 10. Maart, tot hoogte van 5,17, 7,00, 8,50, 8,80, 8,93 en 9,05 el boven A.P.

² Dit kan niet juist zijn.

De Grebbesluis werd tot waterlozing gereed gemaakt; doch dewijl de doorbraak nog steeds tot den 10. Maart inliep, zoo moest de sluis tot dien tijd gesloten blijven.

Bij het sterke rijzen van het water voor den Slaperdijk waren de bruggen aan de Klomp en het fort Buursteeg niet in staat het noordwaarts opdringende water door den spoorweg een doortogt te verleen.

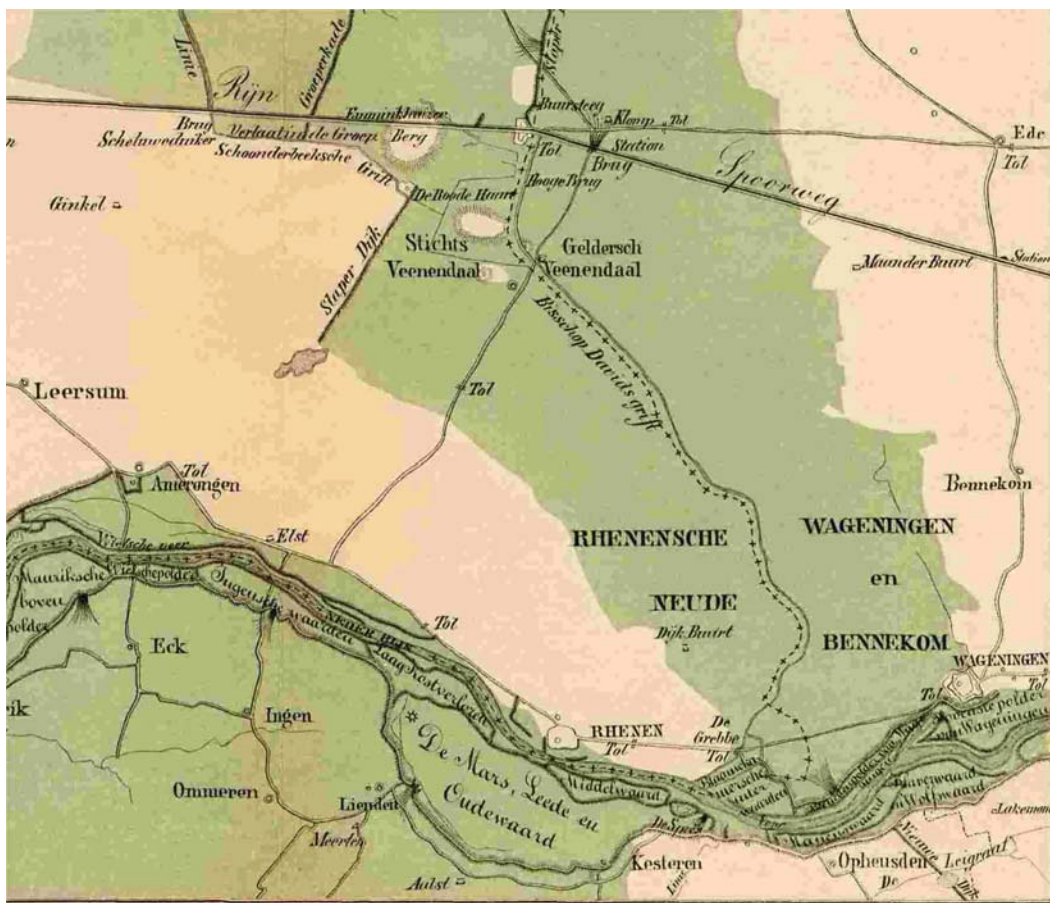
Hierdoor stroomde in den nacht van den 7, op den 8. Maart de grond 2,00 el diep onder de brug bij de Klomp weg, en viel daar aan de oostzijde een gat van 10 el en aan de westzijde een gat van 15 el breedte in de baan. Door den stevigen bouw van de brug is dezelve blijven bestaan, doch het vervoer over de spoorweg was gestremd. Het water liep daarna over den straatweg van de Klomp naar Renswoude en tegen het noordelijk gedeelte van den Slaperdijk. De daarin liggende heulen waren inmiddels met schuiven, rijshout en aarden dammen afgesloten. De schotbalkensluis aan de Daatselaar was gedigt. Het water liep tot 0,11 el onder de rollaag van genoemde sluis, doch tevens om de kop van den Slaperdijk, langs de op verscheidene plaatsen gedigte Groeperkade, naar de straatweg tusschen Renswoude en Scherpenzeel, en verder naar de Luntersche beek.

Den 9. Maart, des avonds te half 10 ure bezweek de duiker in de Munnikenbeul bij een waterstand voor dezelve van ongeveer 8,80 el boven A.P. Het gat werd 32 el wijd bij een diepte van 8,70 el onder de dijkskruin. Renswoude werd overstromd, en door verscheidene in de Groeperkade gevallen gaten liep het water langs Scherpenzeel en den Grebbeliniedijk naar Woudenberg en Amersfoort.

