

LATERALE TOESTROMING MAAS

Neerslag-afvoer relaties

Rijkswaterstaat-RIZA



Niers

NOVEMBER 2000

Barbarossastraat 35
Postbus 151
6500 AD Nijmegen
Telefoon (024) 328 42 84
Telefax (024) 323 93 46
www.haskoning.nl



HASKONING
Ingenieurs- en
Architectenbureau



LATERALE TOESTROMING MAAS

Neerslag-afvoer relaties

Rijkswaterstaat - RIZA



Rijkswaterstaat/RIZA
Documentatie
Pettg. 17
8200 AA, Lelystad

Opgesteld : ir. C.O.G. van Haselen

Gecontroleerd : ir. J.J. Flikweert

Goedgekeurd : ir. J.J. Flikweert

Paraaf: 

Paraaf: 



INHOUDSOPGAVE

	blz.
1. INLEIDING	1
1.1 Inleiding	1
1.2 Aanleiding en doel	1
1.3 Leeswijzer	2
2. BESCHRIJVING STROOMGEBIEDEN	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Maas	3
2.3 Belangrijkste laterale toestromingen van de Maas	3
2.3.1 Algemene resultaten zijrivieren	3
2.3.2 Geul	4
2.3.3 Geleenbeek	4
2.3.4 Roer	4
2.3.5 Neerbeek	4
2.3.6 Niers	5
2.3.7 Dommel en Aa	5
2.4 Land van Maas en Waal	6
2.5 Kleinere laterale toestromen van de Maas	6
3. AANWEZIGE GEGEVENS	7
3.1 Inleiding	7
3.2 Neerslaggegevens	7
3.3 Afvoeren, waterstands (Q-h) gegevens	8
3.4 Gemaalgegevens	9
4. METHODIEK	10
4.1 Inleiding	10
4.2 Methodiek belangrijkste laterale toestromingen	10
4.2.1 (Algemene) beschrijving MLR met SPSS	11
4.2.1.1 SPSS - voorbereiding	12
4.2.1.2 SPSS - "randvoorwaarden"	12
4.2.1.3 SPSS - parameters	14
4.2.1.4 SPSS - uitwerking	15
4.3 Methodiek Land van Maas en Waal	15
4.4 Methodiek kleinere laterale toestromingen	16
5. NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE GEUL	18
5.1 Inleiding	18
5.2 Bepaling parameters Geul	18
5.3 Keuze dataset	19



5.4	Eerste dags voorspelling Geul	20
5.4.1	Model met de 'enter'-methode	20
5.4.2	Model met de 'stepwise'-methode	20
5.4.3	Verificatie en calibratie	22
5.4.4	Analyse resultaten	23
5.5	De tweede, derde en vierde dags voorspelling	24
5.6	Conclusie	26
6.	NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE GELEENBEEK	27
6.1	Inleiding	27
6.2	Bepaling parameters Geleenbeek	27
6.3	Keuze dataset	27
6.4	Eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling	28
6.4.1	Neerslag-afvoer relatie	28
6.4.2	Analyse resultaten	29
6.5	Conclusie	30
7.	NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE ROER	31
7.1	Inleiding	31
7.2	Bepaling parameters Roer	31
7.3	Keuze dataset	31
7.4	Eerste dags voorspelling Roer	32
7.4.1	Neerslag-afvoer relatie	32
7.4.2	Analyse resultaten	32
7.5	De tweede dags voorspelling	34
7.6	De derde en vierde dags voorspelling	35
7.7	Conclusie	36
8.	NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE NEERBEEK	38
8.1	Inleiding	38
8.2	Bepaling parameters Neerbeek	38
8.3	Keuze dataset	38
8.4	Eerste dags voorspelling Neerbeek	39
8.4.1	Neerslag-afvoer relatie	39
8.4.2	Analyse resultaten	39
8.5	De tweede, derde en vierde dags voorspelling	40
8.5.1	Neerslag-afvoer relatie	40
8.5.2	Analyse resultaten	41
8.6	Conclusie	42
9.	NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE NIERS	44
9.1	Inleiding	44
9.2	Bepaling parameters Niers	44
9.3	Keuze dataset	44
9.4	Eerste dags voorspelling Niers	45
9.4.1	Neerslag-afvoer relatie	45
9.4.2	Analyse resultaten	45



9.5	Tweede dags voorspelling Niers	47
9.5.1	Neerslag-afvoer relatie	47
9.5.2	Analyse resultaten	47
9.6	Derde dags voorspelling	48
9.6.1	Neerslag-afvoer relatie	48
9.6.2	Analyse resultaten	49
9.7	Vierde dags voorspelling	50
9.7.1	Analyse resultaten	50
9.8	Conclusie	51
10.	NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE DOMMEL	52
10.1	Inleiding	52
10.2	Bepaling parameters Dommel	52
10.3	Keuze dataset	52
10.4	Eerste dags voorspelling	53
10.4.1	Neerslag-afvoer relatie	53
10.4.2	Analyse resultaten	53
10.5	Tweede dags voorspelling	55
10.5.1	Neerslag-afvoer relatie	55
10.5.2	Analyse resultaten	55
10.6	Derde en vierde dags voorspelling	56
10.6.1	Neerslag-afvoer relatie	56
10.6.2	Analyse resultaten	56
10.7	Conclusie	57
11.	NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE AA	59
11.1	Inleiding	59
11.2	Bepaling parameters Aa	59
11.3	Keuze dataset	59
11.4	Eerste dags voorspelling	60
11.4.1	Neerslag-afvoer relatie	60
11.4.2	Analyse resultaten	60
11.5	Tweede dags voorspelling	62
11.5.1	Neerslag-afvoer relatie	62
11.5.2	Analyse resultaten	62
11.6	Derde en vierde dags voorspelling	63
11.6.1	Neerslag-afvoer relatie	63
11.6.2	Analyse resultaten	63
11.7	Conclusie	64
12.	NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR HET LAND VAN MAAS EN WAAL	66
12.1	Inleiding	66
12.2	Bepaling parameters	66
12.3	Neerslag-afvoer relatie	66
12.4	Analyse resultaten	67
12.5	Conclusie	68

13.	NEERSLAG-AFVOER RELATIES VOOR DE KLEINERE LATERALE TOESTROMINGEN	69
13.1	Inleiding	69
13.2	Bepaling kleinere laterale toestromingen	69
13.3	Neerslag-afvoer relatie	69
13.4	Analyse resultaten	70
14.	"CONCLUSIES" EN AANBEVELINGEN	71
14.1	Inleiding	71
14.2	Conclusies (samenvattend)	71
14.2.1	De belangrijkste laterale toestromingen	71
14.2.2	Kleinere laterale toestromingen	74
14.2.3	Het Land van Maas en Waal	74
14.3	Aanbevelingen	75
14.3.1	De (belangrijkste én de kleinere) laterale toestromingen	75
14.3.2	Het Land van Maas en Waal	76
BIJLAGE I	: Kaart met neerslag- en afvoermeetstations	
BIJLAGE II	: Methodiek SPSS	
BIJLAGE III	: Gegevens van de gemalen Groot Maas en Waal	
BIJLAGE IV	: Andere gebruikte methoden in SPSS	
BIJLAGE V	: Figuren neerslag en afvoer belangrijkste laterale toestromingen	
BIJLAGE VI	: Afvoeren berekend en gemeten Geul	
BIJLAGE VII	: Afvoeren berekend en gemeten Geleenbeek	
BIJLAGE VII	: Afvoeren berekend en gemeten Roer	
BIJLAGE IX	: Afvoeren berekend en gemeten Neerbeek	
BIJLAGE X	: Afvoeren berekend en gemeten Niers	
BIJLAGE XI	: Afvoeren berekend en gemeten Dommel	
BIJLAGE XII	: Afvoeren berekend en gemeten Aa	
BIJLAGE XIII	: Neerslag-afvoer relaties belangrijkste laterale toestromingen	



1. INLEIDING

1.1 Inleiding

Het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling van Rijkswaterstaat (RIZA) heeft HASKONING gevraagd neerslag-afvoer relaties op te stellen voor enkele laterale toestromingen naar de Maas.

Dit rapport is gebaseerd op de offerte-aanvraag van het RIZA van 3 juli 2000, kenmerk RIA2000/187 en de offerte met kenmerk K0382.B0/B001/CVH/SHE van 18 juli 2000.

De opdrachtgever en contactpersoon vanuit RIZA was ing. M. Burgdorffer. Vanuit HASKONING B.V. hebben mevrouw ir. C.O.G. van Haselen en ir. J.J. Flikweert de werkzaamheden verzorgd.

1.2 Aanleiding en doel

Het is van groot belang dat de waterstanden bij hoogwater op de Maas zo goed mogelijk kunnen worden voorspeld. Bij Rijkswaterstaat Directie Limburg is een hoogwatervoorspellingsmodel in gebruik, waarvan de kern bestaat uit een 1-D SOBEK-model van de Nederlandse Maas. De randvoorwaarden van het model worden gevormd door de bovenstroomse afvoer (bij Borgharen), de benedenstroomse waterstand (bij Anna Jacominaplaat) en de laterale toestroming vanuit allerlei zijrivieren en beken.

De bovenstroomse en benedenstroomse rand is tamelijk nauwkeurig bekend, maar voor de laterale toestroming wordt in het huidige model een zeer globale benadering gebruikt: er wordt gewerkt met weekgemiddelde waarden; op basis daarvan worden de laterale toestromingen ingevoerd. Hierdoor kan de dynamiek van de laterale toestromingen niet goed worden weergegeven. De hoogwatervoorspellingen van de Maas kunnen worden verbeterd door een betere modellering van de laterale toestroming.

Daarom heeft RIZA, in opdracht van Rijkswaterstaat Directie Limburg, een project opgestart om te komen tot, uiteindelijk, eenvoudige en goede modellen van de laterale toestromingen van de Maas (in Nederland). Om hiertoe te komen worden in het project een viertal fasen onderscheiden:

- Fase 1: inventarisatie;
- Fase 2: bepaling opzet modelbeschrijving;
- Fase 3: neerslag-afvoer modellen;
- Fase 4: implementatie SOBEK (inclusief hoogwatervoorspellingsmodel).

Fase 1 is in mei 2000 door HASKONING afgerond. Het resultaat van deze inventarisatie is vastgelegd in het rapport K0382.A0/R002/LH/SHE. Deze inventarisatie is gebruikt als uitgangspunt voor de uitvoering van fase 3: het resultaat van dit rapport. In voorliggend rapport wordt een beschrijving gegeven van de gehanteerde methodiek, de uiteindelijk bepaalde neerslag-afvoerrelaties van de laterale toestromingen en de bijbehorende conclusies en aanbevelingen.

De opdracht van RIZA en dus doel van deze studie is het ontwikkelen van eenvoudige neerslag-afvoermodellen voor een aantal zijrivieren van de Maas waarmee de dynamiek van de zijrivieren wordt weergegeven. Deze neerslag-afvoermodellen zullen worden ontwikkeld in het statistische programma SPSS met behulp van multi-lineaire regressie. Met deze modellen wordt een eerste, tweede, derde én een vierde dags voorspelling gemaakt die kan worden gebruikt gedurende hoogwater. Een eerste dags voorspelling is een voorspelling voor over 24 uur, een tweede dags voorspelling is een voorspelling voor over 48 uur, etc.

Voor het land van Maas en Waal zal ook een neerslag-afvoer relatie worden afgeleid, alleen niet met behulp van SPSS maar op basis van de aanwezige gegevens van de gemalen (draaiuren).

Als laatste zullen, voor de kleinere laterale toestromingen, neerslag-afvoer relaties worden afgeleid uit de belangrijkste laterale toestromingen middels een oppervlakte-relatie (factor).

1.3 Leeswijzer

Na deze inleiding wordt in Hoofdstuk 2 een korte beschrijving gegeven van de stroomgebieden. Een uitgebreidere beschrijving is te vinden in het rapport "Inventarisatie Laterale Toestromingen Maas" (K0382.A0/R002/LH/SHE). In hoofdstuk 3 worden de aanwezige gegevens beschreven. Deze data-sets worden gebruikt om de neerslag-afvoerrelaties af te leiden. De methodiek wordt beschreven in hoofdstuk 4. Gekozen is voor Multi-Lineaire Regressie (MLR) met het programma SPSS. De resultaten, de neerslag-afvoerrelaties die zijn berekend met het programma SPSS, worden in de hoofdstukken 5 tot en met 11 beschreven. Hierin worden de resultaten tevens geanalyseerd. In hoofdstuk 12 staan de resultaten van het Land van Maas en Waal en in hoofdstuk 13 de resultaten van de kleinere laterale toestromingen. Tenslotte worden de conclusies en aanbevelingen in het laatste hoofdstuk beschreven.

2. BESCHRIJVING STROOMGEBIEDEN

2.1 Inleiding

In onderstaande paragrafen zal een korte beschrijving worden gegeven van de stroomgebieden welke in deze studie van belang zijn. Een uitgebreidere beschrijving van de stroomgebieden wordt gegeven in het rapport "Laterale Toestroming Maas; inventarisatie".

2.2 Maas

Het stroomgebied van de Maas heeft een oppervlakte van 36.000 km², de totale lengte van de rivier is 935 km. De Maas is een typische regenrivier, het afvoerregime is onregelmatig, de reactie van de Maas op een grote hoeveelheid neerslag in België en Frankrijk is binnen enkele uren (dagen) in Nederland te merken. Dit bleek onder andere heel duidelijk gedurende het hoogwater van januari 1995. De korte reactietijd komt ondermeer door de vorm van het stroomgebied, de relatief geringe grondwaterberging en het relatief grote verval van ongeveer 45 meter op de Grensmaas in Nederland. De gemiddelde afvoer van de Maas bij Borgharen is 230 m³/s, de maximale afvoer tijdens het hoogwater in 1993 was 3039 m³/s.

2.3 Belangrijkste laterale toestromingen van de Maas

2.3.1 Algemene resultaten zijrivieren

In tabel 2.1 wordt, van ieder van de beschouwde zijrivieren, het gemiddelde en de maximale afvoer, de variantie, standaarddeviatie en mediaan van de (gebruikte) afvoerreksen gegeven.

Tabel 5.1: statistische gegevens (m³/s) van de zijrivieren (1990 tot 1998/ 1999).

	Geul	Geleenbeek	Roer	Neerbeek	Niers	Aa	Dommel
Gemid.	3.01	2.59	20.31	1.87	6.94	6.96	13.09
Maximum	36.31	26.75	109.23	35.99	41.52	77.38	100.37
Variantie	5.91	3.08	152.37	3.29	17.16	50.36	136.11
Stdev	2.43	1.75	12.34	1.81	4.14	7.10	11.67
Mediaan	2.33	2.12	16.26	1.48	5.86	4.81	9.11
Aantal	3481	3408	3586	2763	3242	3517	3633
Jaren	90-99	90-99	90-99	90-98	90-98	90-99	90-99

2.3.2 Geul

Het oppervlak van het stroomgebied van de Geul bedraagt 388 km². De maximale afvoer van de Geul (tussen 1975 en 1995) bedraagt 45 m³/s. De Geul mondt uit in de Maas bij het plaatsje Bunde. De Geul reageert over het algemeen sneller op neerslag dan de Maas. De afvoer van de Geul is daarom vaak alweer dalende (ca 20 m³/s) als de Maas haar hoogste waterstand bereikt. De Geul heeft een sterk hellend stroomgebied.

2.3.3 Geleenbeek

Het oppervlak van het stroomgebied van de Geleenbeek bedraagt 400 km². De maximale afvoer van de Geleenbeek (tussen 1975 en 1995) bedraagt 44 m³/s. De Geleenbeek watert samen met de Middelgraaf via de Oude Maas af op de Maas. Het stroomgebied is heuvelachtig en bevat een aanzienlijk oppervlak stedelijk gebied (Heerlen, Brunssum, Hoensbroek, Geleen en Sittard). Hierdoor reageert het systeem binnen enkele uren op neerslag.

2.3.4 Roer

Het stroomgebied van de Roer is 2105 km² bovenstrooms van het meetpunt Stah. De Roer is ongeveer 205 km lang en mondt uit in de Maas bij Roermond. De Roer en de Maas reageren beide ongeveer even snel op neerslag. Hierdoor vallen de afvoerpieken van de Maas en de Roer regelmatig samen als er zowel in de Ardennen als in de Eiffel hevige neerslag plaatsvindt. De looptijd van de hoogwatergolf tussen het moment waarop de neerslag is gevallen in de Ardennen en het optreden van de hoogwatergolf bedraagt enkele dagen.

De afvoer van de Roer wordt in belangrijke mate bepaald door twee stuwmereen op Duits grondgebied die ook in droge perioden over voldoende capaciteit beschikken om de afvoer voor langere tijd op peil te houden. Volgens afspraken wordt er in natte tijden maximaal 60 m³/s uitgelaten. De maximale toevoer naar de stuwmereen kan oplopen tot 300 m³/s. De Roer is dus een sterk gereguleerde rivier met een door stuwbeheer beïnvloed stromingsregime.

2.3.5 Neerbeek

Het stroomgebied van de Neerbeek heeft een oppervlak van 386 km². De Neerbeek ontspringt in het Peelgebied, aan de linkeroever van de Maas en mondt uit in de Maas bij het plaatsje Neer. De Tungelroyse Beek, de Roggelse Beek en de Haelense Beek stromen samen in de Neerbeek. De maximale afvoer van de Neerbeek is ongeveer 30 m³/s.

2.3.6 Niers

Het stroomgebied van de Niers beslaat een oppervlak van 1358 km². De Niers ontspringt ten zuiden van Mönchengladbach in Duitsland en heeft een totale lengte van 119 km. Het grootste gedeelte van het stroomgebied ligt op Duits grondgebied, slechts enkele km² liggen op Nederlands grondgebied. Het stroomgebied van de Niers behoort tot de grotere van de zijrivieren van de Maas, is relatief vlak en ligt voor het grootste gedeelte onder de 100 m+NAP. De Niers stroomt in de Maas bij Ottersum, aan de rechteroever van de Maas.

Tussen de afvoeren op de Niers en de Maas is geen directe relatie. Langdurige regenval in de Ardennen zou echter wel kunnen leiden tot het samenvallen van de afvoerpieken van beide rivieren. De maximale afvoer van de Niers (tussen 1975 en 1995) bedraagt 39 m³/s.

2.3.7 Dommel en Aa

Het stroomgebied van de Aa beslaat een oppervlakte van 721 km², het stroomgebied van de Dommel is inclusief de Boven Dommel, de Beerze en Reuzel, de Beneden Dommel en het deel van het stroomgebied dat in België ligt 1742 km². In Den Bosch komen de Aa en de Dommel samen in de Dieze. De Dieze is een riviertje van slechts enkele kilometers. Onder normale omstandigheden stroomt water zowel via de Dieze naar de spuisluis Crevecoeur als via het Drongelenskanaal naar de Maas. Het maximale debiet dat op deze wijze geloosd kan worden bedraagt ongeveer 140 à 160 m³/s. Dit kan totdat het Maaspeil hoger komt dan het Diezepeil. Op een bepaald moment (afhankelijk van het buitenpeil op de Maas en het binnenpeil van de Dieze) wordt Crevecoeur gesloten om te voorkomen dat Maaswater naar binnenstroomt. Daarna kan er alleen nog via het Drongelenskanaal water afgevoerd worden. Dit kanaal kan maximaal 110 m³/s afvoeren en loost water via de Bovenlandse sluis (ter hoogte van Waalwijk) onder vrij verval op de Bergsche Maas. Vanuit het beheersgebied van waterschap De Dommel lozen ook de Broekley en de Zandley op het Drongelenskanaal.

2.4 Land van Maas en Waal

Het Land van Maas en Waal bevindt zich tussen de rivieren de Maas en de Waal. In het Land van Maas en Waal zijn 12 gemalen relevant voor deze studie: Van Dam van Brakel, HC de Jongh, De Baanbreker, De Rietschoof, Bern, Alem, Heerewaarden, Quarles van Ufford, Bloemers, Hedel en Van Citters I en II. Alle gemalen lozen op de Maas. Voor detailgegevens over de gemalen wordt verwezen naar het rapport "Laterale Toestromingen Maas; inventarisatie".

Het Land van Maas en Waal reageert over het algemeen vrij snel op extreme neerslaghoeveelheden. Een extreme neerslaggebeurtenis is na enkele uren tot een halve dag merkbaar bij het lozingspunt. Het samenvallen van hoogwater op de Maas en een groot waterbezwaar uit het beheersgebied is echter gebaseerd op toevallig samenvallen van (meteorologische) omstandigheden.

2.5 Kleinere laterale toestromen van de Maas

In de offerte is beschreven dat de volgende laterale toestromingen zullen worden beschouwd: de Jeker, de Voer, de Vlootbeek, tussen Roermond en Grave: de Everlose Beek, de Groote Molenbeek, de Sambeekse Uitwatering, de Oeffeltse Raam, de Raam en als diffuse lozing de Vlaamse beken langs de Grensmaas. In samenspraak met de opdrachtgever (ing. M.C. Burgdorffer) zijn deze veranderd in: de Jeker, de Voer, het Margraten Plateau, de directe afwatering naar de Grensmaas, de Vlootbeek, kleine beken bij de Neerbeek, de Thornerbeek en de Uffelse Beek, de Swalm, de instroming in de Maas vanaf de Oostoever tussen Reuver-Gennep, de Peel, de Jansbeek, de Raam, de instroming in de Maas vanaf de oostoever tussen Gennep en Nijmegen en de Hertogswetering. De maximale afvoeren van deze rivieren zijn in het algemeen lager dan die van de belangrijkste laterale toestromingen van de Maas (zie paragraaf 2.3). De piekafvoer van de Jeker (tussen 1975 en 1995) is bijvoorbeeld 14 m³/s, die van de Everlose Beek slechts 1,7 m³/s. Voor meer gegevens van deze kleinere riviertjes wordt verwezen naar het rapport "Laterale Toestroming Maas; inventarisatie".

De dynamiek van bovengenoemde kleinere laterale toestromingen zal worden beschreven aan de hand van de belangrijkste laterale toestromingen. Er zal een relatie worden opgesteld tussen de oppervlakten van de kleinere laterale toestromingen en van de grotere laterale toestromingen van de Maas.



3. AANWEZIGE GEGEVENS

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van de (aanwezige) neerslag, afvoer-, waterstands- en gemaalgegevens. Deze gegevens zijn aangeleverd door de opdrachtgever. Voor een uitgebreidere beschrijving van gegevens in het Nederlandse deel van het Maasstroomgebied wordt verwezen naar het rapport "Laterale Toestromingen Maas; inventarisatie".

