

# Een SIMGRO-model voor het Rijnstroom- gebied: Hoe ver kun je komen met beperkte data en tijd?

---

In Nederland staan toepassingen met SIMGRO synoniem voor complex, gedetailleerd, vergt veel data, et cetera. Het zijn toepassingen voor een klein gebied, zoals de Hupselsebeek (6,5 km<sup>2</sup>) of redelijk groot voor Nederlandse begrippen, zoals de noordwest Drentse beken (1190 km<sup>2</sup>). De laatste 5 jaar waren er toepassingen van grootschalige stroomgebieden zoals in Brazilië (106000 km<sup>2</sup>), Litouwen (600 km<sup>2</sup>) en Argentinië (9920 km<sup>2</sup>). Door het gebruik van digitale gegevens en de ArcView gebruikersinterface AlterraAqua zijn zulke toepassingen goed te realiseren en geeft het de modelleur de mogelijkheid om met de (soms beperkt) beschikbare gegevens een zo goed mogelijk model op te zetten.

---

Waarom dan ook niet een groot Europees stroomgebied! In het kader van een studie naar hydrologische droogte in stroomgebieden en onderzoek naar achterliggende processen ben ik enkele maanden geleden begonnen met het opzetten van een model voor het stroomgebied van de Rijn. Daarmee hoop ik vragen te kunnen gaan beantwoorden zoals: 'Is droogte ruimtelijk te karakteriseren en eventueel te voorspellen? Bijvoorbeeld door te kijken naar de extreem droge zomer van 2003.' Ook kan een dergelijk model worden ingezet voor het simuleren van hoogwatersituaties en de hydrologische gevolgen van klimaatverandering.

De eerste stap is natuurlijk om te kijken hoe goed een dergelijk model de hydrologische situatie binnen het gehele stroomgebied beschrijft, in dit geval zonder kalibratie, en gebruikmakende van de neerslagreeks van De Bilt. Allereerst door gemeten en berekende afvoeren te vergelijken voor de Rijn en de belangrijkste zijrivieren. Daarnaast door te kijken hoe goed het model de grondwatersituatie benadert, wat van groot belang is voor de condities in de onverzadigde zone, de berekende actuele verdamping en de hoeveelheid drainage naar het oppervlaktewater. Allemaal aspecten die cruciaal zijn om de lage afvoeren goed te simuleren.

Om de bruikbaarheid van SIMGRO te testen is een eerste modeltoepassing opgezet om te bepalen of er een hydrologisch systeem kan worden gesimuleerd dat sterk afwijkt van de Nederlandse situatie. Het geeft dan de mogelijkheid om de zwakkere plekken te identificeren en in een later stadium verbeteringen aan te brengen. Hierbij gaat het om de gewenste invoergegevens die ook gerelateerd moeten zijn aan het schaalniveau van de modellering, ofwel

het invloedsoppervlak van een knooppunt of reservoir voor het oppervlaktewater. Daarnaast gaat het ook om processen, waar we ons in Nederland niet zo druk om maken. Bijvoorbeeld de hydrologie van winterse omstandigheden waarbij sneeuw accumuleert en bij dooi vrijkomt en de modellering van berggebieden met sneeuw en gletsjers. Met deze omstandigheden is reeds enige ervaring opgedaan met SIMGRO toepassingen in Polen en Litouwen (Querner en Povilaitis, 2009). Ook wordt SIMGRO momenteel ingezet voor de simulatie van een irrigatiegebied langs de Andes in Argentinië, genaamd Valle de Uco (waar overigens de beste wijnen van het land vandaan komen). Het gemodelleerde stroomgebied bestaat voor een groot deel uit gebergte met pieken tot 5000 meter boven zeeniveau. Daar wordt ook rekening gehouden met de afvoer van smeltwater.

Recentelijk is het VIC model toegepast voor het Rijnstroomgebied, zie de rapportage daarvan in Stromingen (Hurkmans e.a., 2009a; Hurkmans e.a., 2009b). HBV is de laatste 10 jaar door Rijkswaterstaat en het Duitse Federale Instituut voor Hydrologie toegepast (Eberle e.a., 2005). Een vergelijking van modelresultaten van HBV en VIC met metingen is gerapporteerd door Linde e.a. (2008). Daarnaast zijn er nog andere modelcodes/-concepten toegepast om het Rijnstroomgebied te simuleren. Naar mijn weten is echter nog nooit een ruimtelijk verdeeld, fysisch gebaseerd modelconcept als SIMGRO toegepast, zeker niet waarbij ook nog eens het grondwatersysteem is meegenomen in de berekeningen.

In dit artikel wil ik een beeld geven van de opbouw van het SIMGRO model en een eerste vergelijking van gemeten en berekende afvoeren tonen. Deze eerste toepassing is een quick scan, bedoeld om de mogelijkheden van het model voor zo'n groot stroomgebied te verkennen. Daarom is er een grof rekennetwerk gebruikt en een set aan invoergegevens die opgebouwd is met beschikbare GIS bestanden. In deze studie wordt gebruik gemaakt van SIMGRO versie 4.x en de gebruikersinterface AlterraAqua (de ArcView extensie waarmee GIS bestanden kunnen worden omgezet naar SIMGRO4 invoer files). Voor een meer gedetailleerde beschrijving van een SIMGRO modeltoepassing en het gebruik van AlterraAqua zie onder andere Nauta (2005) of Povilaitis en Querner (2006).