Het water vloeide, zowel ten oosten als ten westen van den liniedijk, naar den Heiligenberg, Stoutenburg en Amersfoort, daar de doorbraken te Lambalgen, boven Bruinenberg, 2 beneden Bruinenberg, te Asschat en bij de Bruinenburgersluis, als het ware, eene opene gemeenschap daargestelden.

De kade om den uiterwaard, boven de doorbraak bij de Grebbe, keerde den 11. Maart het rivierwater, zodat alstoen door de Grebbesluis en de schotbalkensluis aan den Rooden Haan de wateraftapping is begonnen.”

Hieruit blijkt dat de overstroming in fasen heeft plaatsgevonden, waarbij steeds andere compartimenten zijn doorgebroken en overstromd. Een interessant detail is daarbij de doorbraak van de spoordijk Utrecht-Arnhem. Deze is doorgebroken op de plek waar zich veen in de ondergrond bevond en waar zich nu het belangwekkende natuurgebied ‘Het Meeuwenkampje’ bevindt.



Figuur 5.3 Detail van de het overstroomde gebied (groen) als gevolg van de doorbraak van de Grebbedijk (Sloet, 1855)

5.4 Modelling van de doorbraak in de Grebbedijk in 1855.

Voor de modellering van de Gelderse Vallei is gebruik gemaakt van het hydraulische model SOBEK. Het is ontwikkeld door WL Delft. Dit model kent twee modules, namelijk de modules Channel Flow (CF) en de Overlandflow module (OF). Voor een volledige beschrijving van het programma wordt verwezen naar de handleiding (WL Delft Hydraulics, 2001). Hier volgt beknopt de werking van, Channel Flow-(CF) en Overlandflow module (WQ).

De CF-module berekent de afvoer in de waterlopen. Bovenstrooms van de waterlopen wordt een randvoorwaarde toegekend (peil of een debiet). Op basis van het verhang, de afmeting van de waterlopen en wandruwheden berekent de CF-module waterstanden in een één-dimensionaal oppervlaktewaternetwerk. Hiertoe worden de Saint-Venant vergelijkingen (continuïteit- en momentumvergelijking) numeriek opgelost. Het oppervlaktewaternetwerk wordt opgebouwd uit knooppunten en tussenliggende segmenten. Waterstanden worden berekend op de knooppunten en debieten worden berekend op de tussenliggende segmenten, met een gemiddelde lengte van 150 meter.

De Overlandflow-module koppelt het 2D-hoogtegrid (terreinhoogte) met de waterlopen, waardoor waterstroming van en naar het landoppervlak mogelijk is. De stroming van water over land wordt berekend door de gradiënt van waterhoogten en de weerstanden van het landoppervlak.

Modelgebied en modelinvoer

De grootte van het modelgebied is bepaald aan de hand van de maaiveldhoogte. Als begrenzing is het gebied aangehouden dat lager ligt dan 10 meter +NAP. Deze hoogte is afgeleid van het maximale peil in de Rijn (circa 11 meter +NAP) op het moment van de doorbraak in 1855 en de hoogste waterstanden elders in het gebied. De zuidzijde van het gebied wordt begrensd door de Grebbedijk. De noordzijde is globaal begrensd door de maximale uitbreiding van het overstroomde gebied. Het modelgebied wordt weergegeven in figuur 5.4. In het SOBEM model wordt gewerkt met rastercellen. De grootte hiervan bepaalt in belangrijke mate de rekentijd. Er is gekozen voor een grootte van 150 meter grids. Alle andere vlakdekkende informatie is eveneens naar deze 150 meter grids geaggregeerd.

Voor de modelschematisatie en calibratie zijn de volgende gegevens gebruikt:

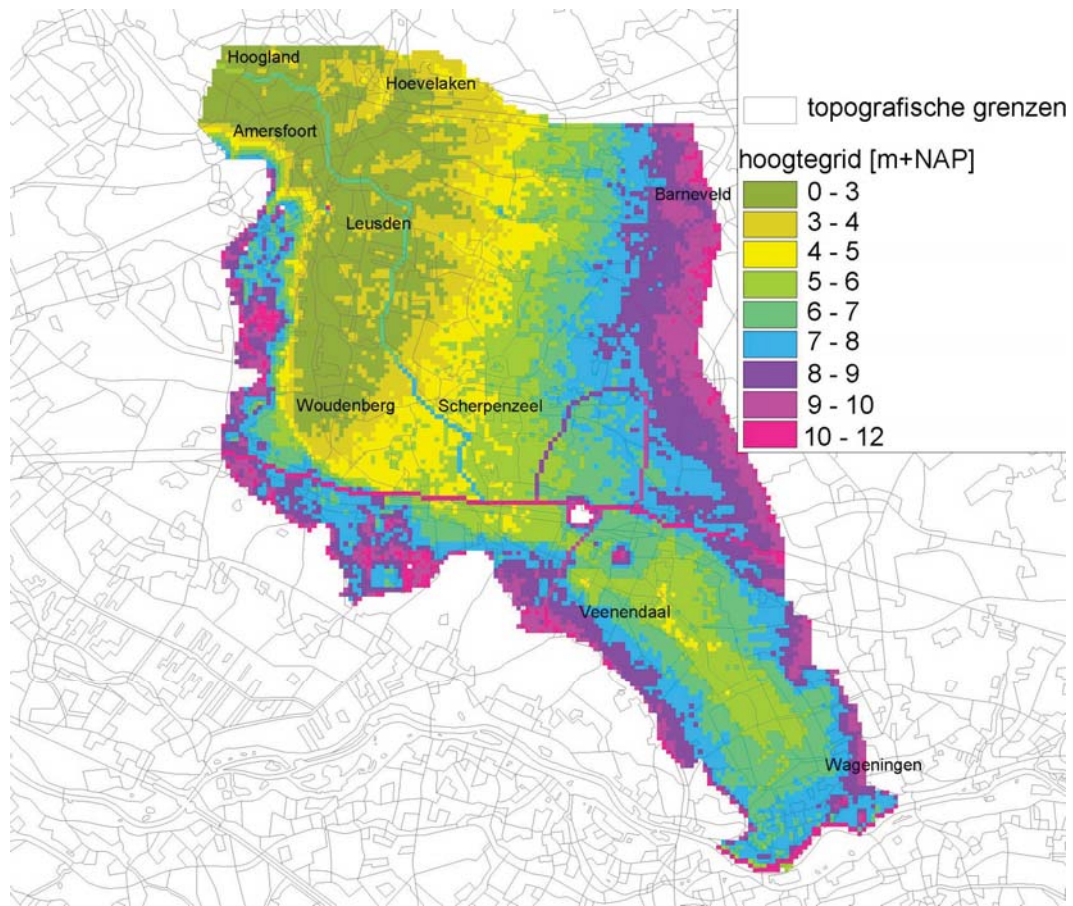
- maaiveldhoogte
- grondgebruik
- topografie
- dimensionering van elementen
- peilgegevens

Gegevens over de geohydrologie en de meteorologische condities uit 1855 zijn niet in het model opgenomen. Ze hebben wel een rol gespeeld bij de duur van de overstroming. Zo heeft de opstuwung van de Zuiderzee geleid tot overstroming vanuit de Zuiderzee en tot vertraagde afvoer vanuit de Gelderse Vallei. Verdamping of neerslag heeft de drooglegging mogelijk versneld of vertraagd.

Maaiveldhoogte

De maaiveldhoogte in het model is ontleend aan de huidige maaiveldhoogten, afkomstig van het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN). Voor gebieden die nu bebouwd zijn, is de maaiveldhoogte afgeleid uit de directe omgeving bij gebrek aan oude gegevens. Enkele metingen afkomstig van de topografische kaarten rond 1900 (Bonnekaarten), doen vermoeden dat het maaiveld plaatselijk wel 10-20 cm hoger lag dan nu. De maaiveldhoogten zijn geaggregeerd van 25 meter grids naar de 150 meter grids (figuur 5.4).

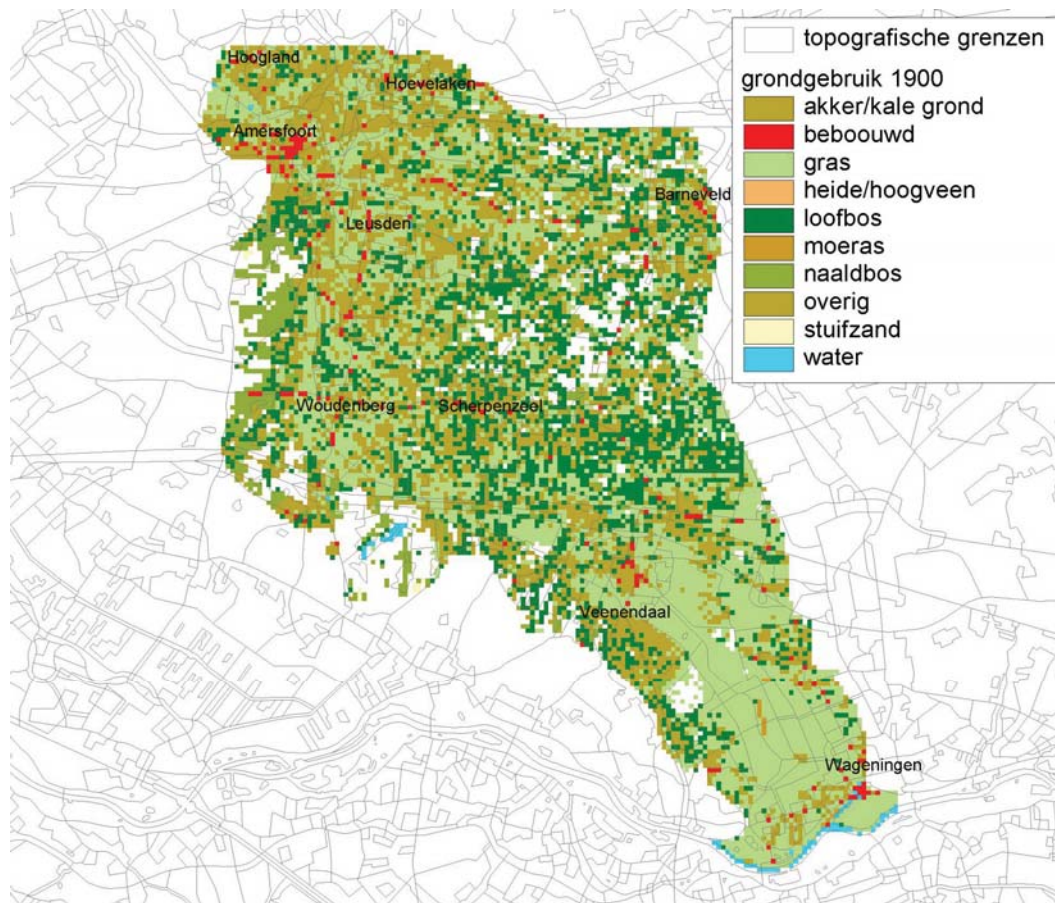
De dijken zijn in het model ook als hoogtegrid van 150x150 meter opgenomen. Hiervoor is het hoogtegrid handmatig aangepast. De hoogtegegevens van de dijken zijn ontleend aan incidentele metingen op de Bonnekaarten rond 1900.