3.2 Neerslaggegevens

In tabel 3.1 worden de neerslagstations gegeven die zijn gebruikt in deze studie. Tevens worden de aanwezige reeksen gegeven en eventuele opmerkingen.

Tabel 3.1: de gebruikte neerslagstations.

Neerslagstation	Reeks	% aanwezig
Aachen	Sept. 1990 tot maart 1999	76
Düsseldorf	Dec. 1990 tot maart 1999	72
Leende	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Boxtel	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Oirschot	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Eindhoven	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Esbeek	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Deurne	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Gemert	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Dinter	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Someren	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Helmond	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Volkel	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Schinveld	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Echt	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Buchten	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Stein	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Noorbeek	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Vaals	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Schinnen	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Schaesberg	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Valkenburg	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Ubachsberg	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Weert	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Heibloem	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Roermond	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Arcen	Jan. 1990 t/m juni 2000	100
Venlo	Jan. 1990 t/m juni 2000	100

Siebengewald	1990 t/m juni 2000	
Nuland	1990 t/m juni 2000	
Tilburg	1990 t/m juni 2000	
Eersel	1990 t/m juni 2000	
Maarheeze	1990 t/m juni 2000	
Nijmegen	1990 t/m juni 2000	
Heumen	1990 t/m juni 2000	
Beek	1990 t/m juni 2000	99

Voor de locaties van de stations wordt verwezen naar de kaart in Bijlage I. De neerslagmetingen van de Nederlandse stations vinden plaats om 8.55 uur. Deze stations behoren tot het KNMI-netwerk.

NB Voor de berekeningen in SPSS en voor het ontwikkelen van de neerslag-afvoermodellen is alleen gebruik gemaakt van de neerslag*metingen* en niet van de neerslag*voorspellingen*. De neerslagvoorspellingen die zijn gebruikt waren immers al neerslagmetingen geworden omdat de gegevens reeds gemeten zijn en dus geen voorspelling meer zijn. In het operationele model kan wél gebruik worden gemaakt van neerslagvoorspellingen. De nauwkeurigheid van de voorspelling kan hierdoor afnemen.

3.3 Afvoeren, waterstands (Q-h) gegevens

De afvoeren van de laterale toestromingen Geul, Geleenbeek, Roer en Dommel worden dagelijks gemeten op een benedenstroomse locatie van de betreffende rivier (zie de kaart in Bijlage I). In de Niers, Neerbeek en Aa worden waterstanden gemeten. Middels een Q-h relatie worden de afvoeren van de Niers, Neerbeek en Aa bepaald. De Niers wordt bemeten op de locatie Venzelderheide en de Neerbeek op de locatie Hammermolen, de Dommel ter hoogte van Bossche Broek. De Aa is samengenomen met de Groote Wetering.

Deze laatste is een klein zijriviertje welke uitstroomt in de Aa voor de stuw Runkampen. De Aa is bemeten bij de stuw Runkampen. Voor alle locaties van de meetstations wordt verwezen naar de kaart in Bijlage I.



In tabel 3.2 zijn de aanwezige gegevens op een rij gezet, en is tevens aangegeven hoeveel procent van de gegevens aanwezig zijn.

Tabel 3.2: de aanwezige afvoergegevens van de zijrivieren.

Rivier	Reeks	% aanwezig
Geul	1-1-1970 tot 31-12-1999	92
Geleenbeek	1-1-1972 tot 31-12-1999	90
Niers	1-1-1973 tot 31-12-1998	88
Neerbeek	1-1-1989 tot 31-12-1998	80
Roer	14-11-1972 tot 31-12-19	98
Dommel	1-1-1978 tot 31-12-1999	100
Groote Wetering	1-1-1990 tot 10-7-2000	97
Aa	1-1-1990 tot 10-7-2000	99

3.4 Gemaalgegevens

In het Land van Maas en Waal staan 12 gemalen: van Dam van Brakel, HC de Jongh, De Baanbreker, De Rietschoof, Bern, Alem, Heerewaarden, Quarles van Ufford, Bloemers, Hedel en Van Citters I en II.

Alleen van de Baanbreker, Stuvers, Bloemers en Quarles van Ufford zijn enkele gegevens voorhanden. Dit betreft de draaiuren in de jaren 1998, 1999 en 2000. Voor een groot deel zijn de gegevens gemiddeld over meerdere dagen of zelfs over een maand. De aanwezige gegevens worden weergegeven in Bijlage II.

4. **METHODIEK**

4.1 **Inleiding**

Het doel van deze studie is het opstellen van neerslag-afvoerrelaties voor een aantal zijrivieren van de Maas. Belangrijk hierbij is dat de modellen eenvoudig zijn en zo goed mogelijk de dynamiek van de afvoergolf weergeven. Als de dynamiek van de afvoergolf goed wordt "gevolgd" betekent dit dat de afvoerpiek op het juiste tijdstip optreedt én dat de hoogte van de afvoerpieken zo juist mogelijk wordt voorspeld.

De neerslag-afvoermodellen zijn opgesteld in het statistische programma SPSS. Met behulp van Multi-Lineaire Regressie (MLR) is voor iedere zijrivier een neerslag-afvoermodel gemaakt. Multi-Lineaire regressie is niets anders dan een lineaire vergelijking opstellen op basis van meerdere (multi) parameters. De modellen zijn gemaakt voor de belangrijkste laterale toestromingen (zie paragraaf 2.3).

Voor het land van Maas en Waal wordt ook een neerslag-afvoer relatie afgeleid, alleen niet op basis van het programma SPSS maar op basis van de aanwezige gegevens van de gemalen: de draaiuren, neerslag van de omliggende stations, het oppervlak van de bemalingsgebieden en de maximale capaciteit.

Daarnaast worden neerslag-afvoer relaties afgeleid voor de kleinere zijrivieren zoals de Jeker, Voer en de Vlootbeek. Deze relaties worden afgeleid uit de belangrijkste laterale toestromingen middels een oppervlakte-relatie (factor).

In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de drie genoemde methodieken. De methodiek gehanteerd bij de belangrijkste laterale toestromingen (SPSS), die van het Land van Maas en Waal en die van de kleinere laterale toestromingen.

Paragraaf 4.2: Belangrijkste laterale toestromingen: Geul, Geleenbeek, Roer, Neerbeek, Niers, Dommel en Aa.

Paragraaf 4.3: Land van Maas en Waal.

Paragraaf 4.4: Kleinere laterale toestromingen.

4.2 **Methodiek belangrijkste laterale toestromingen**

In onderstaande paragraaf zal de (uiteindelijk) gehanteerde methodiek van de belangrijkste laterale toestromingen worden beschreven. Hierin zal allereerst enige algemene informatie worden gegeven over het statistische programma SPSS. Vervolgens zal samenvattend worden beschreven welke stappen zijn gezet totdat de berekeningen kunnen worden gemaakt in SPSS. Hierin komt bijvoorbeeld aan de orde: de controle van de gegevens, de keuze van de representatieve dataset, de keuze van de neerslagstations, de keuze van de

parameters en uiteindelijk de invoerfile voor SPSS. Als laatste zal de methode in SPSS zelf worden beschreven. In Bijlage II zal de gehanteerde methode uitgebreid worden beschreven.

4.2.1 (Algemene) beschrijving MLR met SPSS

Bij Multi-Lineaire Regressie wordt de afhankelijke parameter uitgedrukt als lineaire combinatie van meerdere onafhankelijke parameters. Met behulp van een lineaire vergelijking tussen de onafhankelijke parameters wordt de afhankelijke parameter voorspeld. Voor ieder model dienen echter eerst de parameters te worden bepaald. In formule vorm ziet een lineaire regressie voor bijvoorbeeld een eerste dags voorspelling er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = A_1 * Q_t + A_2 * \text{parameter} + \dots \dots A_n * \text{parameter}$$

De coëfficiënten A_1 t/m A_n worden bij lineaire regressie met behulp van de kleinste kwadraten methode bepaald. Niet iedere parameter levert éénzelfde bijdrage aan het op te stellen model. Er moet dus een keuze worden gemaakt uit de totale hoeveelheid aan onafhankelijke parameters. Deze keuze kan worden gemaakt door SPSS of handmatig. Uiteindelijk zal de keuze leiden tot (hopelijk) het meest optimale en tevens meest eenvoudige neerslag-afvoermodel.

Ter bepaling van de meest optimale set parameters met multi-lineaire regressie biedt SPSS een aantal methoden: de 'enter', de 'forward', de 'remove' en de 'stepwise' methode. Bij de 'enter' methode worden de parameters in één keer ingelezen en worden de coëfficiënten met die set parameters berekend. Bij de 'backward' methode worden in eerste instantie alle parameters gebruikt en worden afhankelijk van een in te stellen criteria (*) parameters uit de berekening gehaald en wordt een volgende berekening gemaakt, totdat de meest optimale set is bepaald met de gekozen methode. Dit is een optimalisatie proces. Bij de 'forward' methode gaat het andersom en worden, afhankelijk van het criteria (*), in plaats van weggehaald, parameters toegevoegd. De 'stepwise' methode is een combinatie van beide methoden. Deze wordt het meest gebruikt.

- (*) Als P_{in} (toelatingscriterium van een parameter) is 0.05 gebruikt en als waarde voor het verwijderingscriterium is 0.1 gehanteerd. Voor de tolerance is de default waarde in SPSS gebruikt: 0.0001. Op basis hiervan is de set coëfficiënten vastgesteld.

4.2.1.1 SPSS - voorbereiding

In onderstaande paragrafen zal worden samengevat welke (inhoudelijke) stappen zijn genomen voordat een berekening kan worden gemaakt in SPSS.

De neerslaggegevens en afvoergegevens zijn gecontroleerd. Gecheckt is wat de minimale en maximale afvoeren én neerslagen waren en of deze binnen de proporties bleven. De waarden "-1", en "-99" (ontbrekende afvoeren) zijn niet opgevuld maar leeg gelaten.

De representatieve tijdreeks is bepaald door de overlappende reeks van afvoer en neerslaggegevens te selecteren. Er waren over het algemeen minder neerslag- dan afvoergegevens aanwezig. De representatieve set, de gebruikte set gegevens, beslaat de periode januari 1990 (7 januari) tot en met december 1998 of 1999. Deze einddatum varieert per rivier.

De bijbehorende neerslagstations voor de zijrivieren Geul, Geleenbeek, Roer, Neerbeek, Niers, Dommel en Aa waren reeds door de opdrachtgever aangeleverd. De neerslagstations van het land van Maas en Waal zijn met behulp van expert-judgement gekozen. In tabel 4.1 worden de gebruikte neerslagstations per zijrivier gegeven.

Tabel 4.1: de (gebruikte) neerslagstations per rivier/gebied.

Rivier	Neerslagstations
Geul	Ubachsberg (K2), Valkenburg (K3), Schaesberg (K4), Schinnen (K5), Vaals (K6), Noorbeek (K7)
Geleenbeek	Stein (K7), Beek (K9), Buchten (K10), Echt (K11), Schinveld (K13)
Roer	Schinveld (K13), Roermond (K20), Aachen, Düsseldorf
Neerbeek	Heibloem (K18), Roermond (K20), Weert (K24)
Niers	Siebengewald (K15), Arcen (K22), Venlo (K23), Düsseldorf
Land van Maas En Waal	Heumen (K49), Nijmegen (K48)
Dommel	Tilburg (K34), Esbeek (K35), Eindhoven (K36), Oirschot (K37), Boxtel (K38), Leende (K39), Eersel (K40), Maarheeze (K41)
Aa	Nuland (K27), Volkel (K28), Helmond (K29), Someren (K30), Dinther (K31), Gemert (K32), Deurne (K33)

De K-nummers die achter de neerslagstations staan zijn dezelfde nummers als die in het rapport "Laterale Toestroming Maas; inventarisatie". De locaties van de neerslagstations zijn weergegeven op de kaart in Bijlage I.

4.2.1.2 SPSS - "randvoorwaarden"

In Excell is een invoerfile opgesteld waarin, samen met de afvoer en de neerslagen, een groot aantal andere parameters, staan. In samenspraak met de opdrachtgever, enkele selectie-criteria zoals model-efficiency (r^2), een vergelijking van enkele statistische gegevens (gemiddelde, maximum, variantie, standaarddeviatie en mediaan zowel over het gehele afvoerbereik als voor

beperkte afvoerbereiken) en een beoordeling op het oog, zijn uiteindelijk 7 onafhankelijke parameters geselecteerd.

- NB₁ De model efficiency geeft een goede indruk van de algehele performance van het model en is gevoelig voor tijdsverschuivingen tussen de gemeten en de berekende afvoeren en het optreden van grote afwijkingen in de toppen.
- NB₂ De standaardafwijking van de residuals geeft aan of de voorspellingen gemiddeld goed zijn. Is deze nul dan is de voorspelling zeer goed. Hoe groter het getal is, des te groter is de afwijking tussen de gemeten en de berekende waarde. Dit kan goed worden aangetoond door voor een klein afvoerbereik de standaardafwijking van de residuals te bekijken.

De 7 overgebleven parameters gaven op basis van bovengenoemde selectiecriteria de beste resultaten. In Bijlage IV worden resultaten gegeven van een eerder geprobeerde methodiek in SPSS. Voor alle rivieren zijn dezelfde parameters gebruikt. Deze parameters tezamen vormen de invoerfile voor SPSS. De invoerfile ziet er als volgt uit:

Afhankelijke parameter:

De te voorspellen afvoer (Q_{T+1} , $T+2$, $T+3$ of $T+4$);

Onafhankelijke parameters:

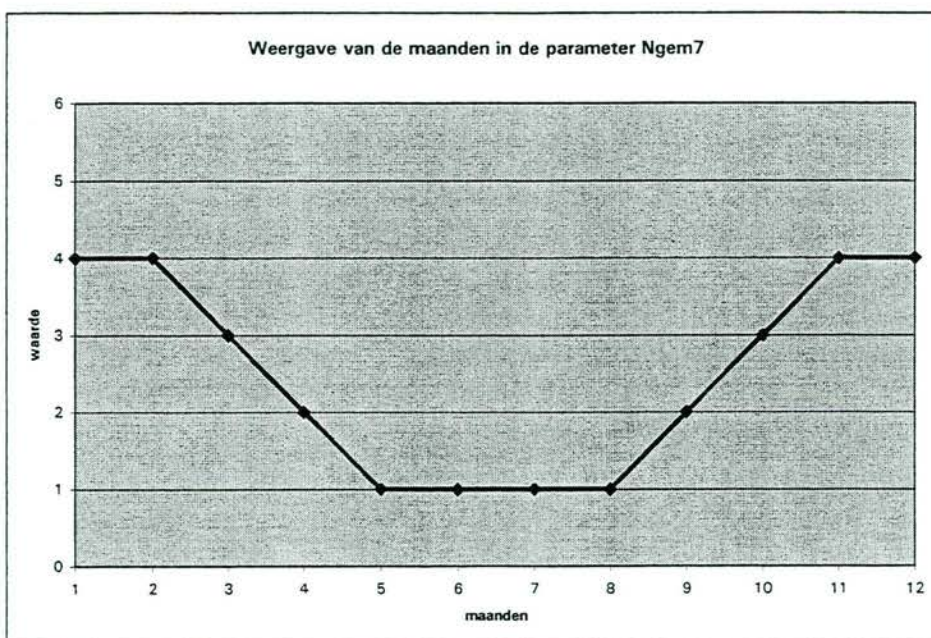
1. de gemeten afvoer op dag $T=0$;
2. de neerslag(voorspelling) (op dag $T-1$, $T=0$, $T+1$, $T+2$, $T+3$ en $T+4$);
3. gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen;
4. gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen in het kwadraat;
5. seizoensafhankelijkheid in de vorm van maand;
6. seizoensafhankelijkheid in het kwadraat;
7. neerslag(voorspellingen) in het kwadraat.

Bij de keuze van de parameters dienen een aantal opmerkingen te worden geplaatst:

- er is gebruik gemaakt van *gemeten afvoeren* en niet van de *voorspelde afvoeren*;
- de gemeten afvoer van vandaag is in iedere invoerfile gelijk (eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling);
- er is gebruik gemaakt van een gemiddelde *gebiedsneerslag*. Deze keuze is gemaakt omdat in de praktijk niet altijd alle gegevens voorhanden, of op tijd aanwezig zijn. Een gemiddelde gebiedsneerslag is echter wel een vereenvoudiging van de werkelijkheid en extreme neerslagpieken worden er (bijna altijd) uitgemiddeld;
- de laterale toestromingen reageren over het algemeen binnen twee dagen op neerslag. De afvoer over het jaar gemiddeld is over het algemeen laag en heel af en toe (extreem) hoog. Derhalve is een parameter opgenomen waarmee de gemiddelde verzadigingsgraad van de bodem wordt weerge-

geven. Hiervoor is gekozen om de gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen te nemen (N_{gem7});

- om de extremititeit van een afvoerpiek beter te kunnen benaderen zijn tevens van enkele variabelen de kwadraten meegenomen;
- de seizoensafhankelijkheid van de zijrivieren van de Maas bleek belangrijk. Daarom is een variabele opgenomen waarmee de seizoeninvloed kan worden weergegeven. Deze parameter is weergegeven volgens figuur 4.1. Hierin hebben januari, februari, november en december een waarde 4 gekregen. Dit is de hoogste waarde. Maart en oktober hebben de waarde 3, april en september hebben de waarde 2 en de zomermaanden de waarde 1 (de laagste waarde).



Figuur 4.1: de weergave van de maanden in de parameter N_{gem7} .

4.2.1.3 SPSS - parameters

Met behulp van een lineaire vergelijking tussen de onafhankelijke parameters wordt de afhankelijke parameter: de afvoer voorspeld. In formule vorm ziet dat er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = A \cdot Q_t + B \cdot \text{maand} + C \cdot \text{maand}^2 + D \cdot N_{T-1} + E \cdot N_T + F \cdot N_{T+1} + G \cdot (N_{T-1})^2 + H \cdot (N_T)^2 + I \cdot (N_{T+1})^2 + J \cdot 1N_{gem7} + K \cdot (1N_{gem7})^2 + L$$

$$Q_{t+2} = A \cdot Q_t + B \cdot \text{maand} + C \cdot \text{maand}^2 + D \cdot N_T + E \cdot N_{T+1} + F \cdot N_{T+2} + G \cdot (N_T)^2 + H \cdot (N_{T+1})^2 + I \cdot (N_{T+2})^2 + J \cdot 2N_{gem7} + K \cdot (2N_{gem7})^2 + L$$

$$Q_{t+3} = A \cdot Q_t + B \cdot \text{maand} + C \cdot \text{maand}^2 + D \cdot N_{T+1} + E \cdot N_{T+2} + F \cdot N_{T+3} + G \cdot (N_{T+1})^2 + H \cdot (N_{T+2})^2 + I \cdot (N_{T+3})^2 + J \cdot 3N_{gem7} + K \cdot (3N_{gem7})^2 + L$$

$$Q_{t+4} = A \cdot Q_t + B \cdot \text{maand} + C \cdot \text{maand}^2 + D \cdot N_{T+2} + E \cdot N_{T+3} + F \cdot N_{T+4} + G \cdot (N_{T+2})^2 + H \cdot (N_{T+3})^2 + I \cdot (N_{T+4})^2 + J \cdot 4N_{gem7} + K \cdot (4N_{gem7})^2 + L$$

4.2.1.4 SPSS - uitwerking

In SPSS is allereerst de autocorrelatie van de data, de set gemeten afvoeren, bepaald. Hiermee is vastgesteld in hoeverre de afvoer van vandaag bepalend is voor de afvoer van morgen, overmorgen en de twee dagen daarna. In samenspraak met de opdrachtgever is beslist om bij een autocorrelatie groter dan 0.50 de afvoer van vandaag mee te nemen als onafhankelijke parameter in de lineaire regressie (tenzij anders aangegeven). Indien de autocorrelatie kleiner is dan 0.50 wordt de afvoer niet meer meegenomen als parameter in de lineaire regressie.

De volgende stap is de hoogte van de afvoer te bepalen bij een frequentieverdeling van 75%. Hierdoor worden de 25% hoogste afvoeren geselecteerd. Met behulp van deze afvoer wordt de dataset verkort. Bij het berekenen van de coëfficiënten zullen dus alleen afvoeren hoger dan bovengenoemde afvoer worden meegenomen. De reden hiervoor is dat het grootste gedeelte van het jaar de afvoeren laag zijn (en relatief constant).

Hoge afvoeren komen relatief weinig voor. Omdat dit een hoogwatervoorspellingsmodel is en uit eerdere bepalingen met SPSS bleek dat de pieken niet voldoende hoog werden berekend als het gehele afvoerbereik werd meegenomen is gekozen voor een kleinere dataset. Door vervolgens te calibreren op de hoogste afvoeren kwamen de berekende afvoeren dichterbij de buurt van de gemeten afvoeren.

Vervolgens zijn in SPSS berekeningen gemaakt met verschillende methodieken. Het resultaat van de zogenaamde 'stepwise' methode geeft een optimale set aan parameters die de te voorspellen afvoer, volgens SPSS, zo juist mogelijk weergeeft.

De verificatie en calibratie van de verschillende modellen is uitgevoerd met dezelfde dataset, dus van 1990 tot 1998 respectievelijk 1999. Met behulp van de set parameters die uit SPSS als beste uit de bus kwamen kan de te voorspellen afvoer worden berekend. Hiertoe zijn de berekende coëfficiënten gekopieerd naar Excel en is de te voorspellen afvoer berekend in Excel.

Tevens zijn enkele statistische eigenschappen van de residuals weggeschreven (gemiddelde, de som, het minimum, maximum, standaard deviatie en de variantie). Daarnaast wordt door SPSS een samenvattende tabel gegenereerd met informatie over de model efficiency, de correlaties tussen de variabelen etc.

4.3 Methodiek Land van Maas en Waal

In het land van Maas en Waal liggen 12 gemalen. Achter ieder van deze gemalen liggen bemalingsgebieden die worden bemalen door het betreffende gemaal. Op basis van de ligging zijn twee clusters van gemalen gemaakt. In cluster A zitten de gemalen van Dam van Brakel, HC de Jongh, De Baanbre-

ker, De Rietschoof, Bern, Alem, Heerewaarden en Hedel en I Cluster B zitten Quarles van Ufford, Bloemers, Van Citters I en II. Cluster A ligt tussen km 205 en 231 en cluster B tussen km 175 en 205.

De gehanteerde methodiek van de neerslag-afvoerrelaties van het Land van Maas en Waal is gebaseerd op zeer weinig gegevens (met name draaiuren). Het grootste gedeelte van de gegevens was een gemiddelde over meerdere dagen of zelfs een gemiddelde over een maand.