## Gegevens

Een eerste stap is het verzamelen van digitale gegevens. Bij Alterra is de Europese bodemkaart en het landgebruik (Corine) beschikbaar. Via wat Googelen kom je voor oppervlaktewater aan een goede set GIS bestanden (Voigt e.a., 2007). Het CGIAR heeft net een nieuw DTM (versie 4) van de wereld uitgebracht met een resolutie van 50 x 50 m (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Het JRC heeft een set bestanden dat informatie geeft over het grondwater in Europa. Via CHR (International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin) zijn gegevens uit de database Rhine-GIS beschikbaar gekomen. Bij de modelbouw wordt aangegeven welke datasets in eerste instantie zijn gebruikt. Het model is opgezet met een beperkte inspanning en enige expertkennis. In een later stadium zullen meer nauwkeurigere data worden gebruikt en wordt het model gekalibreerd. Dan kan ook worden geanalyseerd hoe de kosten (de extra tijd voor modelbouw en kalibratie) zich tot de baten (nauwkeurigere voorspellingen) verhouden.

## Modelbouw

Met ARC-GIS was het nodig om alle bestanden naar één projectie/coördinatenstelsel te transformeren. Hierbij is in eerste instantie voor het Lambert Conformal Conic (LCC) gekozen, omdat de Rhine-GIS database deze projectie gebruikt. Voor AlterraAqua zijn daarna alle bestanden omgezet naar shape- en GRID-files.

Het modelgebied beslaat het Rijnstroomgebied bovenstrooms van Lobith met een oppervlak van circa 160 000 km<sup>2</sup>. Voor deze toepassing is gekozen voor een oppervlakte per knooppunt van ongeveer 25 km<sup>2</sup>. Het model heeft dan 8144 knooppunten, inclusief een randzone van 10 kilometer rond de stroomgebiedgrens (zie **figuur 1**). Het SRTM-DTM is gebruikt; per knooppunt is een gemiddeld maaiveld bepaald en daarnaast de variatie in maaiveld binnen het knooppunt. Deze variatie kan vervolgens mede worden gebruikt om de drainage te bepalen.

Bij het runnen van de eerste procedures in AlterraAqua, waarbij GIS bestanden worden omgezet naar invoergegevens voor SIMGRO, gaat het al fout. ArcView is niet meer vooruit te branden bij het uitvoeren van een eenvoudige operatie. Dit probleem had ik al één keer eerder gehad. Toen bleken negatieve coördinaten in het analysegebied aanwezig te zijn, en dat geldt ook voor de projectie LCC. Omdat ArcView daar niet goed mee overweg kan, ben ik overgestapt op een andere projectie: ETRS-1989-LAEA (de aanbevolen projectie binnen de EU) zodat de coördinaten allemaal positief zijn voor het Rijnstroomgebied. Vervolgens bleek de reeds genoemde procedure wel te werken: maar liefst honderd keer sneller!

Het bestand dat het landgebruik beschrijft is omgezet naar een bestand conform de legenda van LGN. De beschikbare bodemkaart is vertaald naar een meer eenvoudige indeling die het gehele gebied indeelt in zand, klei en leem. Dit kan zeker beter in een later stadium, maar het omzetten van de FAO classificatie vergt een gedegen aanpak en is voor deze quick scan achterwege gelaten. Een fijnere schematisatie en nauwkeurigere parametrisatie is denk ik van groot belang omdat hiermee de belangrijkste eigenschappen van de onverzadigde zone worden bepaald. Deze bepalen vervolgens de mate van capillaire opstijging, het bodemvocht in de wortelzone en op basis daarvan de actuele verdamping. Ik verwacht dat dit van belang is om het afvoergedrag na een periode van droogte adequaat te kunnen simuleren.

Door Voigt e.a. (2007) is de afwateringsstructuur van het oppervlaktewater in GIS bestanden opgenomen en per waterloop is het afwaterend oppervlak gegeven. De grotere rivieren zoals weergegeven in **figuur 1** zijn gebruikt om de afwateringstructuur in het model te definiëren. Deze waterlopen zijn opgeknipt tot lengtes van maximaal 20 km. In een later stadium van het project zal deze lengte worden verkleind. Omdat het afwaterende oppervlak van elke waterloop bekend is, is hiermee in eerste instantie het dwarsprofiel ingeschat, het zijn de klassen 1-4 uit tabel 1. Met behulp van het DTM zijn de bodemhoogtes van de rivieren toegekend. Het resultaat van de schematisering zijn 630 deelgebieden waarvoor de dynamiek van het oppervlaktewater wordt berekend.

## Drainage

De waterlopen zoals weergegeven in **figuur 2** zijn door AlterraAqua gebruikt om de interactie tussen het grondwater en het oppervlaktewater te bepalen in de vorm van drainageweerstand per knooppunt. Ook voor deze waterlopen is met behulp van het afwaterend oppervlak een dwarsprofiel geschat. Dit zijn de klassen 5–8 uit tabel 1. Naast deze interactie is ook de maaiveld drainage van belang. Daarvoor is aangenomen dat de weerstand 20 dagen bedraagt en dat het drainageniveau in het gehele gebied gelijk is aan 0,2 meter beneden maaiveld.