Figuur 5.4 Hoogtegrid modelgebied

Historisch grondgebruik

Het historische grondgebruik is gebruikt om de hydraulische weerstand van de begroeiing te bepalen. De topografische kaart van 1850 (TMK 1850) geeft daarover informatie, maar is niet digitaal beschikbaar. Voor 1900 is echter een landsdekkend digitaal bestand met grondgebruik beschikbaar (Knol et al., 2004). Dit bestand lijkt een bruikbare bron om het landgebruik in 1855 redelijk te benaderen. Uit een visuele vergelijking van de analoge kaart van 1850 met HGN-1990 blijkt dat er in dit gebied tussen 1850 en 1900 geen grote veranderingen in grondgebruik is opgetreden. Het grondgebruik in het HGN bestand is daarvoor geaggregeerd van 50 meter naar 150 meter grids (figuur 5.5).



Figuur 5.5 Grondgebruik modelgebied (Knol et al., 2004)

Het grondgebruik is omgezet naar een hydraulische weerstand volgens de waarden uit tabel 5.1 (Heynert, 1991).

Tabel 5.1 Weerstandswaarden (K) voor verschillende typen grondgebruik

Klasse HGN	k-waarde (m)
Gras	0,3
akker/kale grond	0,3
heide/hogveen	0,3
Loofbos	10
Naaldbos	10
Bebouwd	0,1
Water	0,1
Moeras	0,3
Stuifzand	0,1
Overig	0,1

SOBEK converteert de k -waarden naar de coëfficiënt van De Chézy (C), hierdoor is een berekening van stijghoogten en debieten mogelijk. ($Q = A * C * \sqrt{RS}$)

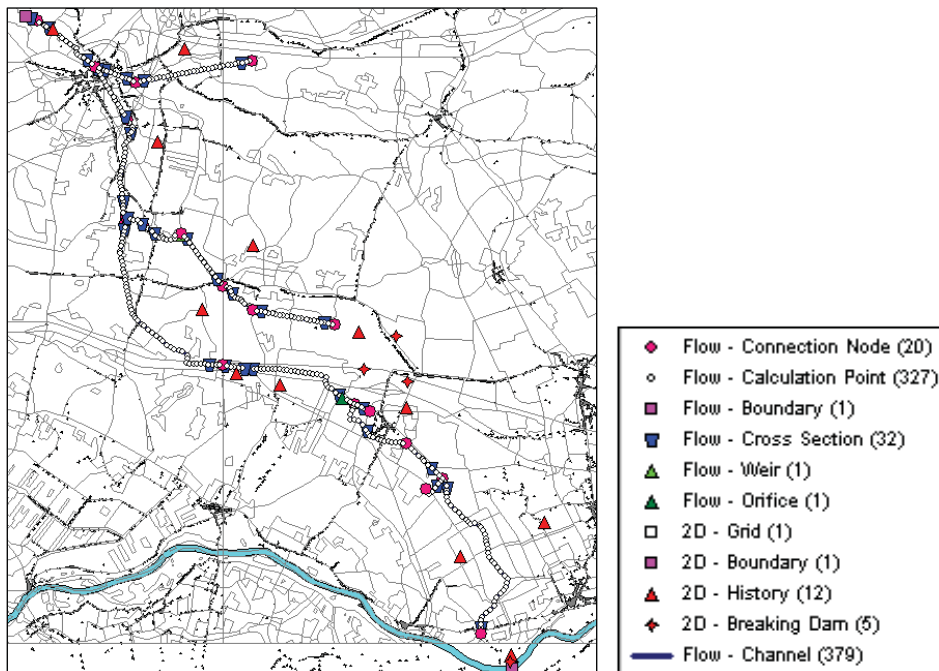
$$C = 18 \log (12R/k) \text{ of } C = 18 \log (12b/k) \quad \text{White Colebrook}$$

Hierin is:

- A = Nat oppervlak [m^2]
- C = De Chezy coëfficiënt [$m^{1/2}/s$]
- R = hydraulische straal: A/P [-]
- S = stijghoogtegradiënt : [-]
- P = Natte omtrek [m]

Topografie

De topografische gegevens zijn ontleend aan het bestand HGN-1900 wat betreft de verstedelijking. De overige topografie zoals de ligging van dijken, kunstwerken en relevante waterlopen is ontleend aan de TMK-1850. Er zijn in het model drie hoofdwaterlopen onderscheiden: de Grift, Barneveldse beek en Lunterse beek.