De voorgestelde aanpak is daardoor conceptueel van aard. Voor zover mogelijk zijn de resultaten naast de beschikbare gegevens, de tijdserie en de totale hoeveelheid gemalen (over het natte deel van het jaar) gelegd. Deze schatting is alleen te gebruiken over de maanden november tot en met april.

Er wordt voorgesteld om een neerslag-afvoer relatie te maken die gebruik maakt van 3 dagen. Voor een eerste dags voorspelling wordt gebruik gemaakt van de neerslag van gisteren ($T-1$), de neerslag van vandaag ($T=0$) en de voorspelling voor morgen ($T+1$). Op basis van deze vergelijking wordt voorgesteld een reductiefactor van 0.9 in te voeren, waarmee langdurige berging in de bodem en andere verliezen in rekening worden gebracht. Door nu deze factor te vermenigvuldigen met het gemiddelde van de neerslag van gisteren, vandaag en morgen en vervolgens te delen door 1000 en dit getal vervolgens weer te vermenigvuldigen met het areaal van het bemalingsgebied en te delen door 86400 s wordt een schatting gemaakt van de bemaling van één bemalingsgebied. Door dit voor alle bemalingsgebieden uit te voeren en deze te sommeren wordt een schatting verkregen van de totale afvoer afkomstig van alle bemalingsgebieden. De bemalingsgebieden zijn opgedeeld in twee clusters, waarvan de afvoer op twee verschillende locaties de Maas instroomt.

Dus: $0,9 * (\text{gemiddelde neerslag}/1000) * (\text{areaal bemalingsgebied}/86400)$.

4.4 Methodiek kleinere laterale toestromingen

Met behulp van lineaire regressie in SPSS zijn van de zijrivieren Geul, Geleenbeek, Roer, Neerbeek, Niers en de Dommel en Aa, neerslag-afvoer relaties bepaald (zie paragraaf 4.2).

Door de opdrachtgever is een lijst met kleinere laterale toestromingen toegezonden waarin een oppervlakte factor is gegeven waardoor er een relatie ontstaat tussen de belangrijkste- en de kleinere laterale toestromingen. De oppervlakten van de belangrijkste en de kleinere laterale toestromingen worden in tabel 4.2 gegeven. In tabel 4.3 wordt de zijrivier gegeven waaraan het oppervlak is gerelateerd en tevens wat de factor is.

Tabel 4.2: het oppervlak van de laterale toestromingen.

Rivier	Oppervlak (km ²)
Belangrijkste laterale toestromingen	
Geul	388
Geleenbeek	400
Roer	2436
Neerbeek	386
Niers	1320
Land van Maas en Waal	234
Dommel en Aa	2283
Kleinere laterale toestromingen	
Jeker	436
Voer	60
Margraten Plateau	61
Directe afwatering Grensmaas	389
Vlootbeek	123
Neerbeek en overige kleine beken	296
Thornerbeek/Uffelse Beek	160
Swalm	253
Oostoever Reuver-Gennep	405
Peel	504
N-O Brabant-1 (Jansbeek)	343
N-O Brabant-2 (Raam)	223
Oostoever Gennep-Nijmegen	300
N-O Brabant-3 (Hertogswetering)	273

Tabel 4.3: oppervlakte gerelateerde factor voor verschillende rivieren.

Rivier	Oppervlakte gerelateerd aan:	Factor(-)
Jeker, Voer en Plateau van Margraten	Geul	1.44
Belgisch Limburg + overig Grensmaas	Neerbeek	1
Thornerbeek/Uffelse Beek	Neerbeek	0.41
Vlootbeek	Geleenbeek	0.31
Neerbeek en overige kleine beken	Neerbeek	1.77
Swalm + 25% Oostoever Reuver-Gennep	Niers	0.27
Peel	Neerbeek	1.31
N-O Brabant-1 (Jansbeek) + 50% Oostoever Reuver-Gennep	Niers	0.41
Niers + N-O Brabant-2 (Raam) + 25% Oostoever Reuver-Gennep	Niers	1.47
N-O Brabant-3 (Hertogswetering)	Aa	0.33

Concluderend kan worden gesteld dat de eerste dags voorspelling van bijvoorbeeld de Jeker, de Voer en het Margraten Plateau gelijk is aan de berekende voorspelde afvoer van de Geul op hetzelfde tijdstip maal een factor van 1.44.

5. NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE GEUL

5.1 Inleiding

In onderstaande paragrafen worden de resultaten beschreven van de verkregen neerslag afvoer relatie van de Geul. Hierbij wordt de beschreven methodiek in hoofdstuk 4 gehanteerd.

In paragraaf 5.2 zullen de parameters voor de Geul worden bepaald, vervolgens zal een keuze worden gemaakt voor de dataset. Met deze twee keuzen kan de eerste dags voorspelling voor de Geul worden gemaakt (paragraaf 5.4) met zowel de 'enter' als de 'stepwise' methode. De verificatie en calibratie van deze twee modellen en de analyse van de resultaten wordt tevens in dit hoofdstuk beschreven. De formules voor de tweede, derde en vierde dags voorspelling worden in paragraaf 5.5 gemaakt. De formules voor alle dagen worden opgesomd in de laatste paragraaf.

5.2 Bepaling parameters Geul

Nadat de Excel-file is ingelezen in SPSS is de autocorrelatie van de gemeten afvoerreeks bepaald. Deze wordt weergegeven in tabel 5.2. Hieruit blijkt dat de autocorrelatie van dag 1 groter is dan 0,5. Bij de andere dagen is de autocorrelatie kleiner dan 0,5.

Tabel 5.2: autocorrelatie voor dag 1, 2, 3 en 4 voor de Geul.

Dag	Autocorrelatie
1	0,65
2	0,40
3	0,30
4	0,22

Volgens de beschreven methodiek (hoofdstuk 4) betekent dit dat voor een eerste dags voorspelling de gemeten afvoer als parameter zal worden meegenomen. Voor de tweede, derde en vierde dag zal de parameter afvoer niet worden meegenomen. De samenstelling van de parameters in het uiteindelijke neerslag-afvoer model van de eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling zal er als volgt uit zien:

$$Q_{t+1} = A * Q_t + B * maand + C * maand^2 + D * N_{T-1} + E * N_T + F * N_{T+1} + G * (N_{T-1})^2 + H * (N_T)^2 + I * (N_{T+1})^2 + J * 1N_{gem7} + K * (1N_{gem7})^2 + L$$

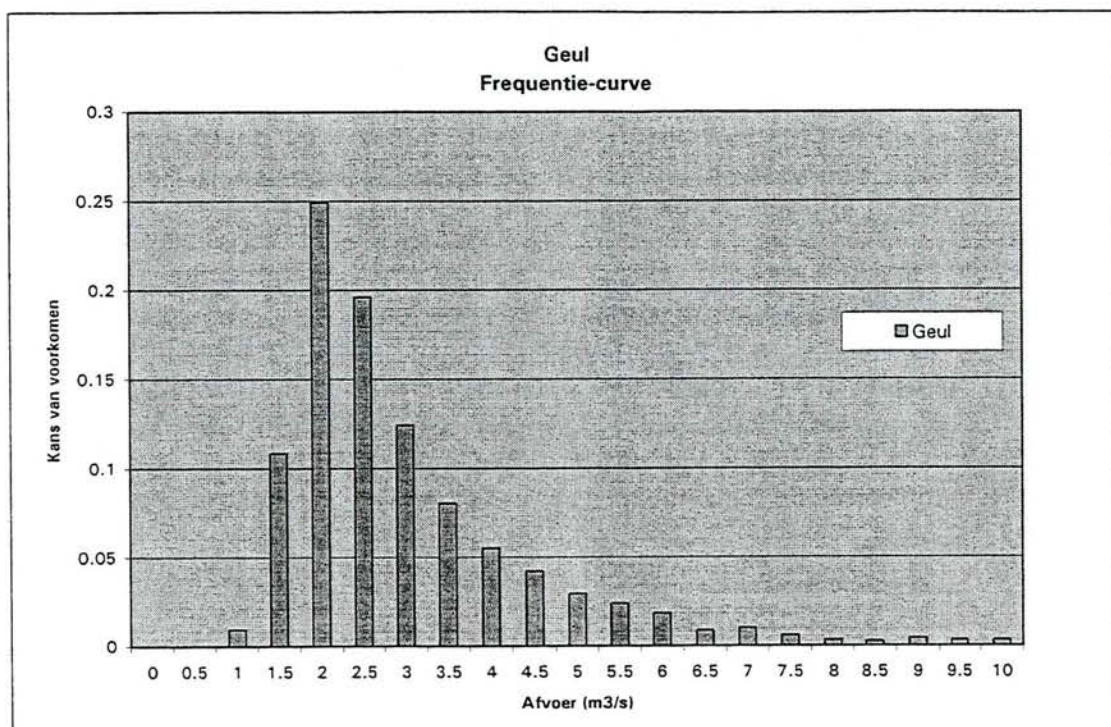
$$Q_{t+2} = B * maand + C * maand^2 + D * N_T + E * N_{T+1} + F * N_{T+2} + G * (N_T)^2 + H * (N_{T+1})^2 + I * (N_{T+2})^2 + J * 2N_{gem7} + K * (2N_{gem7})^2 + L$$

$$Q_{t+3} = B * maand + C * maand^2 + D * N_{T+1} + E * N_{T+2} + F * N_{T+3} + G * (N_{T+1})^2 + H * (N_{T+2})^2 + I * (N_{T+3})^2 + J * 3N_{gem7} + K * (3N_{gem7})^2 + L$$

$$Q_{t+4} = B \cdot \text{maand} + C \cdot \text{maand}^2 + D \cdot N_{T+2} + E \cdot N_{T+3} + F \cdot N_{T+4} + G \cdot (N_{T+2})^2 + H \cdot (N_{T+3})^2 + I \cdot (N_{T+4})^2 + J \cdot 4N_{\text{gem}7} + K \cdot (4N_{\text{gem}7})^2 + L$$

5.3 Keuze dataset

Vervolgens is de frequentieverdeling van de afvoer van de Geul bepaald. Deze wordt weergegeven in figuur 5.1. Hierin is te zien dat de verdeling scheef verdeeld is (zoals van een frequentieverdeling van een rivier zou worden verwacht).



Figuur 5.1 De frequentieverdeling van de afvoer van de Geul.

Tabel 5.3: afvoer bij een frequentieverdeling van 75%.

	Afvoer (m³/s)
75%	3.36
N	873

De afvoer waarboven de hoogste 25% van de afvoeren zich bevindt heeft een waarde van 3.36 m³/s. Dit zijn 873 waarden. Deze berekende waarde is gebruikt om de dataset te verkleinen, er is in SPSS gebruik gemaakt van een filter. Deze filtert bij een eerste dags voorspelling alle afvoeren van de te voorspellen afvoer die lager zijn dan 3.36 m³/s eruit. Dit betekent dat de coëfficiënten ook slechts bepaald worden op deze set en dus in feite niet geldig zijn op het afvoerbereik lager dan 3.36 m³/s.

Met deze set gegevens is Multi Lineaire Regressie toegepast. Met de 'enter' methode is de belangrijkheid van de verschillende parameters bepaald. Deze kan worden afgelezen aan de Student-t waarde. Hierbij is gekeken naar Student t-waarden die groter zijn dan 2 of kleiner zijn dan -2.

5.4 Eerste dags voorspelling Geul

Allereerst is een model gemaakt voor een eerste dags voorspelling. De parameters die moesten worden bepaald zijn:

$$Q_{t+1} = A*Q_t + B*maand + C*maand^2 + D*N_{T-1} + E*N_T + F*N_{T+1} + G*(N_{T-1})^2 + H*(N_T)^2 + I*(N_{T+1})^2 + J*1N_{gem7} + K*(1N_{gem7})^2 + L$$

5.4.1 Model met de 'enter'-methode

In tabel 5.4 worden de parameters, coëfficiënten en de Student-t waarden van de eerste dags voorspelling, bepaald met de 'enter'-methode, gegeven. De model efficiency (de r^2) van dit enter model is 0,75. Uit tabel 5.4 is af te leiden dat er vier parameters in het 'enter' model zitten welke een Student-t waarden hebben die tussen de -2 en de 2 liggen. Tevens valt op dat het aandeel van de gemeten afvoer in de eerste dags voorspelling zeer hoog is. De coëfficiënten staan in de kolom ernaast.

Tabel 5.4: de parameters, coëfficiënten en de Student-t waarden van de eerste dags voorspelling voor de Geul, bepaald met de 'enter' methode.

Parameter	Coëfficiënt	Student-t waarde
(Constant)	-1,82076	-3,48259
Maand	1,368876	3,361473
Maand ²	-0,19188	-2,59191
1N _{gem7}	0,086068	1,028335
1(N _{gem7}) ²	-0,01149	-1,39677
NT-1	0,004319	0,157673
NT	-0,05549	-2,29863
NT + 1	0,269589	12,994
(NT-1) ²	-0,00293	-2,59576
(NT) ²	-0,00153	-1,86851
(NT + 1) ²	0,001497	2,071402
Q-t	0,766977	30,69237

5.4.2 Model met de 'stepwise'-methode

Vervolgens is, met de 'stepwise'-methode, een nieuw model gemaakt. In tabel 5.5 staan de parameters welke zijn geselecteerd met de 'stepwise' methode. Deze parameters leveren, volgens SPSS, het grootste aandeel om een eerste dags voorspelling te maken. Er vallen een aantal zaken op in tabel 5.5: de Student-t waarden zijn allemaal kleiner dan -2 of groter dan +2. De Student-t waarde van de afvoer is 33: de hoogste van allemaal.

Dat betekent dat de afvoer van vandaag zeer belangrijk is om de afvoer van morgen te kunnen voorspellen. De tweede belangrijke parameter is de voorspelde neerslag voor morgen. Deze heeft een Student-t waarde van 13. Als laatste dient te worden opgemerkt dat dit een logisch model lijkt. Immers de Student-t waarden nemen af naarmate de neerslagen langer geleden zijn gevallen. De model efficiency r^2 is, ten opzichte van het 'enter' model, niet afgenomen, en is 0,75.

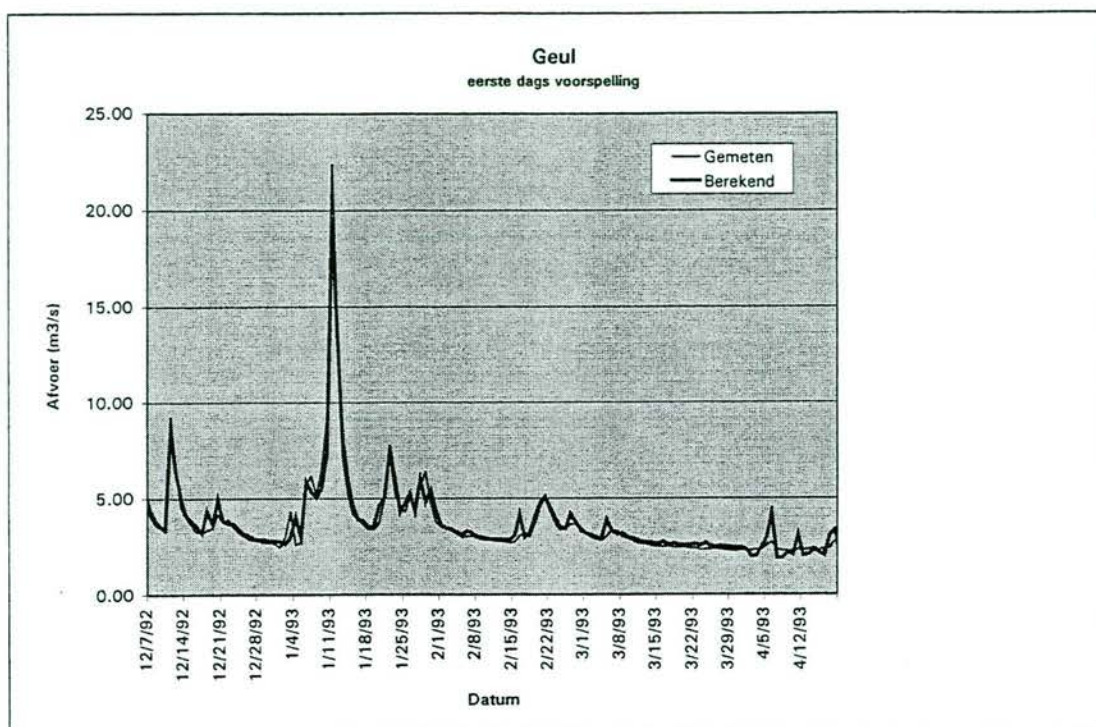
Tabel 5.5: de parameters, coëfficiënten en de Student-t waarden van de eerste dags voorspelling, bepaald met de 'stepwise' methode.

Parameter	Coëfficiënt	Student-t waarde
(Constant)	-1,69668	-3,41078
Q-t	0,756285	33,30434
NT + 1	0,268433	12,99935
(NT) ²	-0,00189	-2,44117
(NT-1) ²	-0,00296	-5,90192
Maand	1,382343	3,412594
Maand2	-0,19289	-2,61908
(NT + 1) ²	0,001536	2,132474
NT	-0,04609	-2,01437

Het bepaalde model voor de eerste dags voorspelling ziet er als volgt uit:

$$\begin{aligned}
 Q_{t+1} = & 0,756285 * Q_t + 1,382343 * maand - 0,19289 * maand^2 - \\
 & 0,04609 * N_T + 0,268433 * N_{T+1} - 0,00296 * (N_{T-1})^2 - \\
 & 0,00189 * (N_T)^2 + 0,001536 * (N_{T+1})^2 - 1,69668
 \end{aligned}$$

Mits: $Q_{t+1} > 3.36 \text{ m}^3/\text{s}$



Figuur 5.2: de gemeten en de berekende afvoer van de eerste dags voorspelling voor de Geul.

5.4.3 Verificatie en calibratie

Vervolgens zijn de berekende en de gemeten afvoeren tegen elkaar uitgezet. Deze worden gepresenteerd in figuur 5.2. De pieken en de dalen worden over het algemeen goed berekend. Let bij het beoordelen van de grafiek wel op het feit dat bij afvoeren lager dan 3.36 m³/s het model eigenlijk niet juist is. De berekende en de gemeten afvoeren van de hoogwaters in 1993 en 1995 zijn uitgezet in Bijlage VI.

Tabel 5.6: enkele statistische gegevens (m³/s) van de eerste dags voorspelling (berekend mét en zonder de parameter afvoer).

	Gemeten	Berekend	Berekend
		<i>Met afvoer</i>	<i>Zonder afvoer</i>
Gemiddeld	3,01	2,84	3,70
Maximum	36,31	25,41	21,62
Variantie	5,91	5,90	4,85
Stdev	2,43	2,43	2,20
Mediaan	2,33	2,32	3,69
Minimum	0,74	-5,27	0,70
Aantal	3481	3633	3633

Tabel 5.7: enkele statistische gegevens (m^3/s) van de residuals van de eerste dags voorspelling van de Geul (berekend mét en zonder de parameter afvoer).

Met afvoer	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
Gemiddeld	-0,06	-0,18	-0,11	2,87	2,14	-5,15
Maximum	7,45	6,77	3,48	5,36	5,82	-1,53
Variantie	0,91	3,02	7,05	2,59	10,92	12,09
Stdev	0,95	1,74	2,65	1,61	3,30	3,48
Mediaan	0,02	0,09	0,58	2,69	3,18	-4,76
Minimum	-15,94	-13,82	-7,73	0,62	-4,36	-10,89
Count	3113	295	49	9	8	5
Zonder afvoer	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
Gemiddeld	0,85	-0,12	-1,56	-0,54	-2,63	-16,21
Maximum	9,09	8,02	8,83	5,87	16,93	-13,78
Variantie	2,37	5,15	14,76	15,71	86,73	7,24
Stdev	1,54	2,27	3,84	3,96	9,31	2,69
Mediaan	0,97	-0,17	-0,82	-0,43	-3,55	-15,33
Minimum	-15,24	-15,63	-11,67	-6,75	-15,89	-20,78
Count	3113	295	49	9	8	5

5.4.4 Analyse resultaten

Doordat de neerslag-afvoer relatie is bepaald met (alleen) de gemeten afvoeren groter dan $3,36 \text{ m}^3/\text{s}$ zijn sommige (lage) afvoeren lager dan nul berekend. In de praktijk is niet mogelijk. Derhalve wordt voorgesteld de volgende stappen uit te voeren gedurende het maken van een voorspelling: de afvoer waarde van de eerste dags voorspelling te berekenen. Indien deze groter is dan $3,36 \text{ m}^3/\text{s}$, dan is deze (in principe) goed berekend. Indien de voorspelde afvoer lager is dan $3,36 \text{ m}^3/\text{s}$ dan is het model hier niet op gecalibreerd en wordt voorgesteld een vaste afvoer te hanteren. Bijvoorbeeld $3,36 \text{ m}^3/\text{s}$, maar de gemiddelde afvoer zou bijvoorbeeld ook een goede keuze zijn. Opgemerkt dient te worden dat dit niet van grote relevantie is omdat dit model voor hoogwaterdoeleinden zal worden gebruikt.

Gedurende het gehele optimalisatie proces is niet alleen gelet op de model efficiency maar ook op enkele statistische eigenschappen over verschillende afvoerbereiken. De resultaten worden van de 'stepwise' methode gepresenteerd. Bij verschillende methodieken kunnen grote verschillen zijn. Opgevallen is dat met name de range van bijvoorbeeld de standaardvariatie kleiner werd naarmate het model beter werd. Resultaten van de eerder gehanteerde methodieken worden beschreven in Bijlage IV. Als laatste is gekeken naar de statistische gegevens van de residuals. Deze worden in de tabellen 5.6 en 5.7 gepresenteerd.

5.5 De tweede, derde en vierde dags voorspelling

De methode van de tweede, derde en vierde dags voorspelling is hetzelfde als die van de eerste dags voorspelling. Het enige verschil is dat er geen afvoer als parameter wordt meegenomen in het model. De resultaten van de 'enter' methode worden gegeven in tabel 5.8. De model efficiency van dit model is 0,47.

De resultaten van de 'stepwise' methode worden gegeven in tabel 5.9. De model efficiency van dit model is 0,46. De parameters van de derde en de vierde dags voorspelling zijn hetzelfde als die van de tweede dags voorspelling. Ze worden naast elkaar weergegeven in tabel 5.10.

Tabel 5.8: de parameters, coëfficiënten en de Student-t waarden van de tweede dags voorspelling, bepaald met de 'enter'-methode voor de Geul.