## Grondwater

De JRC dataset van het grondwater (Hollis e.a., 2002) vraagt om een gedegen interpretatie van watervoerende pakketten en bijbehorende dikten en doorlatendheden. Omdat dit te veel tijd zou gaan kosten voor de quick scan is er voor eerste zeer grove inschatting gemaakt door een kD van 50 m<sup>2</sup>/d aan het gehele modelgebied toe te kennen ( $k = 2$  m/d en  $D = 25$  m).

## Meteorologische gegevens

Voor de neerslag en potentiële verdamping zijn de gegevens van De Bilt gebruikt en toegekend aan het gehele stroomgebied omdat, gegeven de korte doorlooptijd van de studie, geen andere gegevens voorhanden waren.

## Resultaten

Om de berekeningen te beginnen is een initiële grondwaterstand nodig. Daarvoor is een stand van 1 meter beneden maaiveld aangenomen. Bij de eerste berekening is de afvoer bij Lobith veel te hoog omdat deze initiële rekenvoorwaarde veel te hoog blijkt te zijn. Na enkele jaren lijkt de berekende zomer-winter afvoerdynamiek al aardig op de gemeten dynamiek. Eerst zijn twee berekeningen van 5 jaar gemaakt, waarbij de grondwaterstanden aan het eind van de berekening gebruikt zijn als startwaarden voor de volgende berekening. **In figuur 3** is voor de derde run de gemeten en berekende afvoer bij Lobith weergegeven. Niet echt slecht gegeven het feit dat de neerslag en referentiegewasverdamping afkomstig is van station De Bilt. De afvoerdynamiek zomer-winter komt redelijk goed overeen, zo is het verschil tussen de laagste afvoer in de verschillende zomers circa 20-250 m<sup>3</sup>/s. Voor het onderzoek naar droogte en lage afvoeren is dit een goed begin. Als in een latere fase van het lopende project de neerslag en verdamping regionaal wordt opgelegd dan geeft dat een goed beeld van de verschillen die door de meteorologische randvoorwaarden worden veroorzaakt.

**Tabel 2** geeft voor 22 meetstations (zie figuur 4 voor hun locaties) de gemiddelde, minimale en maximale afvoer voor zowel de meting als de berekening. Voor alle stations langs de Rijn is de gemiddelde berekende afvoer 240-450 m<sup>3</sup>/s te laag. Dit wordt veroorzaakt door het gebied bovenstrooms van Rheinvelden. In dat deel van het model, vooral het Zwitserse deel van het Rijnstroomgebied, is de berekende afvoer duidelijk aan de lage kant. Door het gebruik van lokale neerslaggegevens zal dit verschil naar verwachting afnemen. Voor de belangrijke zijrivieren zijn de verschillen in gemiddelde afvoer niet al te groot (Tabel 2). Dit geldt ook

voor de minimale afvoer. Bij de maximale afvoer zijn de verschillen groter: voor de Moezel is de berekende afvoer te laag en voor de Main te hoog. Dat was ook te verwachten met een 'Nederlandse' neerslag en een grove schematisatie van het grondwatersysteem.

## Discussie en conclusies

SIMGRO is een modelcode voor de bouw van fysisch gebaseerde, ruimtelijk verdeelde modellen, wat zo zijn voor- en nadelen heeft. Een dergelijk model vraagt veel invoergegevens, wat in het verleden bewerkelijk was. Met het beschikbaar komen van GIS bestanden en conversie tools wordt dit nadeel een stuk minder belangrijk. Momenteel zijn er voldoende digitale gegevens beschikbaar en kunnen eenduidige procedures worden gebruikt om data om te zetten naar invoergegevens. Voor deze toepassing is ongeveer 5 dagen besteed aan het zoeken van data op internet en de benodigde GIS bewerkingen. De opbouw van het model door AlterraAqua vergde ongeveer 3 dagen en de bewerking van de afvoergegevens nog eens 2 dagen. De rekentijd van het model voor een periode van 5 jaar was ongeveer 1 uur. Deze beperkte tijdbesteding is alleen te realiseren doordat er met deze versie van SIMGRO en AlterraAqua veel ervaring is opgedaan in eerdere projecten.

Deze toepassing van SIMGRO is een eerste stap om een fysisch model voor het Rijnstroomgebied op te zetten. Het zal zeker nog nodig zijn om in detail naar deelprocessen te kijken en de modelconcepten op basis daarvan aan te passen. Van belang zijn zeker een module voor sneeuw en ijs, en ook de manier om de drainage te berekenen in heuvelachtig terrein behoeft aanpassing. Ook aan de kant van modelinvoer zijn zeker verbeteringen mogelijk, hieronder een overzicht:

- **Onverzadigde zone**

De FAO classificatie gebruiken om unieke bodemprofielen te onderscheiden die de basis vormen voor de karakteristieken van de onverzadigde zone;

Voor het landgebruik is nu per knoop alleen de dominante gekozen. Een verbetering is om per knooppunt een procentuele verdeling van de 4 tot 5 grootste arealen te kiezen;

Het aanpassen van gewasfactoren in gebieden met een langer of korter groeiseizoen, bijvoorbeeld voor grasland hoog in de bergen;

Onderzoeken of het stedelijk gebied (verhard oppervlak) een significante invloed heeft op het afvoerproces.