Figuur 5.6: Sobek-elementen

Dimensionering kunstwerken en waterlopen

De capaciteit van de waterlopen is afhankelijk van de afmeting van de waterlopen (diepte, bodembreedte en talud) en het verhang. Gegevens hierover zijn deels ontleend aan archieven en een deels geschat.

De Grift en de Luntersche en Barneveldse Beek zijn als de belangrijkste historische waterlopen gemodelleerd. Voor de dimensionering hiervan is uitgegaan van verschillende bodembreedtes met een talud van 1:2. De weerstand bedraagt $40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$. De initiële waterstand was 0. De geschematiseerde waterlopen werden in de praktijk nog gebruikt voor beperkte scheepvaart met trekschuiten. Voor de gemodelleerde waterlopen zijn de volgende bodemhoogten en bodembreedte gebruikt:

- Grift tot samenkomst met Luntersche Beek (bodemhoogte van 7.28 tot 0,63 m+NAP, bodembreedte 0,75 m)

- Grift na samenkomst met Luntersche Beek (bodemhoogte van 0,63 tot 0 m+NAP, bodembreedte 3,00 m)
- Luntersche Beek (bodemhoogte van 5,33 tot 2,02 m+NAP, bodembreedte 0,50 m)
- Barneveldsche Beek (bodemhoogte van 1,50 tot 0,33 m+NAP, bodembreedte 3,00 m)

Aan de zuidzijde van het gebied wordt de afvoer op de Rijn via de Grebbesluis in de Grebbedijk geregeld. Aan de noordzijde is bij het lozingspunt rond Amersfoort een lineaire Q(h)-relatie opgelegd (afvoer 0 m³/s peil 0 m+NAP, afvoer 10.8 m³/s Peil 1.5 m+NAP).

De Grift kruist de Slaperdijk, hier is een duiker gemodelleerd (breedte 2 m, bodemhoogte 5.12 m+NAP).

De gegevens over de dimensionering van deze elementen zijn ontleend aan de topografische kaart 1850, de beschrijvingen van de overstroming (Deys, 1988) en van de Bonnekaarten rond 1900. De dimensionering van de waterlopen is geschat.

Dijkdoorbraken en waterpeilen

De tijdstippen van de dijkdoorbraken, de dimensies van de doorbraak en het dichten van de dijken zijn cruciaal in het model. Ze bepalen hoeveel water er het gebied instroomt. De peilgegevens hebben een tweeledig doel. Ze zijn van belang voor de schematisatie en voor de validatie van het model. Er zijn drie bronnen gebruikt:

- waterstanden van de Rijn vanaf de doorbraak tot aan het sluiten van de dijk (figuur 5.2);
- waterpeilen in de Gelderse Vallei voorafgaand aan de overstroming (initiële waarde 0);
- de omvang van de overstroming (figuur 5.3).

Dijkdoorbraken

De dijkdoorbraken zijn in SOBEK gemodelleerd middels breaking dam-nodes. In tabel 5.2 zijn de verschillende doorbraken en hun karakteristieken weergegeven. De doorbraaklocatie met afmetingen en diepte doorbraakkolk zijn veelal in kaarten vastgelegd (Sloet 1855). Breedte en diepte van de doorbraak bepalen in het model het debiet. Exacte afmetingen zijn niet te bepalen omdat gedurende de overstroming de doorbraak aanvankelijk wat breder is geworden en bij het dichten weer smaller. Tijdens dit proces is ook het debiet veranderd door de lagere rivierpeilen (figuur 5.2).

Tabel 5.2. Tijdstip van doorbraak en dichten van de Grebbedijk

Locatie doorbraak	Datum	Tijd	Diepte (bodem dijkbreuk)	Breedte
Grebbedijk	5 maart	16.00 uur	4,94 m (6,56 m +NAP)	150 m
Spoordijk Emmikhuizen	8 maart	0.00 uur	1,35 (8,85 m + NAP)	100 m
De Klomp	9 maart	10.00 uur	1,50 m (8,70 m + NAP)	10 m
Munnikeheul	9 maart	22.00 uur	1,30 m (8,60 m + NAP)	40 m
dichten Grebbedijk	11 maart	8.00 uur	4,94 m (11.50 m +NAP)	150 m

Op vooraf bepaalde tijdstappen wordt op de breaking dam nodes de dijkhoogte verlaagd naar de aangegeven doorbraakdiepte. Daarmee wordt de dijkdoorbraak gesimuleerd.

Waterpeilen

Het waterpeil van de Rijn wordt in het model gesimuleerd door een 2D boundary. De waarden hiervan en de tijdstippen worden vooraf ingevoerd. In het model is daarvoor gebruik gemaakt van de waterhoogten uit figuur 5.2.