Parameter	Coëfficiënt	Student-t waarde
(Constant)	-1.6174	-2.14288
MAAND	2.788484	4.773834
Maand ²	-0.36581	-3.43314
NT-1	0.130333	3.33029
NT	0.153963	4.598527
NT + 1	0.221496	7.409647
1N _{gem7}	-0.10494	-0.87171
1(N _{gem7}) ²	0.044148	3.811739
(NT-1) ²	-0.00486	-2.98189
(NT) ²	-0.0018	-1.52148
(NT + 1) ²	0.00204	1.954008

Tabel 5.9: de parameters, coëfficiënten en de Student-t waarden van de tweede dags voorspelling, bepaald met de 'stepwise'-methode voor de Geul.

Parameter	Coëfficiënt	Student-t waarde
(Constant)	-1.90921	-2.63889
NT + 2	0.278023	20.27614
2(N _{gem7}) ²	0.036323	9.166497
MAAND	3.018214	5.175006
NT + 1	0.113929	7.008908
Maand ²	-0.40466	-3.79979

Tabel 5.10: de parameters voor de tweede, derde en vierde dags voorspelling met de 'stepwise'-methode voor de Geul.

Parameters			
Tweede dag	Derde dag	Vierde dag	Coëfficiënt
(Constant)	(Constant)	(Constant)	-1.90921
NT + 2	NT + 3	NT + 4	0.278023
2(Ngem7) ²	3(Ngem7) ²	4(Ngem7) ²	0.036323
MAAND	MAAND	MAAND	3.018214
NT + 1	NT + 2	NT + 3	0.113929
Maand ²	Maand ²	Maand ²	-0.40466

In figuur 5.3 worden de berekende en de gemeten afvoeren voor de tweede dags voorspelling gegeven. Duidelijk is dat de tweede, derde en de vierde dags voorspelling slechter zijn dan de eerste dags voorspelling. Ook de model efficiency is veel lager. Een model met een efficiency lager dan 0,5 is minder goed dan het gemiddelde, en dus niet zo goed.

In een alternatieve methode is de parameter afvoer bij *alle* voorspellingen meegenomen. Hierdoor werden hogere modeefficiency verkregen doch de afvoerpiek verschoof in de tijd. De piek van de berekende en de gemeten afvoer kwamen niet op hetzelfde tijdstip (zie Bijlage IV). In samenspraak met de opdrachtgever is besloten deze methodiek terzijde te leggen. Hierdoor is gekozen voor de nu gehanteerde methode waarmee de afvoertoppen op het juiste tijdstip worden voorspeld. De modeefficiency is echter soms iets lager.

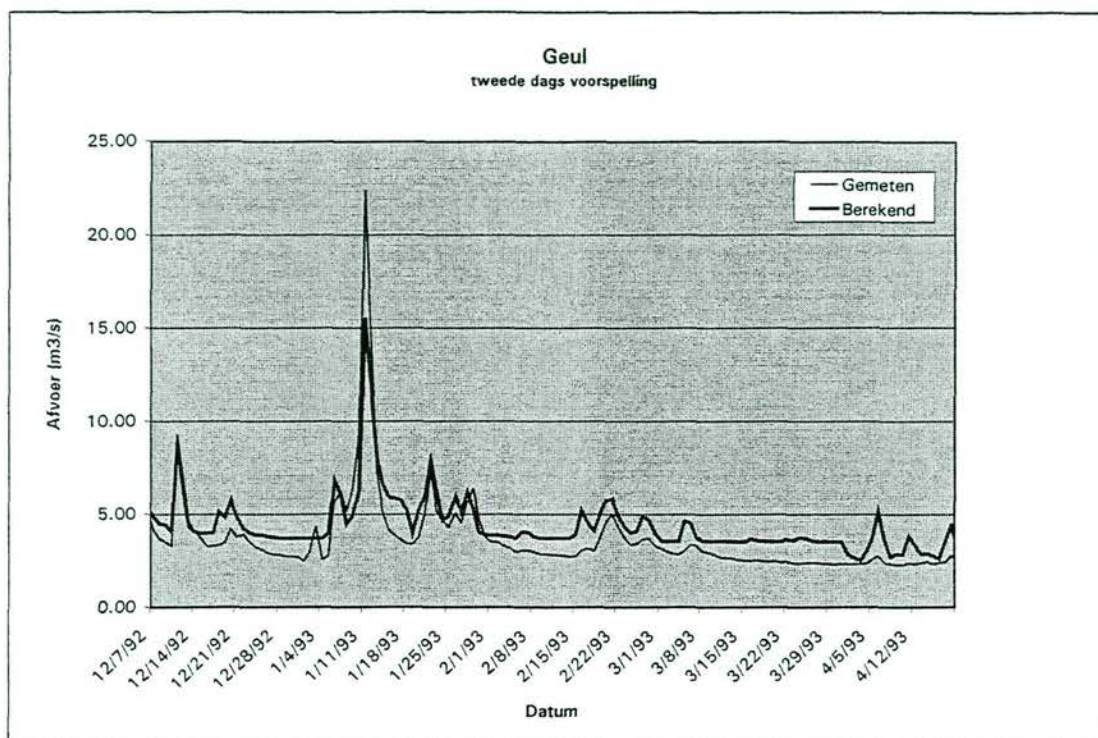
De berekende voorspellingsmodellen voor de tweede, derde en vierde dag zien er als volgt uit:

$$Q_{t+2} = -1.90921 + 3.018214 \cdot \text{maand} - 0.40466 \cdot \text{maand}^2 + 0.113929 \cdot N_{t+1} + 0.278023 \cdot N_{t+2} + 0.036323 \cdot (2N_{\text{gem7}})^2$$

$$Q_{t+3} = -1.90921 + 3.018214 \cdot \text{maand} - 0.40466 \cdot \text{maand}^2 + 0.113929 \cdot N_{t+2} + 0.278023 \cdot N_{t+3} + 0.036323 \cdot 3(N_{\text{gem7}})^2$$

$$Q_{t+4} = -1.90921 + 3.018214 \cdot \text{maand} - 0.40466 \cdot \text{maand}^2 + 0.113929 \cdot N_{t+3} + 0.278023 \cdot N_{t+4} + 0.036323 \cdot 4(N_{\text{gem7}})^2$$

Mits: $Q_{t+1} > 3.36 \text{ m}^3/\text{s}$



Figuur 5.3: de berekende en de gemeten afvoer van de tweede dagsvoorspelling van de Geul.

5.6 Conclusie

De neerslag-afvoer relaties voor de Geul zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.756285 * Q_t + 1.382343 * \text{maand} - 0.19289 * \text{maand}^2 - 0.04609 * N_T + 0.268433 * N_{T+1} - 0.00296 * (N_{T-1})^2 - 0.00189 * (N_T)^2 + 0.001536 * (N_{T+1})^2 - 1.69668$$

$$Q_{t+2} = -1.90921 + 3.018214 * \text{maand} - 0.40466 * \text{maand}^2 + 0.113929 * N_{T+1} + 0.278023 * N_{T+2} + 0.036323 * (2N_{\text{gem7}})^2$$

$$Q_{t+3} = -1.90921 + 3.018214 * \text{maand} - 0.40466 * \text{maand}^2 + 0.113929 * N_{T+2} + 0.278023 * N_{T+3} + 0.036323 * 3(N_{\text{gem7}})^2$$

$$Q_{t+4} = -1.90921 + 3.018214 * \text{maand} - 0.40466 * \text{maand}^2 + 0.113929 * N_{T+3} + 0.278023 * N_{T+4} + 0.036323 * 4(N_{\text{gem7}})^2$$

Mits: $Q_{t+1} > 3.36 \text{ m}^3/\text{s}$

De model efficiency (r^2) van de neerslag afvoermodellen is:

Dag 1: 0,75

Dag 2: 0,46

Dag 3: 0,46

Dag 4: 0,46

6. NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE GELEENBEEK

6.1 Inleiding

Voor de Geleenbeek is een zelfde werkwijze uitgevoerd als voor de Geul. In paragraaf 6.2 zullen de parameters voor de Geleenbeek worden bepaald, vervolgens zal een keuze worden gemaakt voor de dataset (paragraaf 6.3). De resultaten van de eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling voor de Geleenbeek zal worden beschreven in paragraaf 6.4, de conclusie met de neerslag afvoermodellen (formules) worden in paragraaf 6.5 gegeven.

6.2 Bepaling parameters Geleenbeek

De autocorrelatie van de gemeten afvoerreeks is bepaald (zie tabel 6.1). Hieruit blijkt dat de autocorrelatie van alle dagen kleiner is dan 0.5: er zal dus geen afvoer worden meegenomen om de voorspellingsmodellen te bepalen. Dit betekent dat de modellen voor de eerste, tweede, derde en de vierde dags voorspelling hetzelfde zullen zijn.

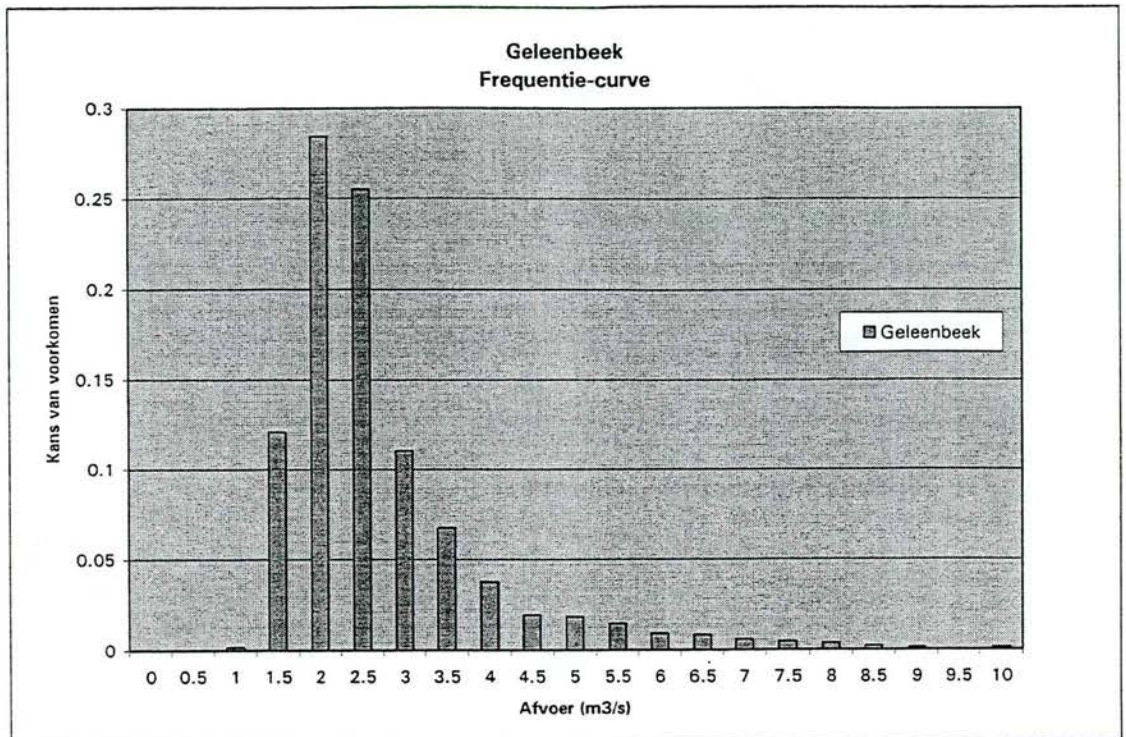
Tabel 6.1: autocorrelatie voor dag 1, 2, 3 en 4 voor de Geleenbeek.

Dag	Autocorrelatie
1	0,20
2	-0,01
3	0,03
4	0,01

6.3 Keuze dataset

Vervolgens is de frequentieverdeling van de afvoer van de Geleenbeek bepaald. Deze wordt weergegeven in figuur 6.1. Hierin is te zien dat de verdeling scheef verdeeld is.

De hoogste 25% van de afvoeren ligt boven de $2,79 \text{ m}^3/\text{s}$ (zie tabel 6.2). Dit zijn 852 waarden. Deze afvoer is gebruikt om de dataset te verkleinen: er is in SPSS gebruik gemaakt van een filter. Deze filtert de te voorspellen afvoer die lager is dan $2,79 \text{ m}^3/\text{s}$ eruit. Dit betekent dat de coëfficiënten ook slechts bepaald worden op deze set en dus in feite niet geldig zijn om het afvoerbereik lager dan $2,79 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 6.1: de frequentieverdeling van de afvoer van de Geleenbeek.

Tabel 6.2: afvoer bij een frequentieverdeling van 75%.

	Afvoer (m ³ /s)
75	2.79
N	852

6.4 Eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling

6.4.1 Neerslag-afvoer relatie

De neerslag-afvoer relaties voor de eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling van de Geleenbeek zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 2.498041 + 0.273298 \cdot N_{T+1} + 0.00197 \cdot (N_T)^2 + 0.00205 \cdot (N_{T+1})^2 + 0.023734 \cdot \text{maand}^2 + 0.060906 \cdot 1N_{\text{gem}7}$$

$$Q_{t+2} = 2.498041 + 0.273298 \cdot N_{T+2} + 0.00197 \cdot (N_{T+1})^2 + 0.00205 \cdot (N_{T+2})^2 + 0.023734 \cdot \text{maand}^2 + 0.060906 \cdot 2N_{\text{gem}7}$$

$$Q_{t+3} = 2.498041 + 0.273298 \cdot N_{T+3} + 0.00197 \cdot (N_{T+2})^2 + 0.00205 \cdot (N_{T+3})^2 + 0.023734 \cdot \text{maand}^2 + 0.060906 \cdot 3N_{\text{gem}7}$$

$$Q_{t+4} = 2.498041 + 0.273298 \cdot N_{T+4} + 0.00197 \cdot (N_{T+3})^2 + 0.00205 \cdot (N_{T+4})^2 + 0.023734 \cdot \text{maand}^2 + 0.060906 \cdot 4N_{\text{gem}7}$$

Mits: Q_{t+1} OF Q_{t+2} OF Q_{t+3} OF $Q_{t+4} > 2.79 \text{ m}^3/\text{s}$

6.4.2 Analyse resultaten

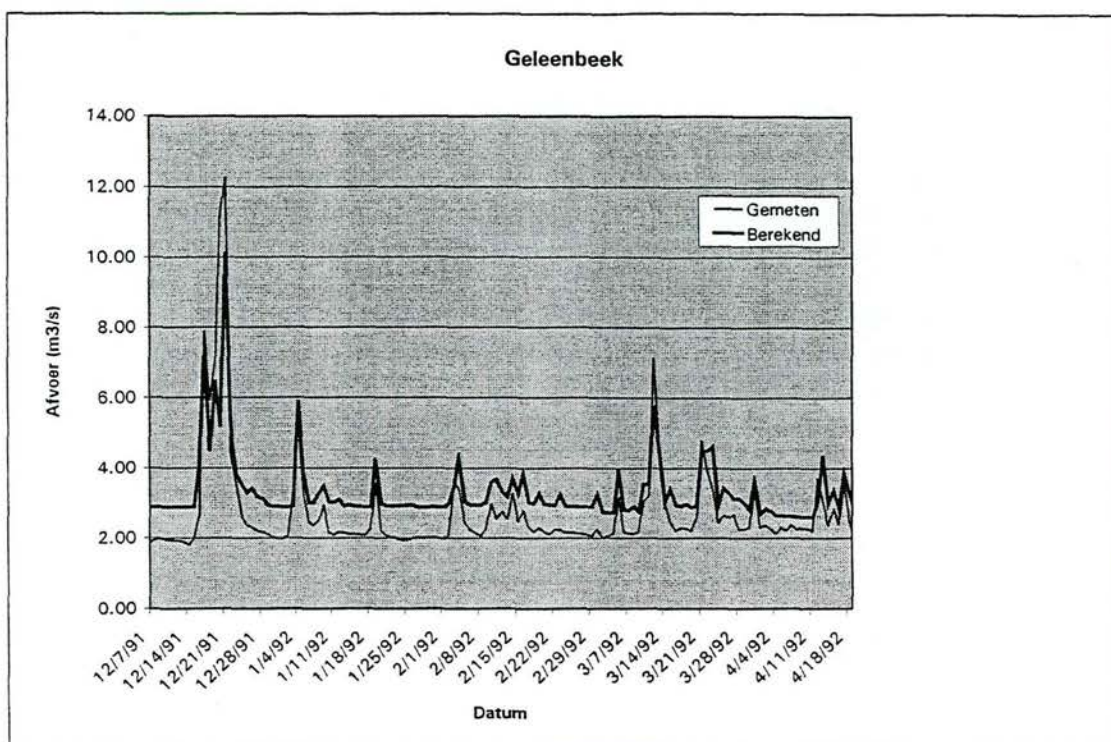
De berekende en de gemeten afvoeren zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 6.2. De dynamiek van het afvoerproces wordt goed weergegeven, de pieken worden echter over het algemeen te laag berekend. Let bij het beoordelen van de grafiek wel op het feit dat bij gemeten afvoeren lager dan 2,79 m³/s het model eigenlijk niet juist is. De berekende en de gemeten afvoeren van de van de hoogwaters in 1993 en 1995 zijn uitgezet in Bijlage VI. In tabel 6.3 en 6.4 worden statistische gegevens van de gemeten en berekende afvoeren naast elkaar gepresenteerd en worden enkele statistische gegevens van de residuals per afvoerbereik gegeven. De model efficiency r^2 van alle modellen is 0.60.

Tabel 6.3: enkele statistische resultaten van de gemeten en de berekende afvoeren (m³/s) voor de eerste dags voorspelling voor de Geleenbeek.

	Gemeten	Berekend
Gemiddeld	2.59	3.35
Maximum	26.75	29.67
Variantie	3.08	1.59
Stdev	1.75	1.26
Mediaan	2.12	2.95
Minimum	0.93	2.50
Count	3408	3633

Tabel: 6.4: enkele statistische gegevens (m³/s) per afvoerbereik voor de residuals van de Geleenbeek.

Afvoerbereik (m ³ /s)	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
Gemiddeld	0.82	0.32	0.32	1.42	1.21	-0.75
Maximum	7.49	6.22	4.89	3.87	3.17	3.20
Variantie	0.94	2.57	5.29	4.46	4.36	31.29
Stdev	0.97	1.60	2.30	2.11	2.09	5.59
Mediaan	0.93	0.44	0.81	0.97	1.45	-0.75
Minimum	-16.31	-6.25	-6.26	-0.97	-0.99	-4.71
Count	3190	184	23	5	3	2



Figuur 6.2: berekende en gemeten afvoeren voor de Geleenbeek.

6.5

Conclusie

De neerslag-afvoer relaties voor de Geleenbeek zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 2.498041 + 0.273298 \cdot N_{T+1} + 0.00197 \cdot (N_T)^2 + 0.00205 \cdot (N_{T+1})^2 + 0.023734 \cdot \text{maand}^2 + 0.060906 \cdot 1N_{\text{gem}7}$$

$$Q_{t+2} = 2.498041 + 0.273298 \cdot N_{T+2} + 0.00197 \cdot (N_{T+1})^2 + 0.00205 \cdot (N_{T+2})^2 + 0.023734 \cdot \text{maand}^2 + 0.060906 \cdot 2N_{\text{gem}7}$$

$$Q_{t+3} = 2.498041 + 0.273298 \cdot N_{T+3} + 0.00197 \cdot (N_{T+2})^2 + 0.00205 \cdot (N_{T+3})^2 + 0.023734 \cdot \text{maand}^2 + 0.060906 \cdot 3N_{\text{gem}7}$$

$$Q_{t+4} = 2.498041 + 0.273298 \cdot N_{T+4} + 0.00197 \cdot (N_{T+3})^2 + 0.00205 \cdot (N_{T+4})^2 + 0.023734 \cdot \text{maand}^2 + 0.060906 \cdot 4N_{\text{gem}7}$$

Mits: Q_{t+1} OF Q_{t+2} OF Q_{t+3} OF $Q_{t+4} > 2.79 \text{ m}^3/\text{s}$

De model efficiency (r^2) van de neerslag afvoermodellen is:

Dag 1: 0,60

Dag 2: 0,60

Dag 3: 0,60

Dag 4: 0,60

7. NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE ROER

7.1 Inleiding

De gehanteerde methodiek in SPSS van de Roer verschilt op twee punten met die van de andere zijrivieren. Ten eerste zal er geen gebruik worden gemaakt van de afvoergrens waarboven de hoogste 25% van de afvoeren zich bevinden maar zullen er alleen afvoeren boven de 60 m³/s worden meegenomen in de berekeningen. De reden hiertoe zijn de stuwmeren op Duits grondgebied die van grote invloed zijn op het afvoerproces van de Roer. Gedurende hoogwater laten de stuwmeren maximaal 60 m³/s door. Ten tweede zal alleen voor de eerste en de tweede dags voorspelling de parameter afvoer worden meegenomen, wat de autocorrelatie van de afvoerreeks ook is. Dit in verband met de invloed van de stuwmeren op het afvoerregime van de Roer.

7.2 Bepaling parameters Roer

Nadat de Excel-file is ingelezen in SPSS is de autocorrelatie van de gemeten afvoerreeks bepaald. Deze wordt weergegeven in tabel 7.1. Hieruit blijkt dat de autocorrelatie van alle dagen groter is dan 0,5. In samenspraak met de opdrachtgever is besloten de parameter afvoer mee te nemen in de eerste dags en de tweede dags voorspelling. Dit als gevolg van de invloed van de stuwmeren op het afvoerregime van de Roer.

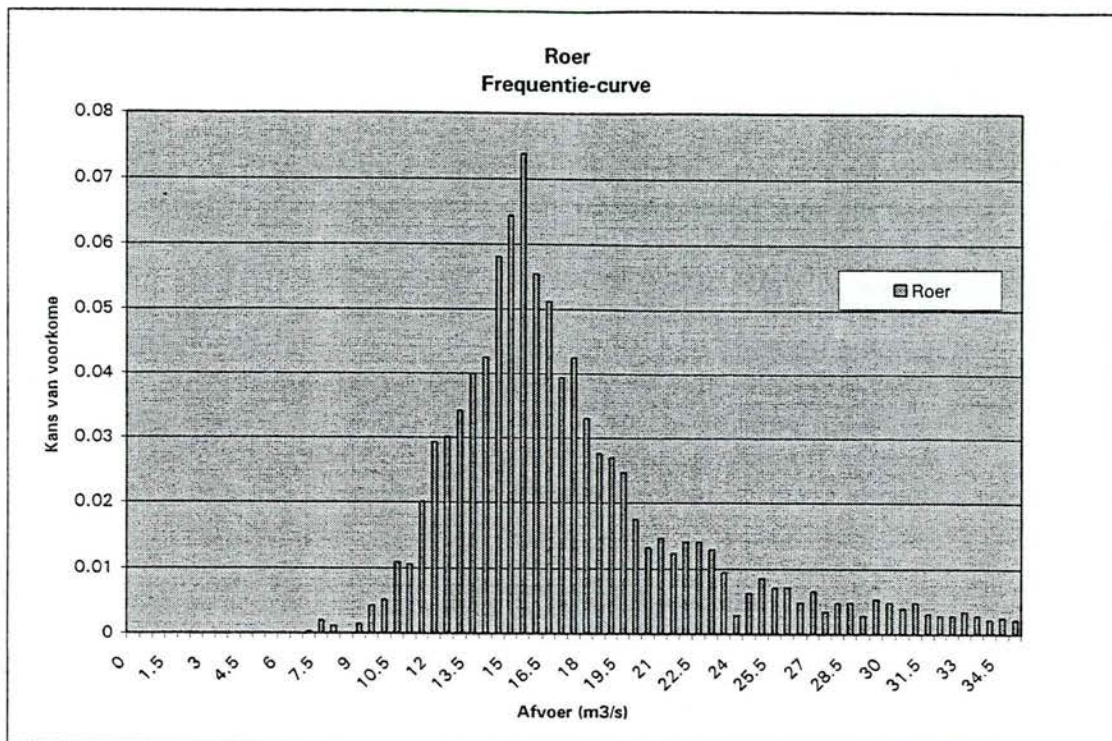
Tabel 7.1: autocorrelatie voor dag 1, 2, 3 en 4 voor de Roer.