- **Oppervlaktewater**

Het in het model opnemen van alle belangrijke meren, zoals het Bodenmeer en de stuwmeren in de Lippe, Ruhr en Neckar. Dit zal zeker tot verbeterde simulaties leiden;

Ook zijn er stuwen in de Rijn en de Main. Ook deze kunnen van belang zijn om het afvoerproces beter te simuleren;

Voor de dwarsprofielen van de rivieren is het wenselijk een meer gedetailleerde indeling te hanteren, mogelijk regionaal gedifferentieerd;

Aanbrengen van dijken langs de Rijn in het model waar dit relevant is, zodat er geen inundatie/overstroming binnendijks optreedt.

- **Grondwater**

Een gedetailleerde schematisatie van het grondwatersysteem maken met watervoerende pakketten. Hieronder valt ook het onderscheiden van karst- en rotsachtige gebieden; De drainage van heuvelachtige gebieden verbeteren en/of nieuwe concepten gebruiken, zoals bijvoorbeeld het door Troch e.a. (2003) ontwikkelde concept; Alle grondwaterwinningen in het stroomgebied zijn globaal bekend maar in het huidige model niet opgenomen. Het opnemen hiervan is mogelijk en geeft gelijk een beeld van de invloed hiervan op het afvoerverloop. Het kan in de zomer wel eens een niet te verwaarlozen invloed hebben.

- **Schematisering gebied**

Ook aanpassingen aan de schematisering zullen naar verwachting leiden tot een verbetering van de resultaten. Zo kan de afmeting van de knooppunten, nu 25 km<sup>2</sup>, worden terug gebracht naar 10, 5 en 1 km<sup>2</sup>. Daarbij hoort natuurlijk een overeenstemmende lengte van de waterlopen. Meer reservoirs voor het oppervlaktewater geeft voor de waterstand in het model een gelijkmatiger verloop. Dit is beter voor het beschrijven van de afvoer en de berekende interacties tussen het grond- en oppervlaktewatersysteem. Ook is te overwegen de afstand tussen de knooppunten van het grondwatermodel langs de grotere rivieren te verkleinen.

Een aantal van de detailleringen in het model wat betreft het oppervlaktewater kan het beste worden opgelost door een koppeling te maken tussen SIMGRO en een hydraulisch modelconcept, bijvoorbeeld MOGROW (Querner, 1993). Dit is recentelijk toegepast in het project Waarheen met het Veen (Jansen e.a., 2007; Jansen e.a., 2009).

Door het stapsgewijs aanpassen van modelconcepten, invoergegevens en de schematisering wordt het mogelijk om de effecten van de individuele aanpassingen inzichtelijk te maken. Dit inzicht ontbreekt naar mijn mening vaak bij grootschalige modeltoepassingen. In een latere fase van het onderzoek hoop ik in overleg met andere onderzoekers andere modelconcepten, zoals VIC en HBV, met SIMGRO te vergelijken. Op die manier kan inzicht ontstaan in de sterke en zwakke punten van de diverse modelconcepten.

Een ander belangrijk punt is dat een model, zeker wanneer er voorspellingen moeten worden gedaan van de effecten van klimaatverandering en veranderingen in het landgebruik, geen black box kan zijn. Deze beperking kleeft vaak aan het toepassen van een grootschalig regionaal model. Om met dit soort zaken adequaat om te kunnen gaan moeten de parameterwaarden en variabelen te visualiseren zijn. Hiervoor is een GIS georiënteerde interface, zoals AlterraAqua, van onschatbare waarde.

Ook moeten de modelresultaten (hydrologisch) te verklaren zijn. Om een voorbeeld te noemen: een aanpassing in de parameterisatie van het landgebruik moet leiden tot meer of minder afvoer. Zo vroeg ik Ruud Hurkmans hoe hij in het VIC model de effecten van het scenario's akker naar bos kon verklaren (zie Stromingen 15, figuur 3 blz. 68). De resultaten zijn voor een aantal zijrivieren niet helemaal goed te verklaren.

Bij het doorgerekende scenario neemt voor de Moezel de afvoer toe en voor de Lahn juist af. Van zulke landbouwkundige ingrepen verwacht je dat er vooral een effect is in de zomer als de verdamping een belangrijke component van het systeemgedrag vormt.

Ten slotte wil ik opmerken dat ik niet had verwacht dat de meteo-informatie van station De Bilt en de toegepaste, vrij grove grondwaterschematisatie toch al redelijke resultaten zou geven. Of er sprake is van toeval of niet zal blijken alser aanpassingen in het model worden doorgevoerd. Ik hoop hier in de toekomst op terug te komen. Reacties van uw kant over het gebruik van gegevens, modelconcepten, et cetera zijn uiteraard van harte welkom.