Na het dichtn van de dijk op 11 maart stond het waterpeil in de Rijn lager dan in de Gelderse Vallei en kon worden begonnen met de afvoer van water naar de Rijn en naar de Zuiderzee. De afvoer naar de Rijn is mogelijk uitgesteld zolang de dijken in de Betuwe nog niet waren hersteld.

In tabel 5.3 zijn de invoerbestanden en modelsettings weergegeven.

Tabel 5.3 Invoerbestanden en modelsettings

Invoerbestanden	Settings
hoogte (HGT100.asci (celgrootte 150x150)	- timestep 1 uur
weerstand (Friction-grid.asci 100x100 m)	- use 2D grid as height
waterlopen (watergang.shp)	- assume no dikes
doorbraak (Breaking Dam.asci)	- Initial global Water dephts (waterdiepte op
Rijnstanden (2D boundary node.asci)	eerste tijdstip van de berekening)
History nodes (zie figuur 5.6)	

5.5 Resultaat modellering

Als eerste berekening is voor het studiegebied een situatie doorgerekend zonder compartimentering door de Grebbelinie en spoorlijn. In feite is daarmee de situatie tussen 1550 en 1651 (aanleg slaperdijk) gesimuleerd. Deze simulatie was wenselijk om een eerste indruk van de juistheid van invoerparameters te krijgen. De resultaten hiervan zijn gebruikt om het model op onderdelen aan te passen.

Een tweede simulatie is uitgevoerd met compartimentering. In figuur 5.7 is het overstroomde gebied weergegeven acht uur na de overstroming. Uit deze simulatie komt naar voren dat de eerste fase van overstroming redelijk nauwkeurig wordt gesimuleerd, maar dat de latere doorbraken van de compartimenten afwijken van de beschrijvingen. Het blijkt dat er uiteindelijk te weinig water het gebied instroomt om alle gebieden te laten overstromen. De oorzaken daarvan zijn mogelijk de volgende:

- maaiveld lag hoger dan in het model is opgenomen;
- de doorbraak in de Grebbedijk was groter dan in het model is opgenomen;
- verkeerde dimensionering van de waterlopen;
- verkeerde dimensies van de kunstwerken;
- te grote afvoer verondersteld bij drooglegging;
- ongunstige meteorologische condities (regen).

In de literatuur en archieven lijken voldoende gegevens voorhanden om deze modelparameters veel beter te benaderen.

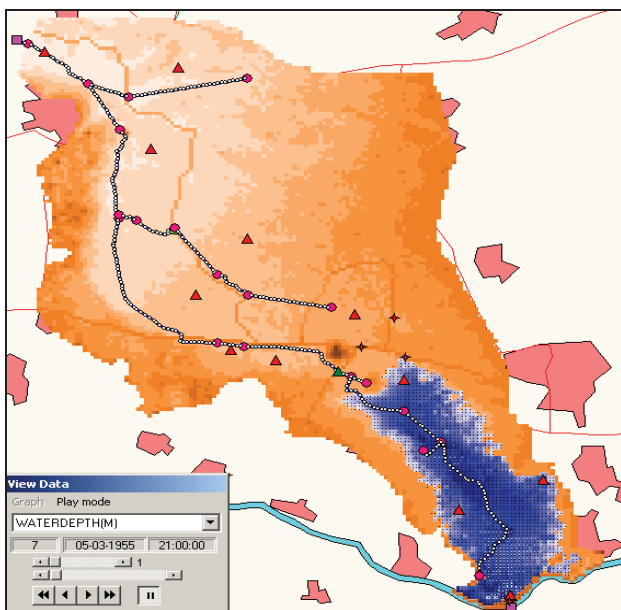
De resultaten van de modellering bestaan uit overstromingskaartjes die op uurbasis de volgende overstromingsparameters weergeven:

- het overstromde gebied;
- waterdiepte.

Hieruit zijn te berekenen de:

- overstromingsduur;
- drooglegging;
- stroomsnelheid;
- evacuatie tijd.

Door tijdreeksen van overstromingskaartjes te presenteren ontstaat een filmpje waarin het proces van overstroming goed kan worden gevolgd.



Figuur 5.7. Waterdiepte en areaal overstromd gebied op 5 maart 1855 om 21:00 uur (fragment uit de simulatie)

In bijlage 5 zijn de mogelijke vormen van modeluitvoer samengevat.

5.6 Effecten van overstroming op natuur

In de discussie over de effecten van waterberging en natuur (Runhaar et al., 2004) is het interessant om in retrospectief te kijken of de overstroming in 1855 effect heeft gehad op de huidige natuurwaarden. Deze vraag naar lange termijn effecten doet zich voor in veel bergingsgebieden. In deze studie zijn de effecten hiervan niet onderzocht, maar de mogelijkheid doet zich wel voor om 150 jaar na dato hier iets over op te merken.

De historische modellering maakt het mogelijk in de Gelderse Vallei gebieden te identificeren op basis van overstromingsduur, diepte en periode van overstroming. Deze factoren zijn bepalend voor de effecten op de fauna en vegetatie (Runhaar et

al., 2004). Daarnaast speelt sedimentatie met rivierslib nog een rol. Anders dan nu mag er vanuit worden gegaan dat het toenmalige slib van de Rijn geen grote concentraties aan nutriënten bevatte. Wel kan dit relatief voedselrijke en basenrijke slib, afhankelijk van de plek van sedimentatie, van invloed zijn geweest op de zuurgraad van zandbodems.