Dag	Autocorrelatie
1	0,95
2	0,90
3	0,86
4	0,82

7.3 Keuze dataset

Zoals in de inleiding reeds is beschreven, zal, bij de keuze van de dataset geen gebruik worden gemaakt van de afvoer waarboven de hoogste 25% van de afvoeren zich bevinden maar zal, in de berekeningen, alleen gebruik worden gemaakt van afvoeren boven de 60 m³/s. Volgens afspraken wordt er in natte tijden namelijk maar maximaal 60 m³/s uitgelaten. Indien wel de 25% zou worden gehanteerd zouden afvoeren boven de 21 m³/s worden meegenomen. Dit betekent dat, bij gebruik van 60 m³/s, het percentage van de pieken zelfs minder is dan 25%.

De frequentieverdeling van de Roer wordt in figuur 7.1 weergegeven. De grens van 60 m³/s staat niet meer in de grafiek omdat de kans van voorkomen na 30 m³/s laag is.



Figuur 7.1: de frequentieverdeling van de Roer.

7.4 Eerste dags voorspelling Roer

7.4.1 Neerslag-afvoer relatie

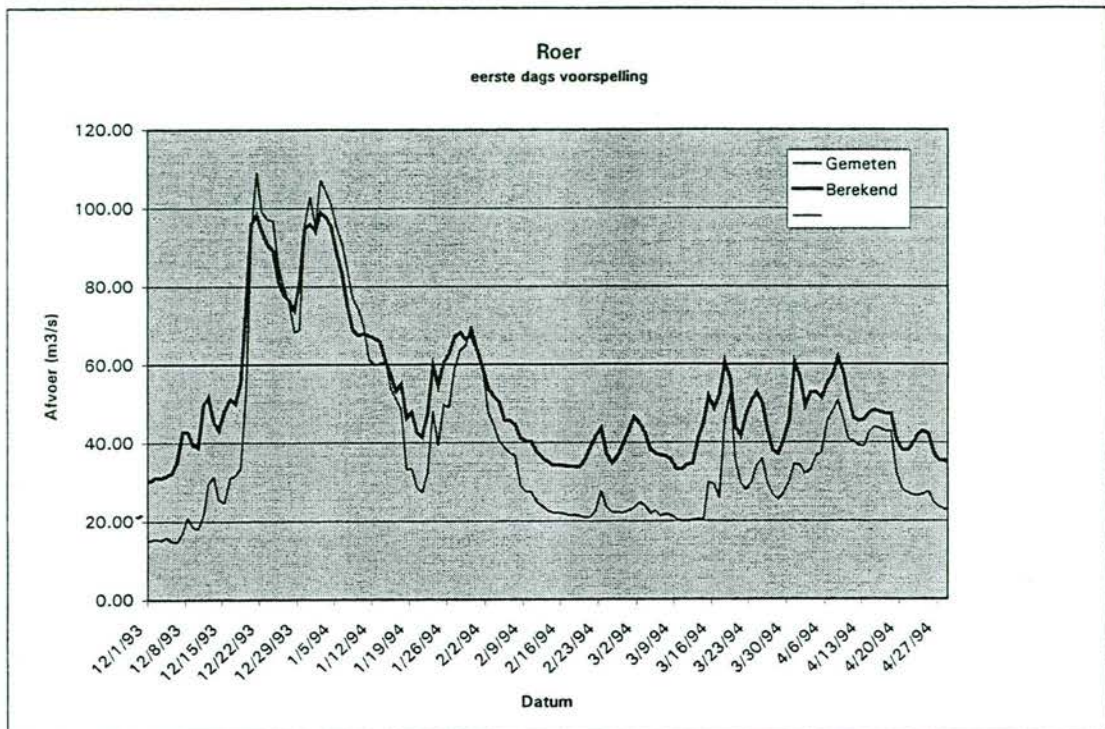
De neerslag-afvoer relatie voor de eerste dags voorspelling van de Roer ziet er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.629143 \cdot Q_t + 0.800031 \cdot N_T + 1.207889 \cdot N_{T+1} + 2.416139 \cdot N_{T-1} - 0.26881 \cdot (N_{T-1})^2 + 20.36727$$

Mits: $Q_{t+1} > 60 \text{ m}^3/\text{s}$

7.4.2 Analyse resultaten

De berekende en de gemeten afvoeren zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 7.2. Let op dat een zeer groot gedeelte van de gemeten afvoeren onder de $60 \text{ m}^3/\text{s}$ ligt en het model hier niet op gecalibreerd is! De berekende en de gemeten afvoeren van de van de hoogwaters in 1993 en 1995 zijn uitgezet in Bijlage VIII. In deze bijlage is dit goed te zien. De afvoerpieken boven de $60 \text{ m}^3/\text{s}$ worden over het algemeen vrij goed berekend, alhoewel de duur van een piek vaak iets te lang is.



Figuur 7.2: de berekende en de gemeten afvoer voor de eerste dags voorspelling voor de Roer.

Een groot gedeelte van de gemeten afvoeren tussen 1990 en 1999 ligt onder de 60 m³/s. Hierop is het model niet gecalibreerd. De afvoer boven de 60 m³/s wordt over het algemeen vrij goed berekend maar de afvoeren lager dan 60 m³/s niet. Wat te doen als een afvoer lager is dan 60 m³/s? Als de grafieken in bijlage VIII worden bestudeerd lijkt de optie om dan 60 m³/s aan te houden niet realistisch. Het aannemen dat de afvoer dan gelijk is aan de gemiddelde afvoer lijkt daarentegen beter te kloppen. De gemiddelde afvoer is ruim 20 m³/s over de jaren 1990-1999 en zal iets hoger liggen als langjarig gemiddelde. Voorgesteld wordt om 25 m³/s te hanteren indien nodig. Als laatste is gekeken naar de statistische gegevens van de residuals. Deze worden in tabel 7.2 en 7.3 gepresenteerd. De model efficiency r^2 voor de eerste dags voorspelling is 0.65.

Tabel 7.2: enkele statistische gegevens (m³/s) van de eerste dags voorspelling (berekend mét en zonder de parameter afvoer) voor de Roer.

	Gemeten	Berekend	Berekend
		Met afvoer	Zonder afvoer
Gemiddeld	20.31	36.57	58.49
Maximum	109.23	98.97	83.98
Variantie	152.43	155.19	168.84
Stdev	12.35	12.46	12.99
Mediaan	16.26	33.51	56.06
Minimum	6.76	-178.40	3.61
Aantal	3586	3633	3633

Tabel 7.3: enkele statistische gegevens (m³/s) van de residuals voor de eerste dags voorspelling van de Roer.

Met afvoer	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120
Gemiddeld	18.08	14.55	6.46	1.17	-5.67	-7.68
Maximum	59.95	43.47	22.61	15.01	7.42	-5.66
Variantie	23.01	222.54	266.10	103.52	53.25	3.25
Stdev	4.80	14.92	16.31	10.17	7.30	1.80
Mediaan	16.57	15.05	7.42	1.50	-4.84	-7.52
Minimum	-36.84	-203.06	-158.23	-62.34	-23.37	-10.79
Count	2599	776	122	60	23	6
Zonder afvoer	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120
Gemiddeld	40.02	39.60	18.71	5.42	-8.78	-21.27
Maximum	76.45	83.97	54.45	21.62	-1.45	-16.99
Variantie	122.89	206.54	225.86	60.96	18.64	11.71
Stdev	11.09	14.37	15.03	7.81	4.32	3.42
Mediaan	37.18	39.36	17.75	5.36	-7.46	-21.80
Minimum	-5.95	-24.67	-16.82	-10.41	-16.82	-25.58
Count	2599	776	122	60	23	6

7.5

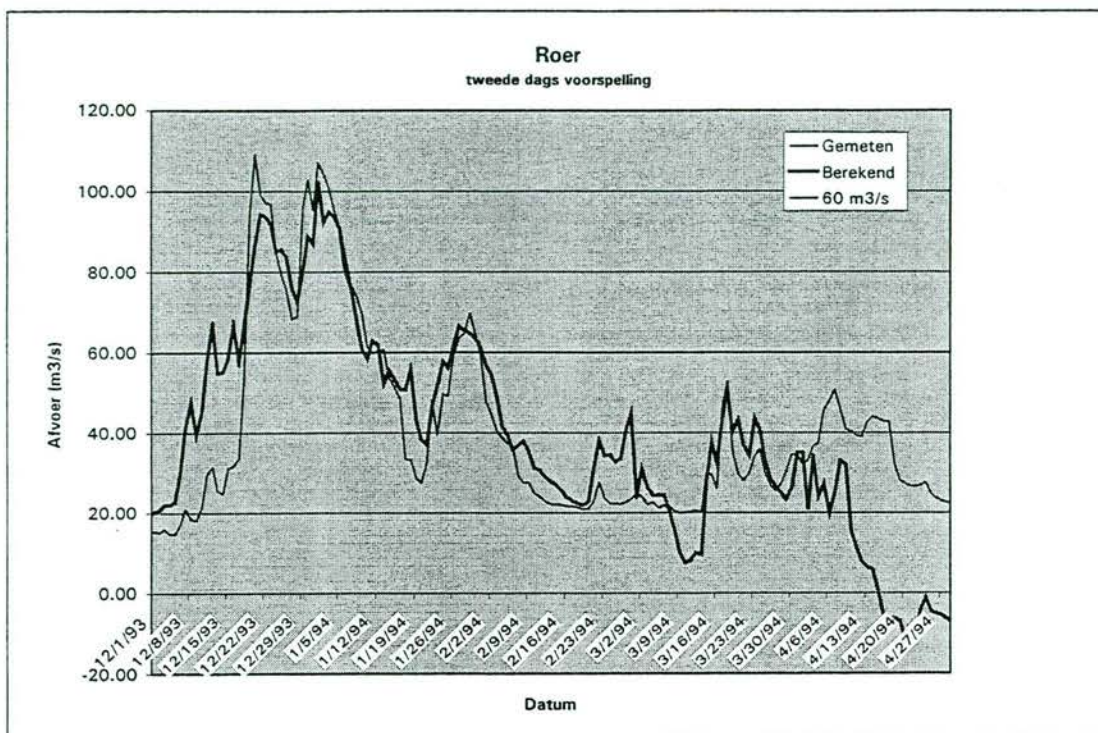
De tweede dags voorspelling

In figuur 7.3 worden de berekende en de gemeten afvoeren voor de tweede dags voorspelling gegeven. De dynamiek van de afvoergolf wordt juist weergegeven. De model efficiency is iets lager dan van de eerste dags voorspelling, maar nog steeds goed: 0.62. De berekende en de gemeten afvoeren van de hoogwaters in 1993 en 1995 zijn uitgezet in bijlage VIII.

Het voorspellingsmodel voor de tweede dag ziet er als volgt uit:

$$\begin{aligned}
 Q_{t+2} = & -62.730136 + 0.41165952 * Q_t + 2.41491583 * N_{T+1} + \\
 & 0.62892351 * N_{T+2} + 12.9417578 * 2N_{\text{gem}7} - \\
 & 1.4900606 * (2N_{\text{gem}7})^2 + 18.918853 * \text{maand}
 \end{aligned}$$

Mits: $Q_n > 60 \text{ m}^3/\text{s}$



Figuur 7.3: de berekende en de gemeten afvoer voor de Roer voor de tweede dags voorspelling.

7.6 De derde en vierde dags voorspelling

De methode van de derde en vierde dags voorspelling is hetzelfde als die van de eerste en de tweede dags voorspelling. Het enige verschil is dat er geen afvoer als parameter wordt meegenomen in het model.

Wat opvalt is dat de voorspelling voor de derde en vierde dag wordt bepaald door de gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de stuwmeren een grote invloed hebben op het afvoerregime en dus ook op het maken van voorspellingen.

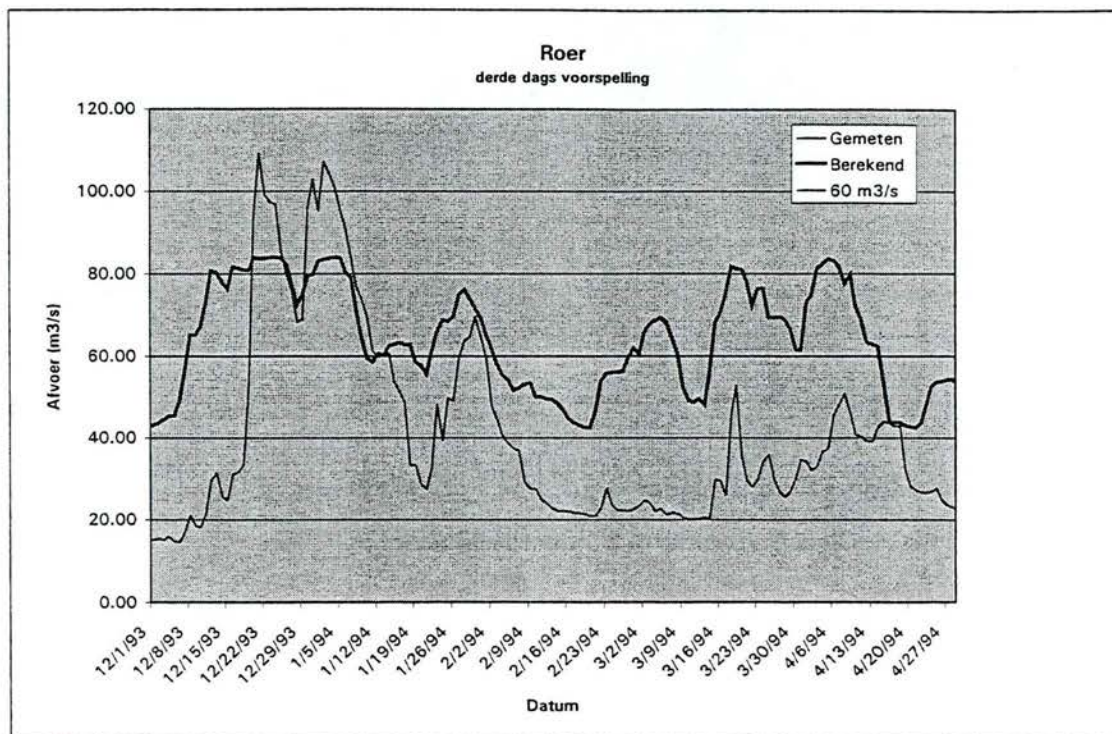
In figuur 7.4 worden de berekende en de gemeten afvoeren voor de derde dags voorspelling gegeven. Duidelijk is dat de derde en de vierde dags voorspelling veel slechter zijn dan de eerste en de tweede dags voorspelling. Ook de model efficiency is veel lager. Deze is 0.27. De berekende en de gemeten afvoeren van de hoogwaters in 1993 en 1995 zijn uitgezet in bijlage VIII. Geconcludeerd kan worden dat een derde en vierde dags voorspelling met deze methodiek niet betrouwbaar zijn en de berekende waarden zijn minder goed dan het gemiddelde. Zowel de hoogte als het tijdstip van optreden als de duur van een afvoergolf worden niet juist berekend. Derhalve wordt aanbevolen nader onderzoek uit te voeren naar hoe de voorspelling kan worden verbeterd.

De berekende voorspellingsmodellen voor de derde en vierde dag zien er als volgt uit:

$$Q_{t+3} = 42.42796 + 17.70472 * 3N_{\text{gem}7} - 1.88601 * (3N_{\text{gem}7})^2$$

$$Q_{t+4} = 42.42796 + 17.70472 * 4N_{\text{gem}7} - 1.88601 * (4N_{\text{gem}7})^2$$

Mits: $Q_n > 60 \text{ m}^3/\text{s}$



Figuur 7.4: de berekende en de gemeten afvoer voor de Roer voor de derde en de vierde dags voorspelling.

7.7

Conclusie

De neerslag-afvoer relaties voor de Roer zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.629143 * Q_t + 0.800031 * N_T + 1.207889 * N_{T+1} + 2.416139 * N_{T-1} - 0.26881 * (N_{T-1})^2 + 20.36727$$

$$Q_{t+2} = -62.730136 + 0.41165952 * Q_t + 2.41491583 * N_{T+1} + 0.62892351 * N_{T+2} + 12.9417578 * 2N_{\text{gem}7} - 1.4900606 * (2N_{\text{gem}7})^2 + 18.918853 * \text{maand}$$

$$Q_{t+3} = 42.42796 + 17.70472 * 3N_{\text{gem}7} - 1.88601 * (3N_{\text{gem}7})^2$$

$$Q_{t+4} = 42.42796 + 17.70472 * 4N_{\text{gem}7} - 1.88601 * (4N_{\text{gem}7})^2$$



Mits: $Q_n > 60 \text{ m}^3/\text{s}$

Indien $Q_n < 60 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt voorgesteld $25 \text{ m}^3/\text{s}$ aan te houden.

De model efficiency (r^2) van de neerslag afvoermodellen is:

Dag 1: 0,65

Dag 2: 0,62

Dag 3: 0,27

Dag 4: 0,27

8. NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE NEERBEEK

8.1 Inleiding

Ook voor de Neerbeek is éénzelfde methodiek toegepast als voor voorgaande rivieren (met uitzondering van de Roer). In paragraaf 8.2 zullen de parameters voor de Neerbeek worden bepaald, vervolgens zal een keuze worden gemaakt voor de dataset (paragraaf 8.3). De eerste dags voorspelling voor de Neerbeek zal worden beschreven in paragraaf 8.4, de tweede, derde en vierde dags voorspelling in paragraaf 8.5 en de conclusies, de neerslag afvoermodellen (formules) in paragraaf 8.6.

8.2 Bepaling parameters Neerbeek

De autocorrelatie van de afvoer van de Neerbeek wordt in tabel 8.1 gegeven. Voor de eerste dags voorspelling heeft de afvoer van vandaag een grote invloed op afvoervoorspelling van morgen. Dientengevolge zal de afvoer van vandaag mee worden genomen als parameter in de eerste dags voorspelling. In de tweede, derde en vierde dags voorspelling zal de parameter afvoer niet zitten.

Tabel 8.1: autocorrelatie voor dag 1, 2, 3 en 4 voor de Neerbeek.

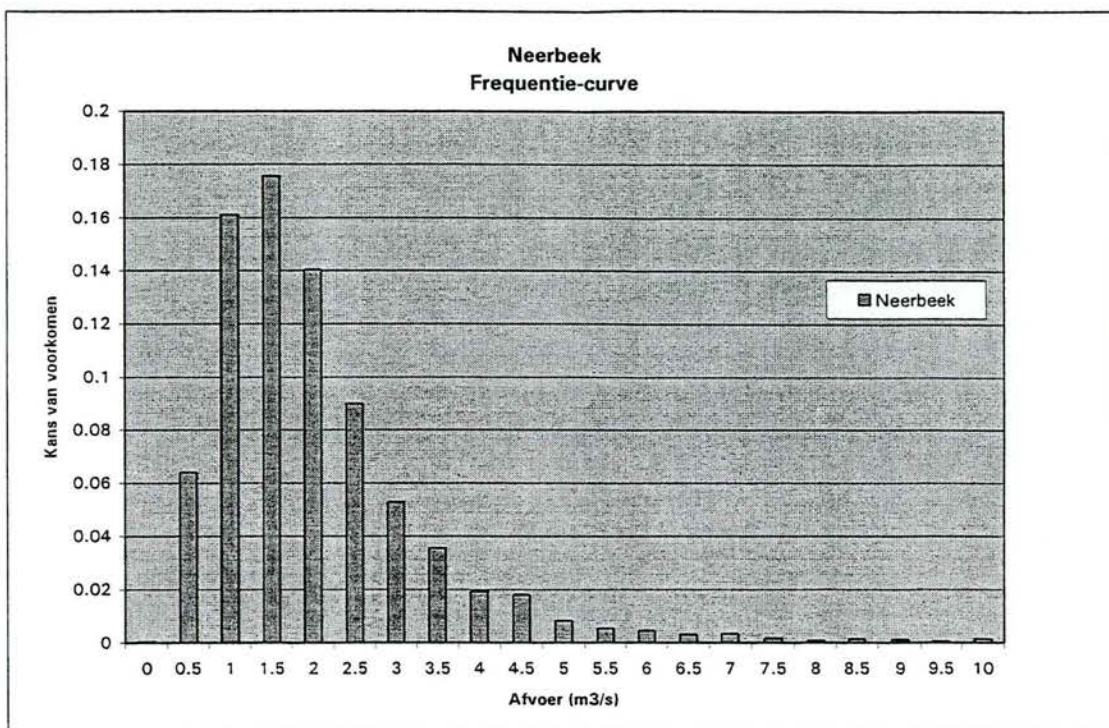
Dag	Autocorrelatie
1	0,73
2	0,46
3	0,28
4	0,17

8.3 Keuze dataset

De frequentieverdeling van de Neerbeek staat in figuur 8.1 uitgezet, de 25% hoogste afvoergrens wordt in tabel 8.2 gegeven. Dit zijn 913 waarden van de dataset.

Tabel 8.2: afvoer bij een frequentieverdeling van 75%.

	Afvoer (m^3/s)
75	2,28
n	913



Figuur 8.1: frequentieverdeling van de Neerbeek.