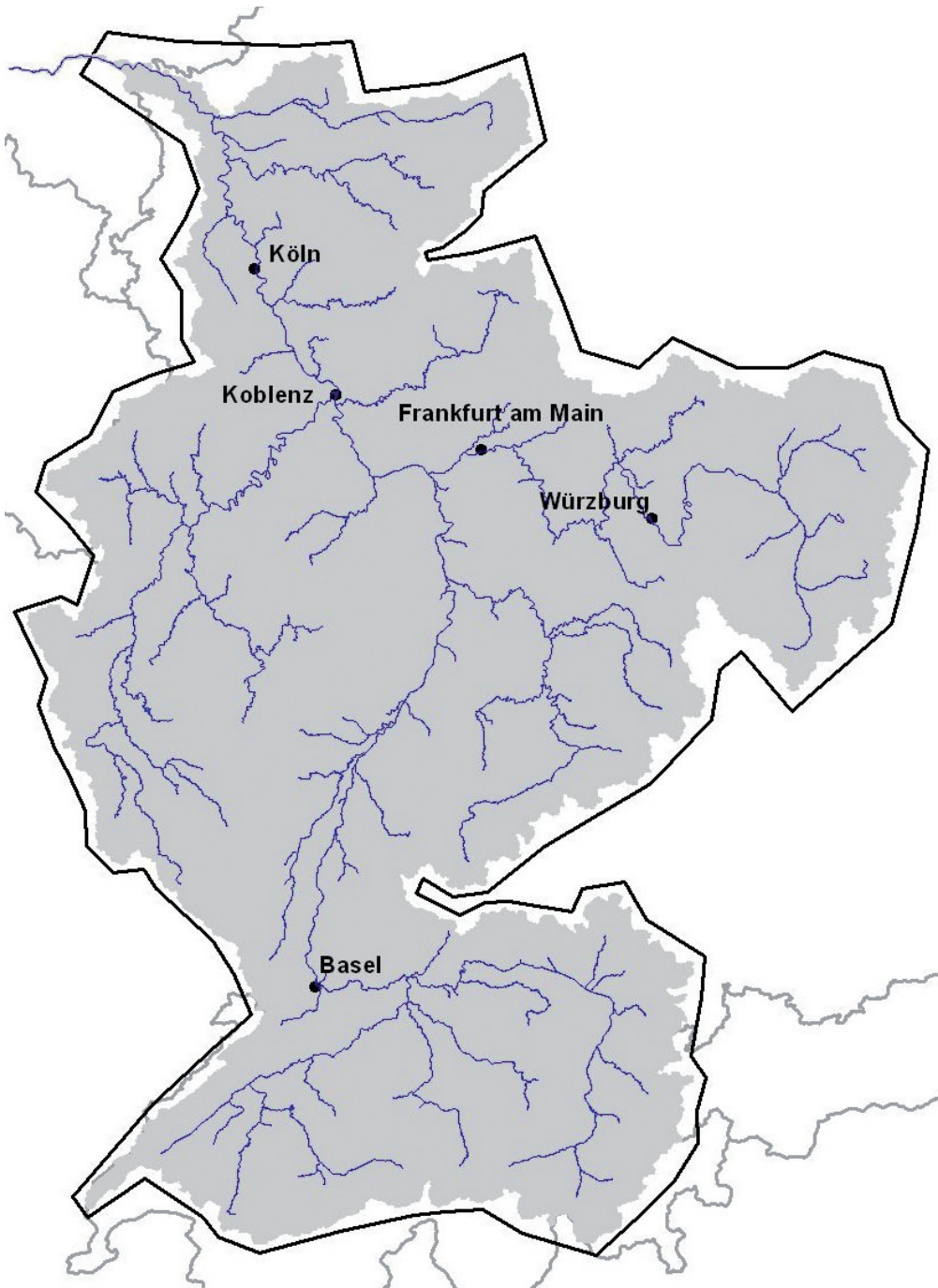
## **Dankwoord**

Dit onderzoek is onderdeel van het strategisch LNV-programma Kennisbasis Onderzoek thema 1: *'Duurzame ontwikkeling van de groenblauwe ruimte in een veranderende wereld'*. Door JRC en CHR zijn gegevens beschikbaar gesteld die deels al zijn gebruikt, zoals beschreven in het onderdeel modelopbouw.