Effecten op de vegetatie

Wat opvalt is dat de huidige blauwgraslanden, bloemrijke en orchideerijke graslanden, allemaal binnen het toenmalige overstromingsgebied liggen. Dit betreft de Bennekomse Meent, De Blauwe hel, Het Meeuwenkampje, Allemanskamp en Groot Zandbrink. Het Meeuwenkampje lag zelfs in het dijkdoorbraakgebied (spoorlijn Utrecht-Arnhem).

Ook de floristische verspreidingsgegevens van Nederland (FLORIVON) die globaal tussen 1930 en 1950 zijn verzameld, laten zien dat het in 1855 overstroomde gebied begin 20^e eeuw bijzondere floristische waarden kende. Hetzelfde geldt voor de eerste floristische gegevens uit het gebied in 1891 (Schaafsma, 2004). Hieruit kan worden geconcludeerd dat respectievelijk 35, 80 en 150 jaar na deze overstroming, de floristische verscheidenheid vermoedelijk niet sterk onder deze overstroming heeft geleden. Ook de langdurige overstroming (tot 2 maanden bij Veenendaal) heeft niet geleid tot het verdwijnen van blauwgraslanden of trilvenen (Blauwe Hel). Een gedetailleerde analyse met historische verspreidingsgegevens kan duidelijker maken voor welke soorten de overstroming mogelijk wel een rol heeft gespeeld en welke soorten mogelijk zelfs baat hebben gehad bij overstroming. Het is niet ondenkbaar dat onregelmatige overstromingen met rivierwater een belangrijke rol hebben gespeeld in de verspreiding van soorten.

Tot slot kunnen afzettingen met rivierslib een rol hebben gespeeld in de buffering van verzuringsgevoelige zandgronden in de Vallei zoals dat ook voor bevloeiing door beekwater wordt verondersteld. Bij beken was er echter sprake van een veel geringere sedimentlast, maar wel van een hogere overstromingsfrequentie.

Effecten op de fauna

Het effect van de overstroming op de fauna is waarschijnlijk groter geweest dan dat op de vegetatie, maar is moeilijk te kwantificeren. Hiervoor zullen veldwaarnemingen in archieven moeten worden geraadpleegd. Runhaar et al (2004) geven aan dat het vooral de weinig mobiele soorten zijn die gevoelig zijn voor overstroming, bijvoorbeeld door verdrinking en het (tijdelijk) verdwijnen van leefgebieden. Voorbeelden van gevoelige soorten zijn reptielen, vlinders en andere groepen insecten. Een vluchtige blik op de historische verspreidingsgegevens van vlinders (Tax, 1989) laat zien dat o.a. de volgende plaatstrouwe soorten hier begin 20^e eeuw nog voorkwamen: Rode vuurvliinder, veenhooibeestje, moerasparelmoervliinder en zilveren maan. Mogelijk zijn deze soorten na de overstroming van elders gemigreerd of zijn ze gezien het tijdstip van de overstroming (vroeg voorjaar) nooit echt bedreigd geweest. Sommige soorten overwinteren als ei of als pop en zijn dan minder vatbaar voor externe invloeden. Ook voor weidevogels heeft de overstroming plaatsgevonden net voor het broedseizoen, dat toen voor veel soorten later lag dan

nu. Verder is bekend dat stukken begroeiing zijn losgeslagen van de (veenachtige) bodem en als drijfzand hebben overleefd, inclusief de specifieke fauna. Uit Van de Poll (1855) komt het volgende citaat:

“Daar de landerijen grootendeels uit veengronden zijn samengesteld, waren ze niet aanstonds ter bebouwing geschikt; de oogst kan dan ook in die streken niet overvloedig zijn geweest. Als eene geologische bijzonderheid verdient wel vermeld te worden, hoe sommige hooilanden in den Achterberg de bovenste laag, ter dikte van 1 voet, door het water is afgeligt en weggedreven. Men vond stukken drijvende, ter grootte van 3 morgen – onder Mane van 1 bunder: enkele waren met lies en struiken bezet, zoodat men er voorbijvarende, waande vasten grond te zien.

Het is te hopen voor de Geldersche Vallei, dat het reeds voor jaren ontworpen uitwateringskanaal eindelijk tot stand moge komen. Eene uitgestrektheid gronds, thans gedoemd slechte hooilanden, zelfs moeras en onland te blijven, zou daardoor in vruchtbaar land kunnen verkeeren. Moge de bij 's Konings Besluit van 16 Nov. 1852, No. 52, benoemde Commissie gelukkig slagen”