8.4 Eerste dags voorspelling Neerbeek

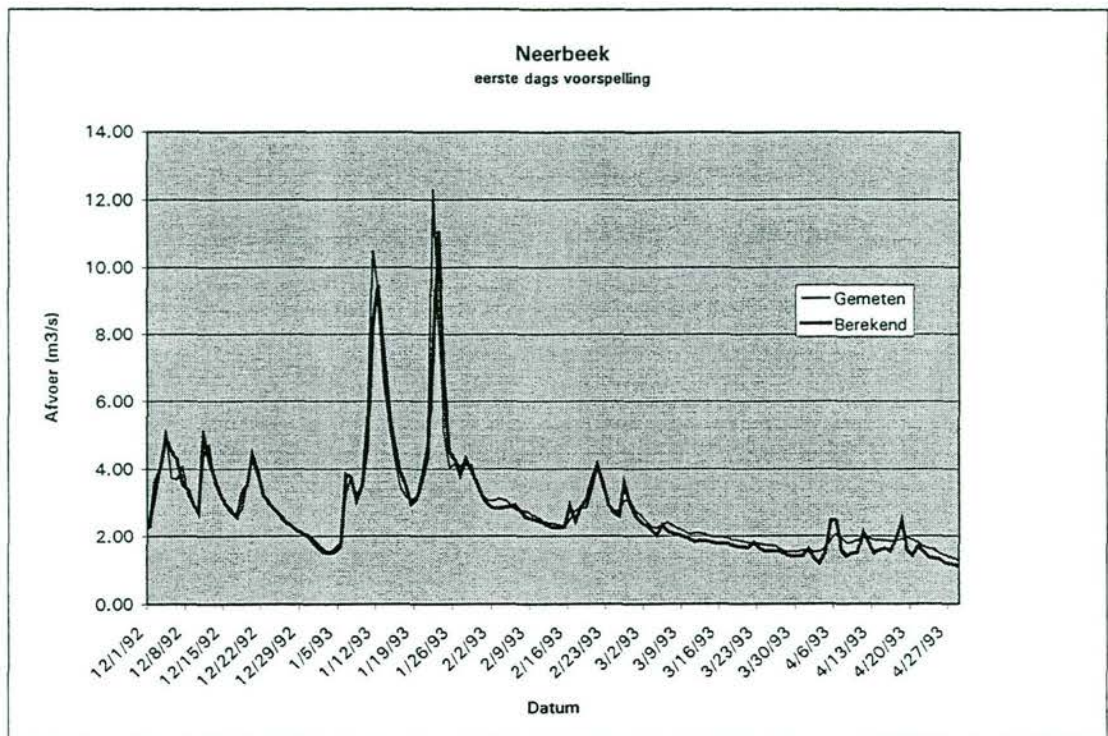
8.4.1 Neerslag-afvoer relatie

Het bepaalde model voor de eerste dags voorspelling ziet er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.845024 * Q_t + 0.134674 * maand - 0.04171 * N_{T-1} + 0.194445 * N_{T+1} + 0.021355 * N_T - 0.00147 * (N_{T+1})^2 - 0.30754$$

8.4.2 Analyse resultaten

De berekende en de gemeten afvoeren voor het jaar 1992-1993 worden in figuur 8.2 uitgezet. De afvoer wordt goed berekend. Let bij het beoordelen van de grafiek wel op het feit dat afvoeren lager dan 2.28 m³/s het model eigenlijk niet juist is. De berekende en de gemeten afvoeren van de overige jaren zijn uitgezet in Bijlage IX. De model efficiency is 0.74.



Figuur 8.2: de gemeten en berekende afvoeren voor de Neerbeek.

8.5 De tweede, derde en vierde dags voorspelling

8.5.1 Neerslag-afvoer relatie

De methode van de tweede, derde en vierde dags voorspelling is hetzelfde als die van de eerste dags voorspelling. Het enige verschil is dat er geen afvoer als parameter wordt meegenomen in het model.

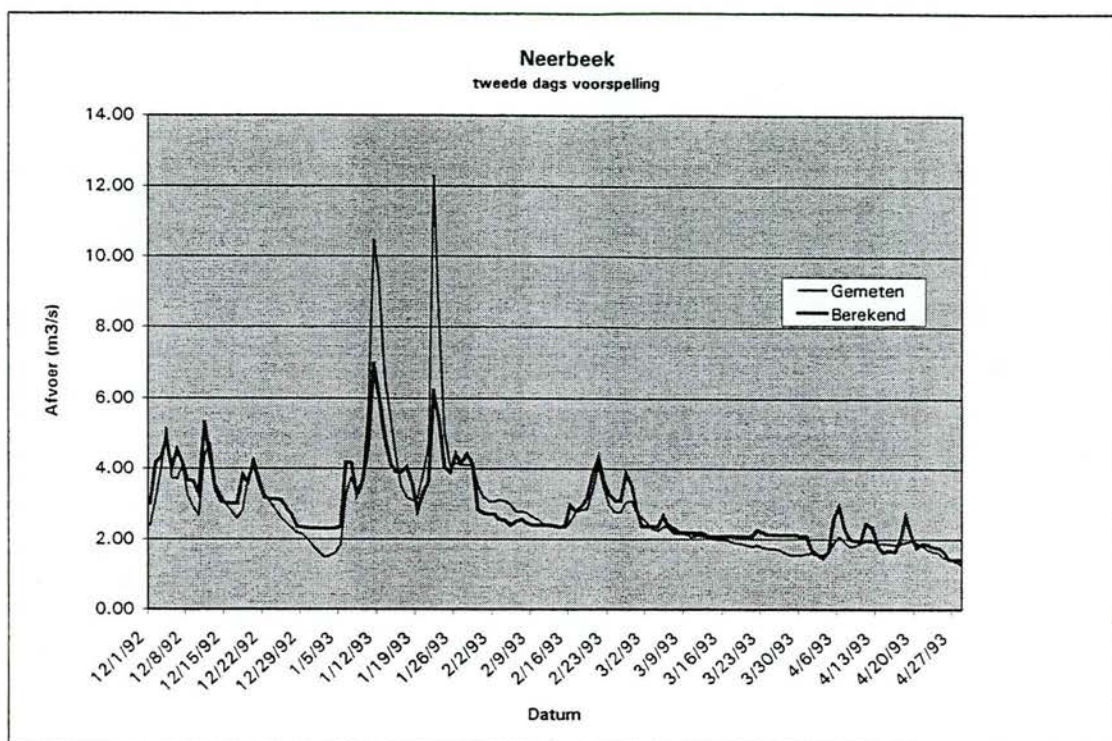
De voorspelling voor de tweede, derde en vierde dags voorspelling ziet er als volgt uit:

$$Q_{t+2} = 1.873684 * maand - 0.23561 * maand^2 + 0.069028 * N_{T+1} + 0.173029 * N_{T+2} + 0.33088 * 2N_{gem7}^2 - 0.00131 * (N_{T+2})^2 - 1.42842$$

$$Q_{t+3} = 1.873684 * maand - 0.23561 * maand^2 + 0.069028 * N_{T+2} + 0.173029 * N_{T+3} + 0.33088 * 3N_{gem7}^2 - 0.00131 * (N_{T+3})^2 - 1.42842$$

$$Q_{t+4} = 1.873684 * maand - 0.23561 * maand^2 + 0.069028 * N_{T+3} + 0.173029 * N_{T+4} + 0.33088 * 4N_{gem7}^2 - 0.00131 * (N_{T+4})^2 - 1.42842$$

Mits: $Q_{t+1} > 2.28 \text{ m}^3/\text{s}$



8.5.2 Analyse resultaten

Er zijn een aantal opmerkingen te maken met betrekking tot de resultaten van de Neerbeek. Allereerst valt op dat de Neerbeek een rivier is die zeer lang een lage afvoer heeft en dan opeens een hoge piek en vervolgens weer over een lange tijd lage afvoeren heeft. Logischerwijs wordt dan de afvoervoorspelling voor morgen voor een groot deel bepaald uit de afvoer van vandaag. Dit blijkt ook uit de resultaten van de eerste dags voorspelling. De afvoer voor morgen bestaat uit $0.85 \cdot$ de afvoer van vandaag. Hierdoor worden in de eerste dags voorspelling de pieken te laat voorspeld: (bijna) een dag. Geconcludeerd kan worden dat de dynamiek van de afvoer van de Neerbeek goed wordt voorspeld maar dat het tijdstip waarop de pieken worden voorspeld niet juist is, en (bijna) een dag te laat is. Aan dit model is dus goed te zien, dat, ondanks dat de model efficiency vrij hoog is, de pieken niet goed hoeven te zijn.

Los van dit alles wordt de meting van de afvoer van de Neerbeek mogelijk beïnvloed door de afvoer van de Maas waardoor zowel de dynamiek als de hoogte van de afvoer wellicht niet juist zijn en de "afvoer van de Maas als het ware langskomt". Het zou zelfs mogelijk zijn dat de berekende afvoeren beter zouden zijn dan de gemeten.

Het verschil tussen eerste en tweede dags voorspelling is groot. De afvoerpieken worden in de tweede dags voorspelling over het algemeen te laag berekend.



Het verschil tussen de eerste dags voorspelling berekend met de parameter afvoer en zonder (mits) toont aan dat de statistische karakteristieken verschillen (zie tabel 8.3 en 8.4). Met name de range (minimum en maximum) van de residuen is bij de berekening met de parameter afvoer kleiner.

Tabel: 8.3: enkele statistische gegevens (m³/s) van een eerste dags voorspelling mét de parameter afvoer en zonder.

	Gemeten	Berekend <i>met afvoer</i>	Berekend <i>zonder afvoer</i>
Gemiddeld	1.87	1.67	2.50
Maximum	35.99	31.68	10.43
Variantie	3.29	3.05	2.16
Stdev	1.81	1.75	1.47
Mediaan	1.48	1.35	2.38
Minimum	-	-0.89	0.21
Count	2762	3277	3277

Tabel: 8.4: enkele statistische gegevens (m³/s) van de residuals van de Neerbeek mét en zonder de parameter afvoer.

Zonder afvoer	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
Gemiddeld	0.70	-0.96	-5.43	6.32	-4.21	-18.95
Maximum	5.13	5.09	0.10	6.32	6.65	-6.05
Variantie	1.15	5.28	40.51	-	235.98	333.16
Stdev	1.07	2.30	6.36	-	15.36	18.25
Mediaan	0.61	-0.57	-3.24	6.32	-4.21	-18.95
Minimum	-7.29	-12.22	-21.77	6.32	-15.08	-31.86
Count	2663	83	9	1	2	2
Met afvoer	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30
Gemiddeld	0.03	0.22	-0.69	15.96	7.68	-0.11
Maximum	4.19	8.53	5.59	15.96	19.54	12.59
Variantie	0.27	3.88	46.75	-	281.45	322.54
Stdev	0.52	1.97	6.84	-	16.78	17.96
Mediaan	-0.05	0.52	0.86	15.96	7.68	-0.11
Minimum	-5.99	-9.02	-17.77	15.96	-4.19	-12.81
Count	2663	83	9	1	2	2

8.6 Conclusie

De neerslag-afvoer relaties voor de Neerbeek zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.845024 * Q_t + 0.134674 * maand - 0.04171 * N_{T-1} + 0.194445 * N_{T+1} + 0.021355 * N_T - 0.00147 * (N_{T+1})^2 - 0.30754$$

$$Q_{t+2} = 1.873684 * maand - 0.23561 * maand^2 + 0.069028 * N_{T+1} + 0.173029 * N_{T+2} + 0.33088 * 2N_{gem7}^2 - 0.00131 * (N_{T+2})^2 - 1.42842$$

$$Q_{t+3} = 1.873684 * maand - 0.23561 * maand^2 + 0.069028 * N_{T+2} + 0.173029 * N_{T+3} + 0.33088 * 3N_{gem7}^2 - 0.00131 * (N_{T+3})^2 - 1.42842$$

$$Q_{t+4} = 1.873684 * maand - 0.23561 * maand^2 + 0.069028 * N_{T+3} + 0.173029 * N_{T+4} + 0.33088 * 4N_{gem7}^2 - 0.00131 * (N_{T+4})^2 - 1.42842$$

Mits: $Q_{t+1} > 2,28 \text{ m}^3/\text{s}$

De model efficiency (r^2) van de neerslag afvoermodellen is:

Dag 1: 0,74

Dag 2: 0,24

Dag 3: 0,24

Dag 4: 0,24

9. NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE NIERS

9.1 Inleiding

In onderstaande paragrafen worden de resultaten beschreven van de neerslag-afvoer relaties van de Niers. Hierbij wordt de beschreven methodiek in hoofdstuk 4 gehanteerd.

In paragraaf 9.2 zullen de parameters voor de Niers worden bepaald, vervolgens zal een keuze worden gemaakt voor de dataset (paragraaf 9.3). Met deze twee keuzen kan de eerste dags voorspelling voor de Niers worden gemaakt (paragraaf 9.4). De analyse van de resultaten wordt tevens in dit hoofdstuk beschreven. De resultaten van de tweede dags voorspelling wordt beschreven in paragraaf 9.5, die van de derde dags voorspelling in paragraaf 9.6 en die van de vierde dags voorspelling in paragraaf 9.7. De formules voor alle dagen worden opgesomd in paragraaf 9.8.

9.2 Bepaling parameters Niers

Nadat de Excel-file is ingelezen in SPSS is de autocorrelatie van de gemeten afvoerreeks bepaald. Deze wordt weergegeven in tabel 9.1. Hieruit blijkt dat de autocorrelatie van alle dagen groter is dan 0,5.

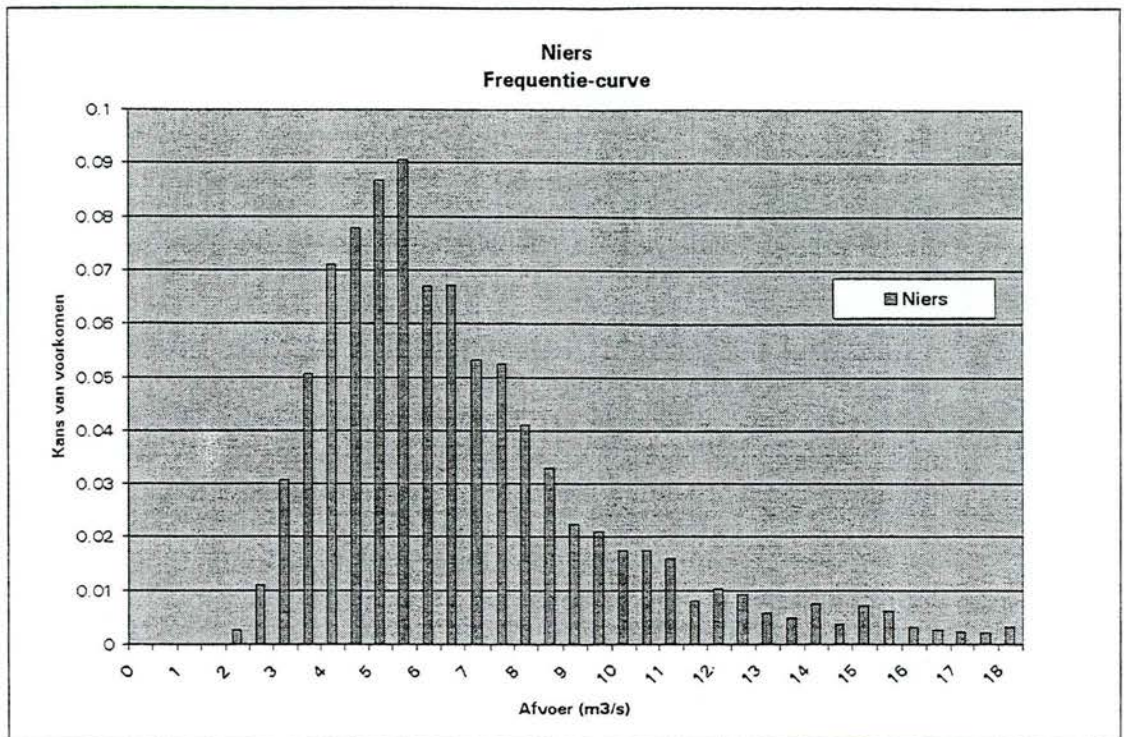
Tabel 9.1: autocorrelatie voor dag 1, 2, 3 en 4 voor de Niers.

Dag	Autocorrelatie
1	0,96
2	0,92
3	0,89
4	0,85

Volgens de beschreven methodiek (hoofdstuk 4) betekent dit dat voor alle voorspellingen de gemeten afvoer als parameter zal worden meegenomen.

9.3 Keuze dataset

Vervolgens is de frequentieverdeling van de afvoer van de Niers bepaald. Deze wordt weergegeven in figuur 9.1. De afvoer waarboven de hoogste 25% van de afvoeren zich bevindt heeft een waarde van $7,94 \text{ m}^3/\text{s}$. Dit zijn 439 waarden. Deze berekende waarde is gebruikt om de dataset te verkorten, er is in SPSS gebruik gemaakt van een filter. Deze filtert de te voorspellen afvoer lager dan $7,94 \text{ m}^3/\text{s}$ eruit. Dit betekent dat de coëfficiënten ook slechts bepaald worden op deze set en dus in feite niet geldig zijn op het afvoerbereik lager dan $7,94 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figuur 9.1: de frequentieverdeling van de Niers.

9.4 Eerste dags voorspelling Niers

9.4.1 Neerslag-afvoer relatie

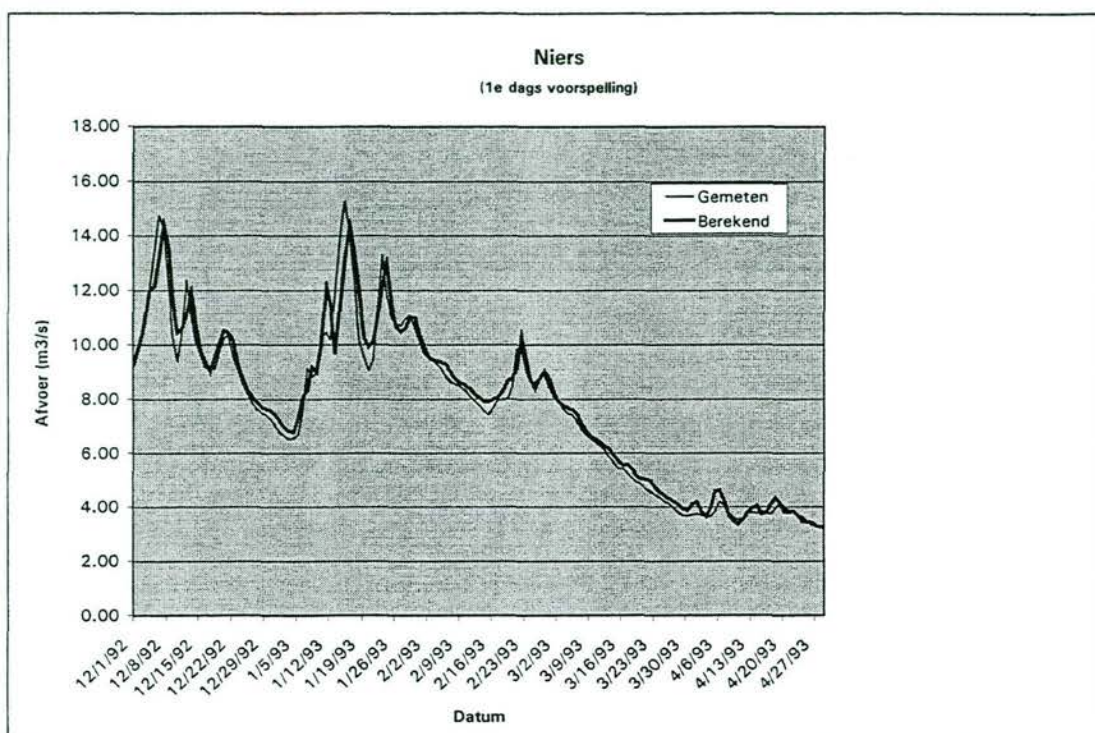
De neerslag-afvoer relatie voor de eerste dags voorspelling voor de Niers ziet er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.948545 * Q_t + 0.176587 * maand + 0.274197 * N_T + 0.170117 * N_{T+1} - 0.00695 * (N_T)^2 - 0.00237 * (N_{T+1})^2 - 0.33767 * 1N_{gem7} + 0.028286 * (1N_{gem7})^2 - 0.16853$$

Mits: $Q_{t+1} > 7,94 \text{ m}^3/\text{s}$

9.4.2 Analyse resultaten

De berekende en de gemeten afvoeren zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 9.2. De dynamiek van de afvoer wordt zeer goed weergegeven. Let bij het beoordelen van de grafiek wel op het feit dat bij afvoeren lager dan $7,94 \text{ m}^3/\text{s}$ het model eigenlijk niet juist is. De berekende en de gemeten afvoeren van de hoogwaters in 1993 en 1995 zijn uitgezet in Bijlage X. De model efficiency is 0.96.



Figuur 9.2: de gemeten en de berekende afvoer van de eerste dags voorspelling voor de Niers.

 Tabel 9.2: enkele statistische gegevens (m^3/s) van de eerste, tweede, derde en vierde dags voor spelling.

	Gemeten	Berekend	Berekend	Berekend	Berekend
		Eerste dag	Tweede dag	Derde dag	Vierde dag
Gemiddeld	6.93	6.93	7.05	7.11	7.27
Maximum	41.52	40.30	38.39	36.90	35.02
Variantie	17.15	16.98	16.38	15.99	15.22
Stdev	4.14	4.12	4.05	4.00	3.90
Mediaan	5.85	5.93	6.13	6.18	6.52
Minimum	1.68	-0.17	0.16	1.37	1.27
Count	3236	3273	3273.00	3273.00	3273.00

 Tabel 9.3: enkele statistische gegevens (m^3/s) van de residuals van de eerste dags voorspelling van de Niers per afvoerbereik.

Afvoerbereik (m^3/s)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-45
Gemiddeld	0.10	-0.07	-1.47	-6.37	-2.53
Maximum	4.36	4.19	2.39	2.71	-1.26
Variantie	0.26	1.50	28.66	250.87	3.25
Stdev	0.51	1.22	5.35	15.84	1.80
Mediaan	0.07	0.06	-0.07	-0.01	-2.53
Minimum	-2.42	-15.97	-26.61	-38.22	-3.81
Count	2769	406	53	6	2

In tabel 9.2 worden enkele statistische gegevens van de gemeten en de berekende afvoer voor de eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling naast elkaar gezet. De statistische gegevens van de residuals van de eerste dags voorspelling worden in tabel 9.3 gegeven.