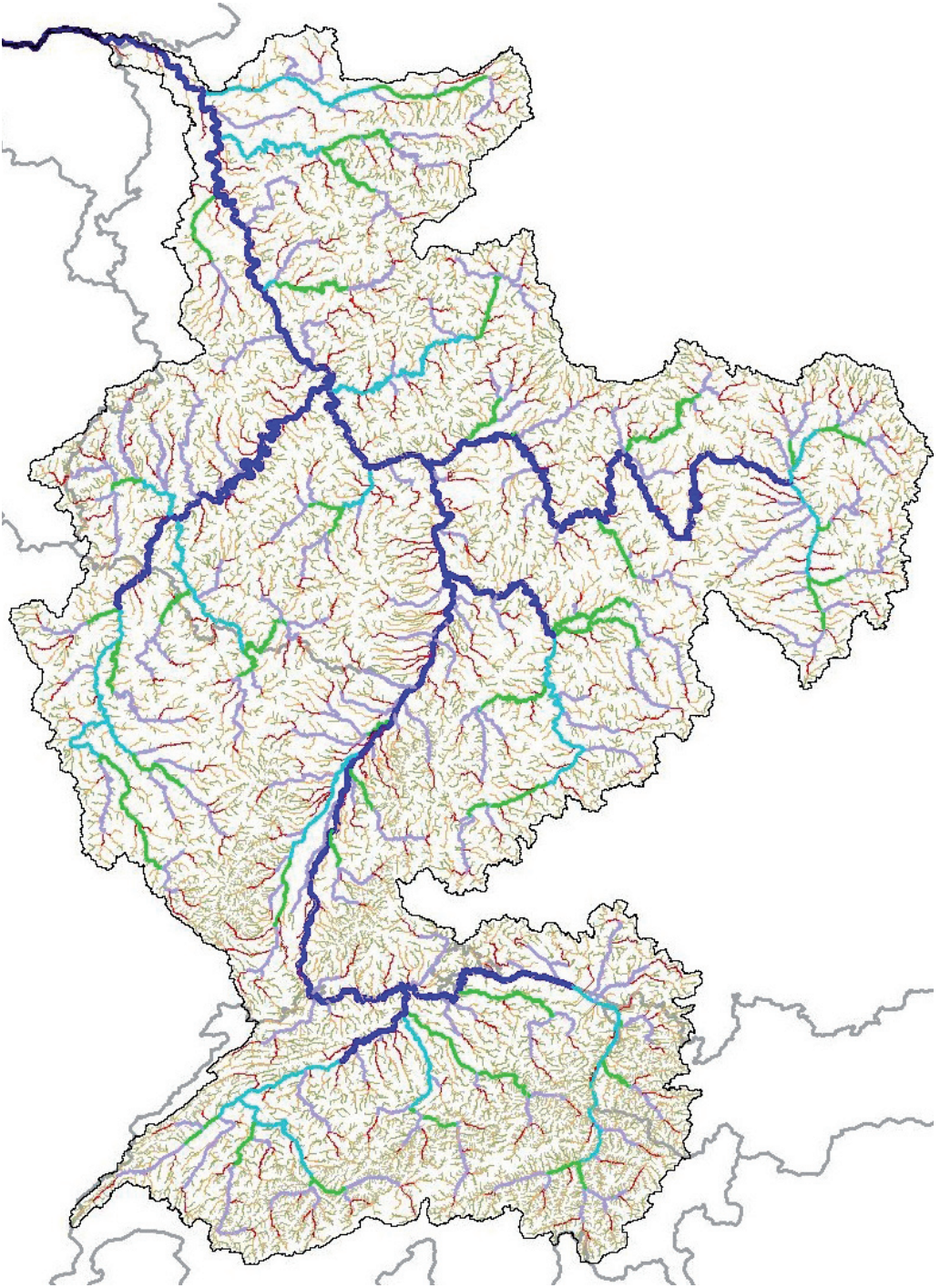


## Referenties

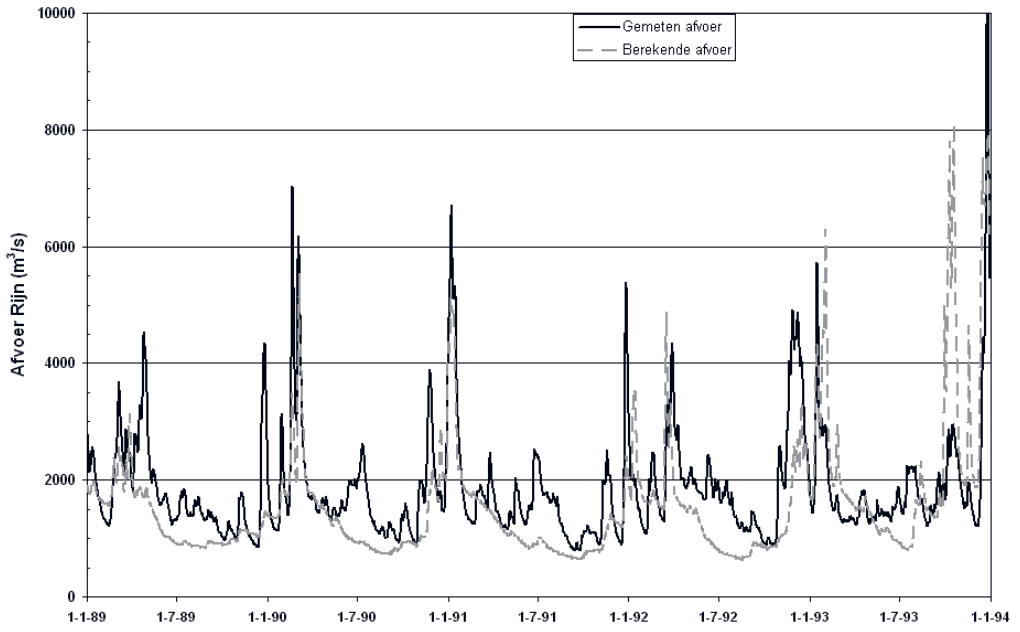
- **Eberle, M, H. Buiteveld, K. Wilke en P. Krahe (2005)**  
Hydrological Modelling in the River Rhine Basin Part III - Daily HBV Model for the Rhine Basin. BfG-1451, Institute for Inland Water Management and Waste Water Treatment (RIZA) and Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG), Koblenz, Germany.
- **Hollis, J.M., I.P. Holman, R.G.O. Burton, C.M. Willers en D. Pavelley (2002)**  
A Digital Dataset of European Groundwater Resources at 1:500,000 (v. 1.0). Joint Research Centre European Commission.
- **Hurkmans, R.T.W.L., W. Terink, R. Uijlenhoet, E.J. Moors, P.A. Troch en P.H. Verburg (2009a)**  
Effecten van landgebruiksveranderingen op gemiddelde en extreme afvoer in het Rijnstroomgebied. *Stromingen* 15: blz. 62-73.
- **Hurkmans, R.T.W.L., W. Terink, R. Uijlenhoet, E.J. Moors, P.A. Troch, en P.H. Verburg (2009b)**  
Effects of land use changes on streamflow generation in the Rhine basin; *Water Resour. Res.*, 45, W06405, doi:10.1029/2008WR007574.
- **Jansen, P.C., E.P. Querner en C. Kwakernaak (2007)**  
Effecten van waterpeil-strategieën in veenweidegebieden; een strategiestudie in het gebied rond Zegveld. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1516, blz. 86.
- **Jansen, P.C., E.P. Querner en J.J.H. van den Akker (2009)**  
Onderwaterdrains in het veenweidegebied en de gevolgen voor de inlaatbehoefte, de afvoer van oppervlaktewater en voor de maaiveldddaling. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1872 (in druk).
- **Linde, A.H. te, J.C.J.H. Aerts, R.T.W.L. Hurkmans en M. Eberle (2008)**  