Discussie

Uit deze voorbeeldstudie blijkt dat het mogelijk is om historische overstromingen kwantitatief te beschrijven. Zelfs een modelmatige reconstructie is mogelijk met een hydraulisch model. Kritische onderdelen voor een reconstructie zijn de beschikbaarheid van (dagelijkse) waterpeilen, locaties met doorbraken, gebiedskenmerken, afmetingen van dijkdoorbraken, grootte van het overstroomde gebied en de ontwatering na de overstroming. De overstroming in de Vallei is door meerdere bronnen beschreven, deze beschrijvingen zijn niet onderling vergeleken op consistentie en aanvullende informatie. Met betrekking tot peilen kunnen metingen enigszins afwijken van de werkelijke ivm verschillen tussen A.P en N.A.P. (bijlage 2). Niet alle benodigde informatie is voor 1855 te achterhalen, zo is voor de historische maaiveldhoogte aangenomen dat deze weinig verschilt van de huidige situatie. Voor het grondgebruik is gebruik gemaakt van de situatie omstreeks 1900 (Knol et al., 2004). De berekeningen zijn nog onvoldoende gekalibreerd op gemeten peilen en voorplanting van de overstromingsgolf door de Vallei. Ook zijn de afmetingen van de doorlaten (o.a. onder de Spoordijk) niet bekend, waardoor de tijd van doorbraak is geschat op basis van gemeten waterstanden. De gebruikte weerstanden staan ter discussie, deze zijn van groot belang mbt de snelheid waarin de overstromingsgolf zich voortplant. Ook is de neerslag gedurende de overstroming niet in de berekeningen opgenomen. Uit de provisorische berekeningen blijkt dat er minder gebied overstroomt dan op de ingetekende kaarten uit 1855 is aangegeven. Dit kan duiden op verkeerde maaiveldhoogtes, te kleine inlaten of te snelle afvoeren in het model.

Het programma SOBEK Overland Flow heeft de volgende beperkingen:

- Presentatie van data voor 1900 (in tabellen en grafiek) is niet mogelijk;
- SOBEK kan de watersnelheid in de x- en y-richting niet (automatisch) wegschrijven voor alle rastercellen. Automatische uitvoer is wel mogelijk op de cellen waar een history-station is gepositioneerd. Handmatig wegschrijven van een tijdstap is mogelijk;

- Het model heeft nog beperkte mogelijkheden voor de modellering van stof- en sedimenttransport, dit wordt ontwikkeld;
- Modellering van drijvende stoffen is niet mogelijk.

Deze laatste opties zijn van belang om transport van sediment en planten en dieren te simuleren.

Conclusies en aanbevelingen

- Met historische data blijkt het mogelijk om met een actueel hydraulisch model een historische overstroming te simuleren;
- De uitkomsten van de simulatie komen in grote lijnen overeen met de feitelijke overstroming, zoals grootte van het overstromingsgebied en de snelheid van overstroming;
- De verblijftijd van het water (overstromingsduur) is korter dan gemeten, maar geeft een redelijk goed beeld van de eerste overstromingsfase. De leegloop van het gebied blijkt sneller te gaan dan in werkelijkheid heeft plaatsgevonden;
- De compartimentering door dijken en spoorlijnen en de gefaseerde doorbraken hiervan bemoeilijken de modellering;
- Langdurige overstroming van waardevolle natuur (blauwgraslanden) met slibrijk en matig voedselrijk Rijnwater heeft niet geleid tot het verdwijnen van deze vegetaties op een termijn van 100-150 jaar. De zuidelijke vallei (Binnenveld) stond circa 80 jaar na deze overstroming bekend om zijn uitgestrekte waardevolle graslanden. Binnen de voormalige overstroomde gebieden liggen nu de laatste blauwgraslanden van de Gelderse Vallei: Bennekomse Meent, Allemanskamp, Meeuwenkampje en Groot Zandbrink;
- De effecten van de historische overstroming op de fauna zijn minder duidelijk. Historische data van locatiegebonden diersoorten (vlinders en reptielen) laten ter plekke geen grote gaten in de verspreiding zien. Dat geldt wel voor het rivierengebied. Dit wijst er mogelijk op dat er in de Gelderse Vallei al snel hervestiging kon optreden en in het riviergebied isolatie en overstroming, naast milieoverschillen, een bijdrage hebben geleverd aan de geringere biodiversiteit.

Aanbevelingen

Algemeen

- ontwikkelingen van een betrouwbare methode voor vlakdekkende maaiveldreconstructies (1850-1900);
- verbetering van de hydraulische weerstandswaarden in historisch perspectief
- ontwikkeling en verbetering van kennis over de ruimtelijke verspreiding van stoffen en organismen.

Voor het modelgebied:

- Verbeteren van de historische modellering van de Gelderse Vallei. Vanwege het verkennende karakter is slechts een summiere calibratie en validatie uitgevoerd terwijl er nog ongebruikte gegevens voorhanden zijn;

- Het toetsen van de overstroomde gebieden met floristische en faunistische waarnemingen om na te gaan tot welke grootschalige effecten overstroming heeft geleid op ecosystemen;
- Bepaling van dispersiegedrag van stoffen en organismen onder invloed van overstromingen;
- Toepassing van het model op de militaire strategie van inundatie over lange perioden. Op basis van bekende Rijnafvoeren is het in principe mogelijk om achteraf te bepalen in welke jaren en maanden inundatie van de Grebbelinie uit militair oogpunt zinvol was.