9.5 Tweede dags voorspelling Niers

9.5.1 Neerslag-afvoer relatie

De neerslag-afvoer relatie voor de tweede dags voorspelling voor de Niers ziet er als volgt uit:

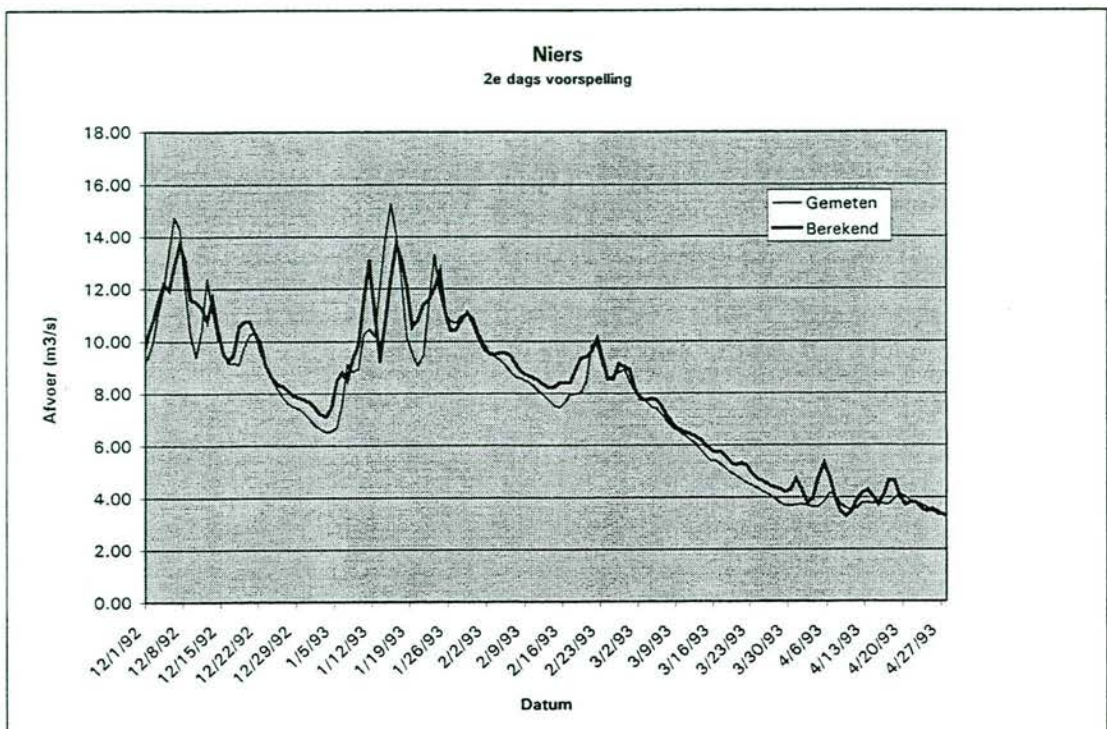
$$\begin{aligned}
 Q_{t+2} = & 0.883637 * Q_t + 0.367803 * \text{maand} + 0.281365 * N_T + \\
 & 0.443203 * N_{T+1} + 0.118854 * N_{T+2} - 0.00974 * (N_{T+1})^2 - \\
 & 0.63212 * 2N_{\text{gem}7} + 0.054217 * (2N_{\text{gem}7})^2 - 0.00735 * (N_T)^2 - \\
 & 0.25344
 \end{aligned}$$

Mits: $Q_{t+2} > 7,94 \text{ m}^3/\text{s}$

9.5.2 Analyse resultaten

De berekende en de gemeten afvoeren zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 9.3. Let bij het beoordelen van de grafiek wel op het feit dat bij afvoeren lager dan $7,94 \text{ m}^3/\text{s}$ het model eigenlijk niet juist is. De berekende en de gemeten afvoeren van de eerste en de vierde dags voorspelling van de hoogwaters in 1993 en 1995 zijn uitgezet in Bijlage X. De model efficiency is 0.90.

In figuur 9.3 en in Bijlage X is te zien dat er een kleine verschuiving begint op te treden tussen de berekende en de gemeten afvoer. De reden hiervan is de invloed van de gemeten afvoer van vandaag op de voorspelling van morgen.



Figuur 9.3: de gemeten en de berekende afvoer van de tweede dags voorspelling voor de Niers.

In tabel 9.4 worden de statistische gegevens van de residuals van de tweede dags voorspelling gegeven.

Tabel 9.4: enkele statistische gegevens (m³/s) van de residuals van de tweede dags voorspelling van de Niers per afvoerbereik.

Afvoerbereik (m³/s)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-45
Gemiddeld	0.25	-0.16	-1.93	-7.03	-4.23
Maximum	5.88	3.11	2.72	1.23	-3.14
Variantie	0.87	1.66	25.96	230.00	2.40
Stdev	0.93	1.29	5.10	15.17	1.55
Mediaan	0.18	-0.15	-1.00	-0.72	-4.23
Minimum	-2.66	-14.37	-25.27	-37.71	-5.33
Count	2769	406	53	6	2

9.6 Derde dags voorspelling

9.6.1 Neerslag-afvoer relatie

De neerslag-afvoer relatie voor de derde dags voorspelling voor de Niers is:

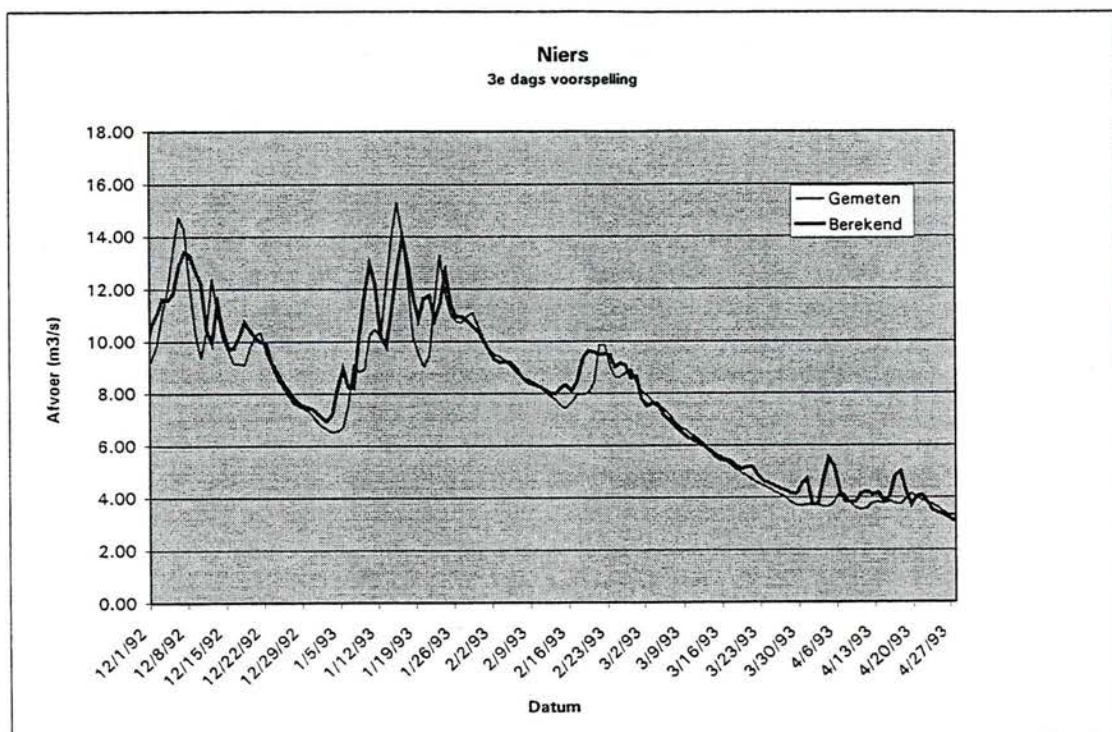
$$Q_{t+3} = 0.808117 * Q_t + 0.516769 * maand + 0.359475 * N_{T+1} + 0.357746 * N_{T+2} + 0.089114 * N_{T+3} - 0.00654 * (N_{T+1})^2 - 0.00632 * (N_{T+2})^2 - 0.61801$$

Mits: $Q_{t+3} > 7,94 \text{ m}^3/\text{s}$

9.6.2 Analyse resultaten

De berekende en de gemeten afvoeren zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 9.4. Let bij het beoordelen van de grafiek wel op het feit dat bij afvoeren lager dan 7,94 m³/s het model eigenlijk niet juist is. De berekende en de gemeten afvoeren van de hoogwaters in 1993 en 1995 zijn uitgezet in Bijlage X.

De verschuiving tussen de berekende en de gemeten afvoer neemt hier nog meer toe. Tevens worden de afvoerpieken iets lager berekend. De model efficiency is echter nog steeds hoog: 0.83.



Figuur 9.4: de gemeten en de berekende afvoer van de derde dags voorspelling voor de Niers.

Als laatste is gekeken naar de statistische gegevens van de gehele afvoerreeks (zie tabel 9.2 en per kleiner afvoerbereik (van de residuals: zie tabel 9.5).

Tabel 9.5: enkele statistische gegevens van de derde dags voorspelling van de residuals van de Niers per afvoerbereik.

Afvoerbereik (m ³ /s)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-45
Gemiddeld	0.35	-0.35	-2.44	-7.81	-6.10
Maximum	7.70	5.42	2.61	2.05	-4.62
Variantie	1.61	2.25	22.02	194.24	4.40
Stdev	1.27	1.50	4.69	13.94	2.10
Mediaan	0.16	-0.39	-1.66	-3.00	-6.10
Minimum	-3.28	-13.15	-23.87	-35.49	-7.59
Count	2769	406	53	6	2

9.7 Vierde dags voorspelling

De neerslag-afvoer relatie voor de vierde dags voorspelling voor de Niers ziet er als volgt uit:

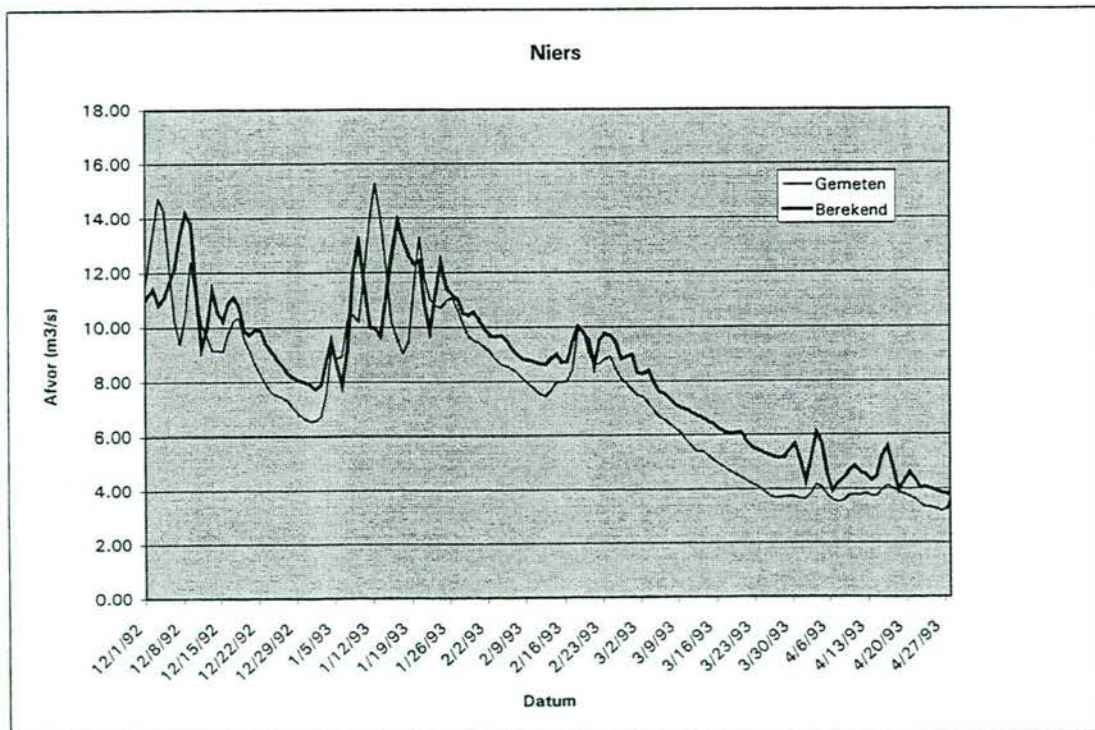
$$\begin{aligned}
 Q_{t+4} = & 0.730638 * Q_t + 1.808291 * \text{maand} - 0.2004 * \text{maand}^2 + \\
 & 0.440639 * N_{T+2} + 0.367443 * N_{T+3} + 0.085762 * N_{T+4} - \\
 & 0.0121 * (N_{T+2})^2 - 0.00938 * (N_{T+3})^2 - 0.31766 * 4N_{\text{gem}7} + \\
 & 0.06395 * (4N_{\text{gem}7})^2 - 1.46275
 \end{aligned}$$

Mits: $Q_{t+4} > 7,94 \text{ m}^3/\text{s}$

9.7.1 Analyse resultaten

De berekende en de gemeten afvoeren zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 9.5. Let bij het beoordelen van de grafiek wel op het feit dat bij afvoeren lager dan $7,94 \text{ m}^3/\text{s}$ het model eigenlijk niet juist is. De berekende en de gemeten afvoeren van de hoogwaters in 1993 en 1995 zijn uitgezet in Bijlage X.

Naarmate langer vooruit wordt voorspeld wordt de model efficiency lager en neemt de verschuiving tussen de berekende en de gemeten afvoeren toe. Zowel in de hoogte als de tijd treedt dus een verschuiving op (zie figuur 9.5 en bijlage X). De model efficiency (de r^2) van dit model is echter wederom hoog: 0.77.



Figuur 9.5: de gemeten en de berekende afvoer van de vierde dags voorspelling voor de Niers.

Als laatste is gekeken naar de statistische gegevens van de residuals. Deze worden in tabel 9.6 gepresenteerd.

Tabel 9.6: enkele statistische gegevens van de residuals van de vierde dags voorspelling van de Niers per afvoerbereik.

Afvoerbereik (m3/s)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-45
Gemiddeld	0.54	-0.18	-5.48	-8.97	-11.48
Maximum	7.29	8.23	6.13	4.34	-10.91
Variantie	1.61	4.62	61.76	166.81	0.64
Stdev	1.27	2.15	7.86	12.92	0.80
Mediaan	0.66	0.09	-3.71	-7.35	-11.48
Minimum	-4.56	-13.16	-23.84	-33.01	-12.04
Count	2766	409	53	6	2

9.8 Conclusie

De neerslag-afvoer relaties voor de Niers zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.948545 * Q_t + 0.176587 * maand + 0.274197 * N_T + 0.170117 * N_{T+1} - 0.00695 * (N_T)^2 - 0.00237 * (N_{T+1})^2 - 0.33767 * 1N_{gem7} + 0.028286 * (1N_{gem7})^2 - 0.16853$$

$$Q_{t+2} = 0.883637 * Q_t + 0.367803 * maand + 0.281365 * N_T + 0.443203 * N_{T+1} + 0.118854 * N_{T+2} - 0.00974 * (N_{T+1})^2 - 0.63212 * 2N_{gem7} + 0.054217 * (2N_{gem7})^2 - 0.00735 * (N_T)^2 - 0.25344$$

$$Q_{t+3} = 0.808117 * Q_t + 0.516769 * maand + 0.359475 * N_{T+1} + 0.357746 * N_{T+2} + 0.089114 * N_{T+3} - 0.00654 * (N_{T+1})^2 - 0.00632 * (N_{T+2})^2 - 0.61801$$

$$Q_{t+4} = 0.730638 * Q_t + 1.808291 * maand - 0.2004 * maand^2 + 0.440639 * N_{T+2} + 0.367443 * N_{T+3} + 0.085762 * N_{T+4} - 0.0121 * (N_{T+2})^2 - 0.00938 * (N_{T+3})^2 - 0.31766 * 4N_{gem7} + 0.06395 * (4N_{gem7})^2 - 1.46275$$

Mits: $Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3}, Q_{t+4} > 7,94 \text{ m}^3/\text{s}$

De model efficiency (r^2) van de neerslag afvoermodellen is:

Dag 1: 0,96

Dag 2: 0,90

Dag 3: 0,83

Dag 4: 0,77

10. NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR DE DOMMEL

10.1 Inleiding

In paragraaf 10.2 zullen de parameters voor de Dommel worden bepaald, vervolgens zal een keuze worden gemaakt voor de dataset (paragraaf 10.3). De eerste en tweede dags voorspelling voor de Dommel worden beschreven in de paragrafen 10.4 en 10.5. De derde en vierde dags voorspelling in paragraaf 10.6 en de conclusie met de neerslag afvoermodellen (formules) worden in paragraaf 10.7 gegeven.

De stroomgebieden van de Dommel en de Aa zijn apart genomen. Het neerslag afvoermodel van de Dieze komt dan te bestaan uit de optelsom van de Dommel en de Aa. Wel in acht nemend dat er een maximale afvoer de Maas in kan stromen (zie paragraaf 2.3.7).

10.2 Bepaling parameters Dommel

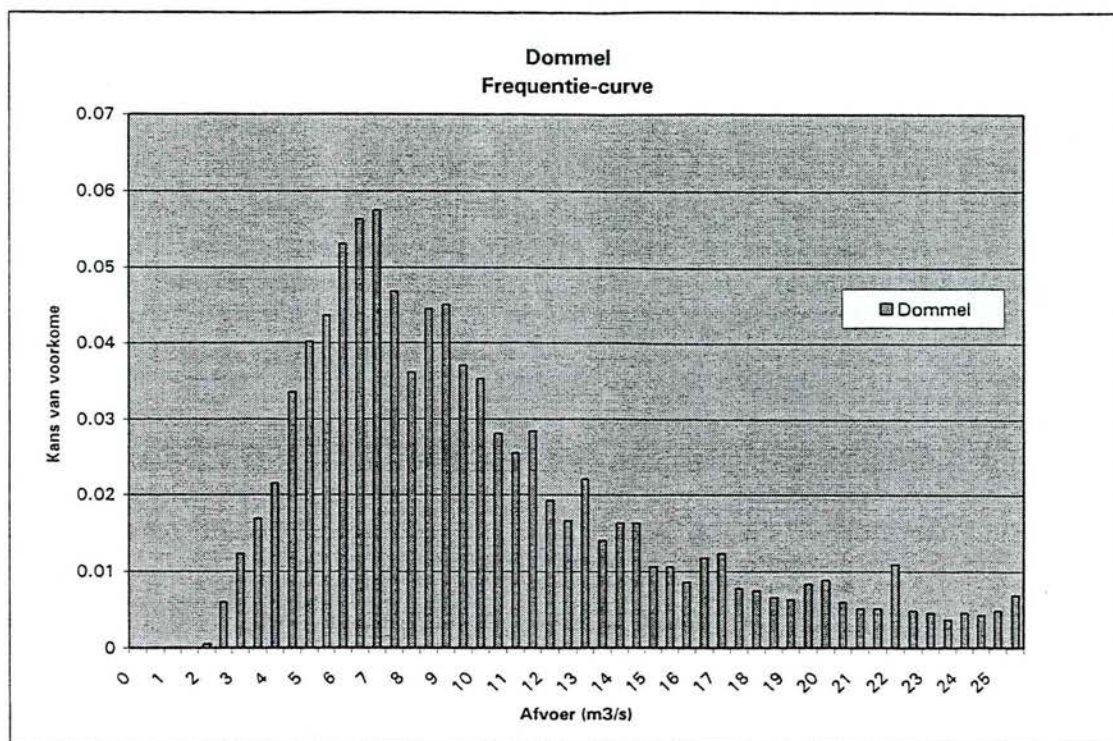
De autocorrelatie van de gemeten afvoerreeks is bepaald (zie tabel 10.1). Hieruit blijkt dat de autocorrelatie voor alle dagen groter is dan 0,5. In samenspraak met de opdrachtgever is besloten de neerslag afvoer modellen voor de eerste en tweede dag mét de parameter afvoer te ontwikkelen en die voor de derde en de vierde dag zonder. De neerslag afvoermodellen voor de derde en de vierde dag zullen dus hetzelfde zijn.

Tabel 10.1: autocorrelatie voor dag 1, 2, 3 en 4 voor de Dommel.

Dag	Autocorrelatie
1	0,95
2	0,87
3	0,81
4	0,76

10.3 Keuze dataset

Vervolgens is de frequentieverdeling van de afvoer van de Dommel bepaald. Deze wordt weergegeven in figuur 10.1. De hoogste 25% van de afvoeren ligt boven de 14,95 m³/s.



Figuur 10.1: de frequentieverdeling van de afvoer van de Dommel.

10.4 Eerste dags voorspelling

10.4.1 Neerslag-afvoer relatie

De neerslag-afvoer relatie van de eerste dags voorspelling van de Dommel ziet er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.953944 * QT + 1.172451 * N_{T+1} - 0.38119 * N_{T-1} + 0.272141 * N_T - 0.01342 * (N_{T+1})^2 + 0.00661 * (N_{T-1})^2 - 0.55279 * 1N_{gem7} - 0.39128$$

Mits: $Q_{t+1} > 14,95 \text{ m}^3/\text{s}$

10.4.2 Analyse resultaten

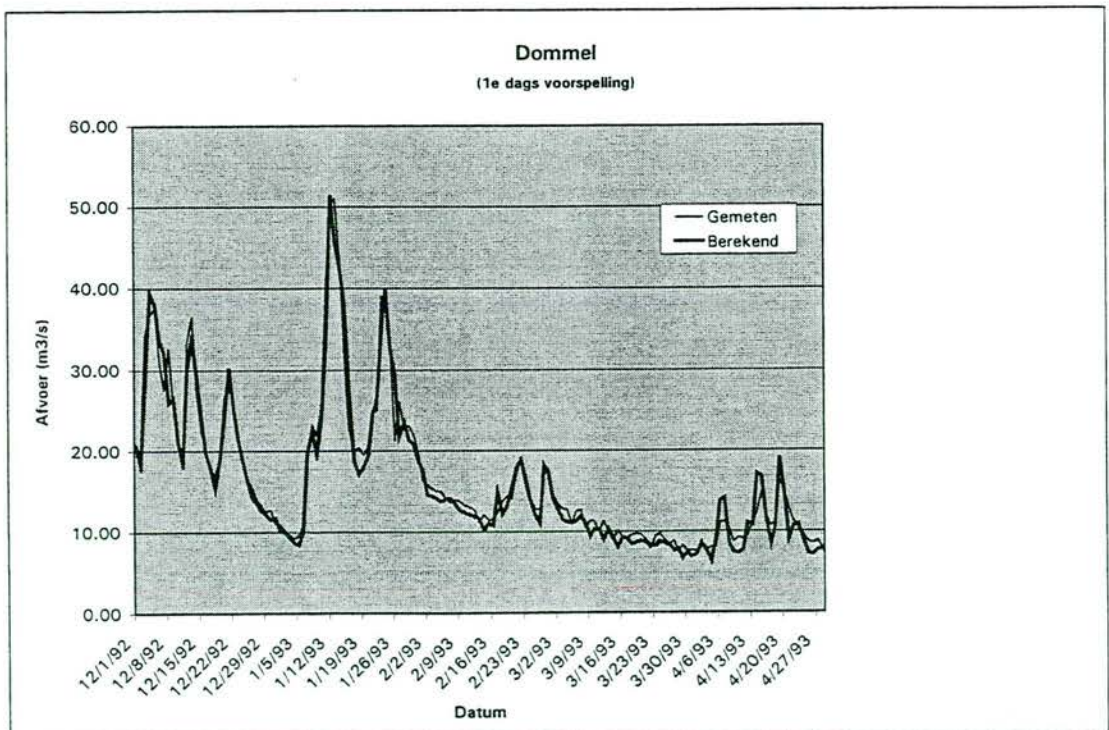
De berekende en de gemeten afvoeren zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 10.2. De dynamiek van het afvoerverloop wordt goed weergegeven. Let bij het beoordelen van de grafiek wel op het feit dat bij gemeten afvoeren lager dan $14,95 \text{ m}^3/\text{s}$ het model eigenlijk niet juist is. De berekende en de gemeten afvoeren van de hoogwaters in 1993 en 1995 zijn uitgezet in Bijlage XI. In tabel 10.2 en 10.3 worden statistische gegevens van de gemeten en berekende afvoeren naast elkaar gepresenteerd en worden enkele statistische gegevens van de residuals per afvoerbereik gegeven. De model efficiency r^2 is 0,93.