Comparing model performance of two rainfall-runoff models in the Rhine basin using different atmospheric forcing data sets; in: *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12, blz. 943-957.
- **Nauta, A.B., J. Bielecka en E.P. Querner (2005)**  
Hydrological model of the Lower Biebrza Basin; using the model as a management tool. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1179. blz. 62.
- **Povilaitis, A. en E.P. Querner (2006)**  
Analysis of water management measures in the Dovine River Basin, Lithuania; Possibilities to restore a natural water regime. Wageningen, Alterra, Alterra-Report 1370.
- **Querner, E.P. en A. Povilaitis (2009)**  
Hydrological effects of water management measures in the Dovinė River Basin, Lithuania. *Hydrological Sciences Journal*, 54(2) April 2009: blz. 363-374.
- **Querner E.P. (1993)**  
Aquatic weed control within an integrated water management framework. Doctoral thesis, Agric. University Wageningen. Also published as Report 67, DLO Winand Staring Centre (SC-DLO), blz. 204.
- **Troch, P. A., C. Paniconi en E. Emiel van Loon (2003)**  
Hillslope-storage Boussinesq model for subsurface flow and variable source areas along complex hillslopes: 1. Formulation and characteristic response, *Water Resour. Res.*, 39(11), 1316, doi:10.1029/2002WR001728.
- **Vogt, J.V., P. Soille, A.L. de Jager, E. Rimaviciute, W. Mehl, P. Haastrup en M.L. Paracchini (2007)**  
Developing a pan-European Data Base of Drainage Networks.



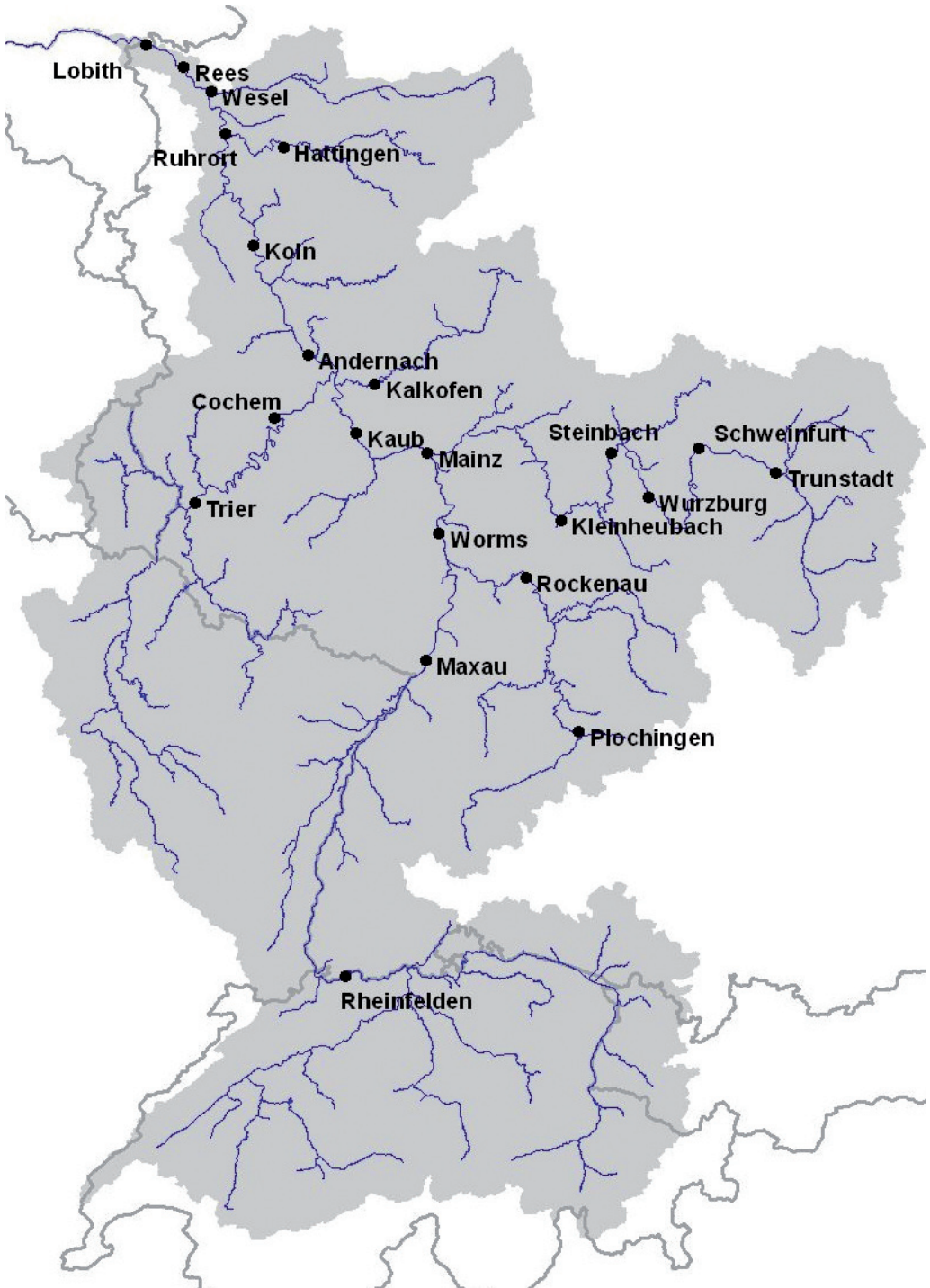
■ Figuur 1: Het modelgebied voor de Rijn en de hoofdwaterlopen die gebruikt zijn om de afwateringsgebieden te definiëren.



■ Figuur 2: Het waterlopen netwerk voor het Rijnstroomgebied, gebaseerd op Voigt e.a. (2007).



■ Figuur 3: De gemeten en berekende afvoer bij Lobith.



■ Figuur 4: Locatie van 22 meestations waarvoor de gemeten en berekende afvoeren zijn vergeleken.

■ Tabel 1: Geschatte afmeting waterlopen op basis van het afwaterend oppervlak. (taluds aangenomen met helling 1:1)

Klasse	Afwatering (km <sup>2</sup> )	Bodembreedte (m)	Diepte (m)	Functie
1	> 10000	300	7,0	Afwateringsstructuur en drainage
2	10000 - 2500	150	6,0	„
3	2500 - 1000	75	4,0	„
4	1000 - 400	50	3,5	„
5	400 – 250	10	3,0	Drainage
6	250 – 100	5	2,5	„
7	100 – 30	2	2,0	„
8	30 – 10	1	1,5	„

■ Tabel 2: Vergelijking van de gemeten en berekende gemiddelde, minimale en maximale afvoer, in figuur 4 zijn de locaties van de meetstations weergegeven.

Meetstation	Rivier	Gemiddelde afvoer			Minimale afvoer			Maximale afvoer		
		Gemeten	Berekend	Ber. - gem.	Gemeten	Berekend	Ber. - gem.	Gemeten	Berekend	Ber. - gem.
<b>Lobith</b>	Rijn	1991	1733	-258	794	645	-149	10940	9221	-1719
<b>Rees</b>	Rijn	2047	1730	-316	827	643	-184	10752	10096	-656
<b>Wesel</b>	Rijn	2052	1675	-377	763	623	-140	11244	10092	-1152
<b>Ruhrort</b>	Rijn	2050	1664	-386	830	619	-211	10993	10646	-347
<b>Koln</b>	Rijn	1931	1576	-355	743	585	-158	10836	11660	824
<b>Andernach</b>	Rijn	1871	1526	-345	772	567	-205	10406	11268	862
<b>Kaub</b>	Rijn	1509	1168	-342	677	447	-230	6440	8111	1671
<b>Mainz</b>	Rijn	1458	1119	-339	657	434	-223	5539	7448	1909
<b>Worms</b>	Rijn	1262	821	-441	563	332	-231	4772	5120	348
<b>Maxau</b>	Rijn	1124	636	-488	490	261	-229	4176	3911	-265
<b>Rheinfelden</b>	Rijn	949	476	-473	388	213	-175	3366	2306	-1060
<b>Hattingen</b>	Ruhr	69	41	-28	17	14	-3	885	381	-504
<b>Cochem</b>	Moezel	311	277	-34	38	88	50	4020	2232	-1788
<b>Trier</b>	Moezel	259	242	-17	25	75	50	3710	1968	-1742
<b>Kalkofen</b>	Lahn	46	53	7	8	15	7	571	505	-67
<b>Kleinheubach</b>	Main	139	215	76	25	71	46	1287	1813	526
<b>Steinbach</b>	Main	124	184	60	21	59	38	1188	1603	415
<b>Wurzburg</b>	Main	100	143	44	12	49	37	933	1342	409
<b>Schweinfurt</b>	Main	109	128	20	24	43	19	957	1155	198
<b>Trunstadt</b>	Main	103	118	15	29	37	8	1128	1161	33
<b>Rockenau</b>	Neckar	106	104	-2	31	58	27	696	505	-191
<b>Plochingen</b>	Neckar	40	40	0	6	13	7	701	381	-320