Tabel 10.2: enkele statistische resultaten (m^3/s) van de gemeten en de berekende afvoeren voor de eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling voor de Dommel.

	Gemeten	Berekend	Berekend	Berekend
		Eerste dag	Tweede dag	Derde dag
Gemiddeld	13.09	13.03	12.64	33.24
Maximum	100.37	89.72	87.12	81.34
Variantie	136.01	138.16	148.10	132.86
Stdev	11.66	11.75	12.17	11.53
Mediaan	9.12	9.07	9.38	34.24
Minimum	1.84	-1.15	-7.65	14.81
Count	3637	3637	3638	3638

 Tabel: 10.3: statistische gegevens (m^3/s) voor de eerste dags voorspelling per afvoerbereik voor de residuals van de Dommel.

Afvoerbereik (m^3/s)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Gemiddeld	8.91	27.86	46.10	65.19	79.68
Maximum	31.08	45.90	62.51	85.12	89.72
Variantie	24.33	41.33	44.57	91.82	59.12
Stdev	4.93	6.43	6.68	9.58	7.69
Mediaan	7.84	26.51	46.05	64.37	80.50
Minimum	-1.15	12.54	28.60	45.54	61.68
Count	3043	442	111	30	10



Figuur 10.2: berekende en gemeten afvoeren voor de Dommel (eerste dags voorspelling).

10.5 Tweede dags voorspelling

10.5.1 Neerslag-afvoer relatie

De neerslag-afvoer relatie voor de tweede dags voorspelling voor de Dommel ziet er als volgt uit:

$$Q_{t+2} = 0.850932 * Q_T + 1.571852 * N_{T+1} + 1.13638 * N_{T+2} + 0.11141 * (2N_{gem7})^2 - 0.01803 * (N_{T+1})^2 - 0.0123 * (N_{T+2})^2 + 1.31786 * maand - 2.24549 * 2N_{gem7} - 3.14538$$

Mits: $Q_{t+2} > 14,95 \text{ m}^3/\text{s}$

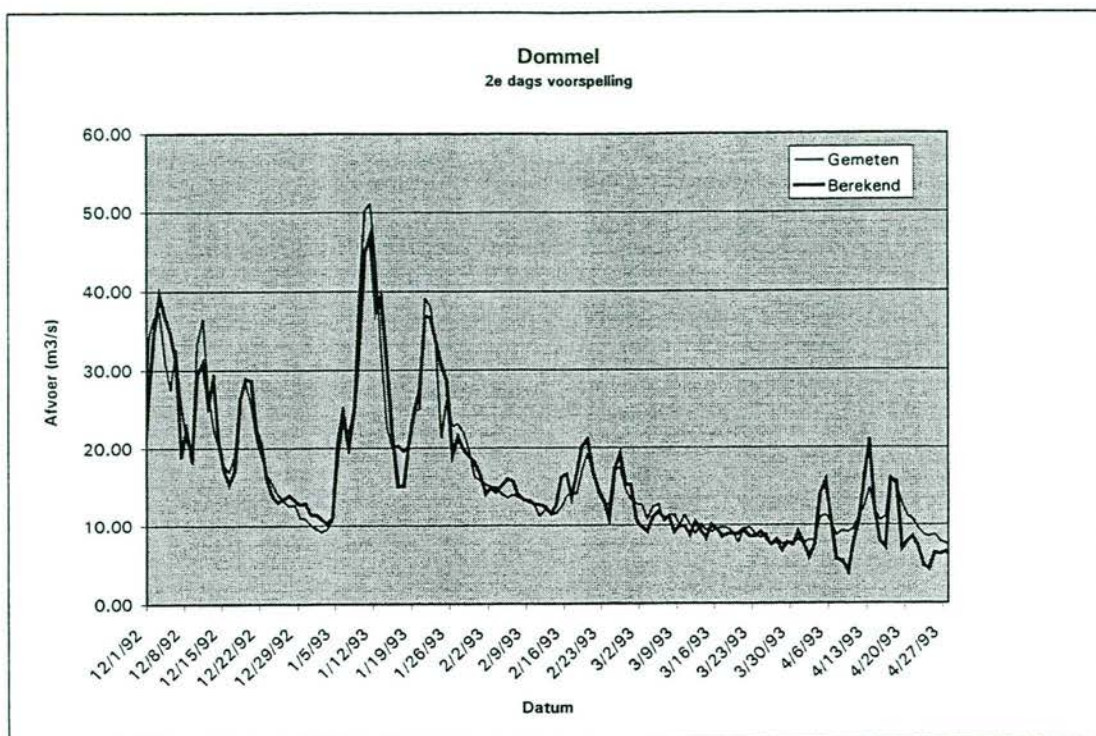
10.5.2 Analyse resultaten

De berekende en de gemeten afvoeren zijn tegen elkaar uitgezet in figuur 10.3. De dynamiek van het afvoerverloop wordt ook hier goed weergegeven. De model efficiency r^2 is 0.85.

Let bij het beoordelen van de grafiek wel op het feit dat bij gemeten afvoeren lager dan $14,95 \text{ m}^3/\text{s}$ het model eigenlijk niet juist is. De berekende en de gemeten afvoeren van de eerste en derde dags voorspelling van de hoogwaters in 1993 en 1995 zijn uitgezet in Bijlage XI. In tabel 10.4 worden enkele statistische gegevens van de residuals per afvoerbereik gegeven.

Tabel 10.4: enkele statistische gegevens (m^3/s) per afvoerbereik voor de residuals van de Dommel (tweede dags voorspelling).

Afvoerbereik (m^3/s)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
Gemiddeld	-0.46	0.97	-3.89	-3.97	-14.78
Maximum	23.28	15.97	11.22	17.34	3.07
Variantie	15.34	18.52	39.77	96.18	128.00
Stdev	3.92	4.30	6.31	9.81	11.31
Mediaan	-0.81	0.52	-3.08	-3.89	-15.95
Minimum	-12.39	-10.08	-19.82	-22.24	-29.28
Count	3042	443	111	30	10



Figuur 10.3: berekende en gemeten afvoeren voor de Dommel (tweede dags voorspelling).

10.6 Derde en vierde dags voorspelling

10.6.1 Neerslag-afvoer relatie

De neerslag-afvoer relaties voor de derde en de vierde dags voorspelling zien er als volgt uit:

$$Q_{t+3} = 16.89122 * maand - 2.08307 * maand^2 + 0.257879 * N_{T+1} + 0.715814 * N_{T+2} + 0.654202 * N_{T+3} - 0.00859 * (N_{T+2})^2 + 1.964078 * 3N_{gem7} - 16.9558$$

$$Q_{t+4} = 16.89122 * maand - 2.08307 * maand^2 + 0.257879 * N_{T+2} + 0.715814 * N_{T+3} + 0.654202 * N_{T+4} - 0.00859 * (N_{T+3})^2 + 1.964078 * 4N_{gem7} - 16.9558$$

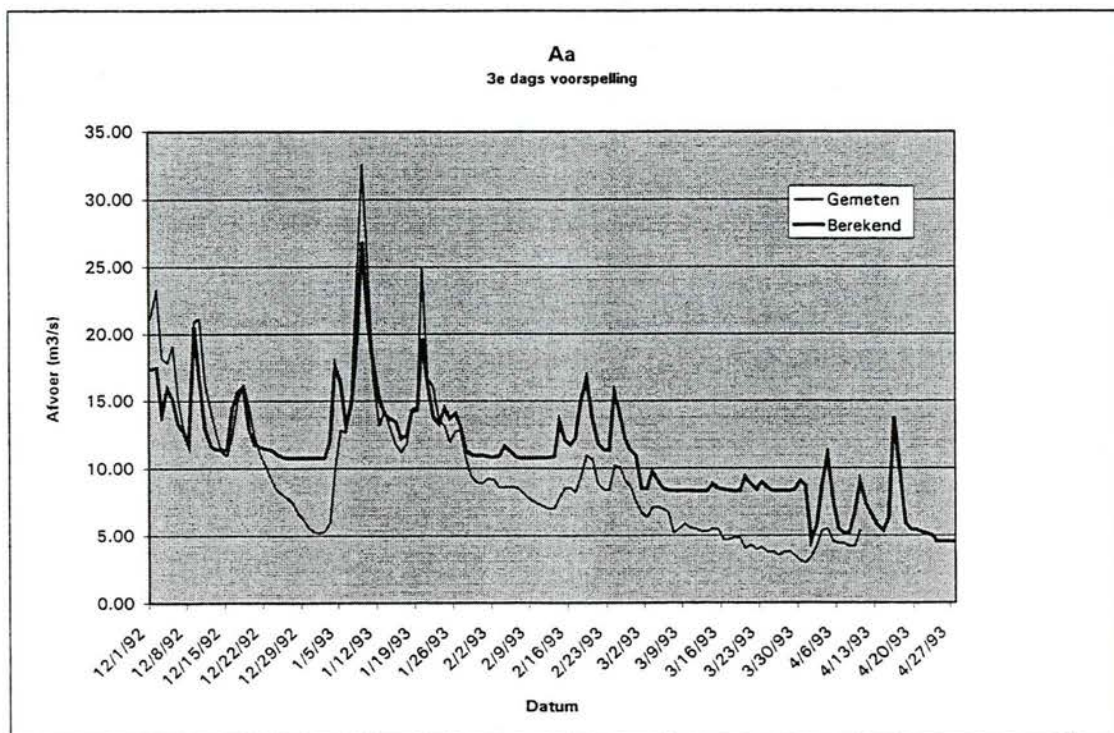
Mits: Q_{t+3} of $Q_{T+4} > 14,95 \text{ m}^3/\text{s}$

10.6.2 Analyse resultaten

Vervolgens zijn de berekende en de gemeten afvoeren tegen elkaar uitgezet. Deze worden gepresenteerd in figuur 10.4. De afvoergolf wordt nog redelijk berekend. De hoge afvoeren worden over het algemeen iets te laag berekend en de lage afvoeren iets te hoog. De model efficiency r^2 is 0.42. Let bij het beoordelen van de grafiek wel op het feit dat bij gemeten afvoeren lager dan $14,95 \text{ m}^3/\text{s}$ het model eigenlijk niet juist is.

Tabel: 11.5: enkele statistische gegevens per afvoerbereik voor de residuals van de Aa voor de derde dags voorspelling.

Afvoerbereik (m³/s)	0-20	20-40	40-60	60-80
Gemiddeld	2.35	-4.03	-17.24	-34.27
Maximum	20.42	9.23		-28.19
Variantie	14.73	29.05	79.60	37.14
Stdev	3.84	5.39	8.92	6.09
Mediaan	2.02	-4.00	-18.45	-33.15
Minimum	-11.41	-16.47	-31.70	-42.58
Count	3316	153	18	4



Figuur 11.4: berekende en gemeten afvoeren voor de Aa (derde dags voorspelling).

11.7

Conclusie

De neerslag-afvoer relaties voor de Aa zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.868586 * QT + 1.0302 * N_{T+1} - 0.15999 * NT-1 - 0.30692 * N_T - 0.00651 * (N_{T+1})^2 + 0.569795 * maand - 1.73083$$

$$Q_{t+2} = 0.721814 * QT + 0.90498 * N_{T+2} + 0.640807 * N_{T+1} - 0.44076 * N_T - 0.00903 * (N_{T+1})^2 + 1.19021 * maand - 3.52265$$

$$Q_{t+3} = 0.789139 * N_{T+3} + 0.246287 * N_{T+2} + 7.076325 * maand - 0.66317 * maand^2 + 0.138521 * (3N_{gem7})^2 - 6.95552$$



$$Q_{t+4} = 0.789139 * N_{T+4} + 0.246287 * N_{T+3} + 7.076325 * maand - 0.66317 * maand^2 + 0.138521 * (4N_{gem7})^2 - 6.95552$$

Mits: Q_{t+1} OF Q_{t+2} OF Q_{t+3} OF $Q_{t+4} > 8,93 \text{ m}^3/\text{s}$

Indien $Q_{dommel} + Q_{Aa} > 110 \text{ m}^3/\text{s}$ opletten (zie paragraaf 2.3.7).

Indien Maaspeil hoger dan Dieze: dan is er maximaal $110 \text{ m}^3/\text{s}$ toestroming naar de Maas. Voordat het Maaspeil hoger is kan er maximaal $140 \text{ m}^3/\text{s}$ de Maas instromen.

De model efficiency (r^2) van de neerslag afvoermodellen is:

Dag 1: 0,85

Dag 2: 0,77

Dag 3: 0,48

Dag 4: 0,48

12. NEERSLAG-AFVOER RELATIE VOOR HET LAND VAN MAAS EN WAAL

12.1 Inleiding

In het Land van Maas en Waal liggen 12 gemalen. Al deze gemalen hebben een bemalingsgebied waarvan de afvoer wordt geloosd op de Maas. Voor deze studie zijn de gemalen, op basis van hun ligging, verdeeld in een tweetal clusters A en B. De resultaten van de bepaling van de afvoer van de bemalingsgebieden zal in onderstaande paragrafen beschreven.

In paragraaf 12.2 wordt de neerslag-afvoer relatie gegeven van het land van Maas en Waal, in paragraaf 12.4 wordt de analyse van de resultaten gegeven en in paragraaf 12.5 worden de conclusies gegeven.

12.2 Bepaling parameters

Op basis van de locatie en de hoogte van maximale neerslaghoeveelheden zijn de neerslagstations Zaltbommel, Nijmegen en Heumen als meest representatief beschouwd voor het Land van Maas en Waal. Omdat de neerslaggegevens van Zaltbommel niet aanwezig zijn wordt thans gebruik gemaakt van de stations Nijmegen en Heumen. Mochten de gegevens van Zaltbommel toch nog te achterhalen zijn dan wordt, op basis van de ligging, voorgesteld om voor cluster A Zaltbommel te gebruiken en voor cluster B Heumen en Zaltbommel als neerslagstations.

Dientengevolge zijn de parameters de twee clusters van gemalen en de twee neerslagstations: Nijmegen en Heumen.

12.3 Neerslag-afvoer relatie

De afvoer voor morgen ($T + 1$) wordt als volgt berekend (zie paragraaf 4.3):

1. bereken voor beide clusters samen de gemiddelde neerslag ($T-1$, $T=0$ en $T+1$) van de neerslagstations;
2. vermenigvuldig de factor 0.9 met de gemiddelde neerslag/1000 en het bemalingsoppervlak/86400.

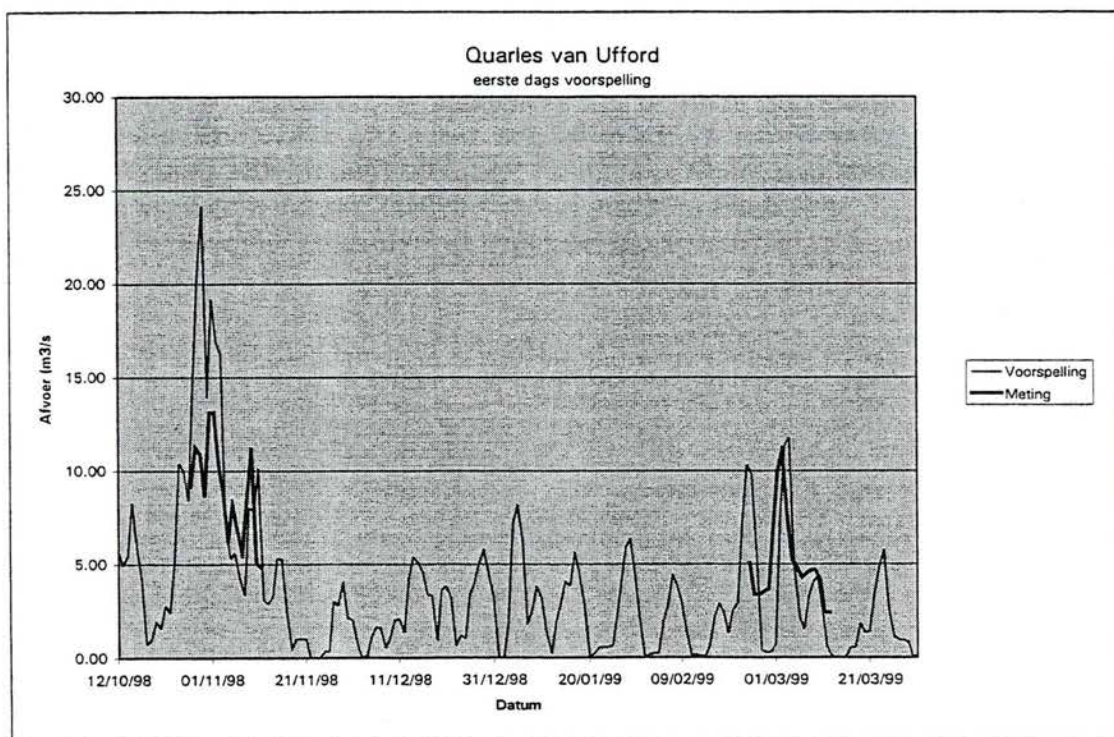
Hiermee is een schatting gemaakt van de afvoer (bemaling) van één bemalingsgebied. Door de afvoer voor alle bemalingsgebieden te berekenen en deze te sommeren wordt een schatting verkregen van de totale afvoer afkomstig van alle bemalingsgebieden. Nu zijn er twee afvoeren berekend voor een eerste dagsvoorspelling: één voor de gemalen van cluster A en één voor de gemalen van cluster B. Voorgesteld wordt om de instroom van deze afvoeren voor Cluster A plaats te laten vinden op de Afgedamde Maas (\pm km 230) en voor Cluster B ter hoogte van het Gemaal Quarles van Ufford.

Een tweede dags voorspelling wordt op eenzelfde wijze gemaakt. Alleen wordt hier de gemiddelde neerslag berekend met de neerslag van vandaag en de neerslagvoorspellingen voor morgen en overmorgen.

De schatting van de afvoeren is alleen te gebruiken over de maanden november tot en met april.

12.4 Analyse resultaten

In figuur 12.1 wordt de berekende afvoer van het bemalingsgebied Quarles van Ufford gepresenteerd. De dynamiek van de afvoer wordt goed voorspeld, de hoogte van de afvoer in 1998 wordt iets te laag berekend, die van 1999 wordt goed berekend. Vanwege de beperkte hoeveelheid gegevens zijn er enige onnauwkeurigheden te verwachten. Uit de onzekerheden in reactietijd van het afwateringssysteem en berging wordt de onzekerheid in de dagelijkse debieten geschat op +/- 60%.



Figuur 12.1: de berekende afvoer van het bemalingsgebied Quarles van Ufford.

Opgemerkt dient te worden dat met de geleverde berekeningsmethode een *schatting* wordt gemaakt van de afvoeren afkomstig van het Land van Maas en Waal. Gegeven de beperkte hoeveelheid water afkomstig van de bemalingsgebieden ten opzichte van de Maasafvoeren en de onzekerheden die hier een rol spelen wordt de bovengenoemde onnauwkeurigheid van 60% nog relatief acceptabel geacht.



Tevens dient te worden opgemerkt dat er geen maximale afvoer is opgelegd aan de bemalingsgebieden terwijl dit in de praktijk wel eens zou kunnen voorkomen. Bijvoorbeeld in geval van gestremde lozing. Doordat deze beperking niet is opgelegd kan het voorkomen dat op momenten met veel neerslag de laterale toestroming het theoretisch maximum, de gemaalcapaciteit overschrijdt.

12.5 Conclusie

De eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling van het Land van Maas en Waal zien er als volgt uit

Eerste dags voorspelling:

$$\Sigma 0.9 * ((\text{gemiddelde van } N_{T-1}, N_T \text{ en } N_{T+1}) / 1000)) * (\text{oppervlak} / 86400)$$

Tweede dags voorspelling:

$$\Sigma 0.9 * ((\text{gemiddelde van } N_T, N_{T+1} \text{ en } N_{T+2}) / 1000)) * (\text{oppervlak} / 86400).$$

Derde dags voorspelling:

$$\Sigma 0.9 * ((\text{gemiddelde van } N_{T+1}, N_{T+2} \text{ en } N_{T+3}) / 1000)) * (\text{oppervlak} / 86400).$$

Vierde dags voorspelling:

$$\Sigma 0.9 * ((\text{gemiddelde van } N_{T+2}, N_{T+3} \text{ en } N_{T+4}) / 1000)) * (\text{oppervlak} / 86400).$$

Mits de voorspelling wordt gemaakt in de maanden november t/m april.

De maximale capaciteit van cluster A zou 27.2 m³/s zijn.

De maximale capaciteit van cluster B zou 30.3 m³/s zijn.

13. NEERSLAG-AFVOER RELATIES VOOR DE KLEINERE LATERALE TOESTROMINGEN

13.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zal een samenvatting worden gegeven van de bepaling van de neerslag-afvoer relaties van de kleinere laterale toestromingen. De methode van de bepaling van de neerslag-afvoer relaties wordt in paragraaf 4.4 beschreven. In dit hoofdstuk zal worden samengevat om welke laterale toestromingen het gaat (paragraaf 13.2), hoe de neerslag-afvoer relaties kunnen worden bepaald (paragraaf 13.3) en zal een korte analyse van de resultaten worden gegeven (paragraaf 13.4).

13.2 Bepaling kleinere laterale toestromingen

In tabel 13.1 worden de kleinere laterale toestromingen gegeven. Deze zijn, qua oppervlakte, gerelateerd aan de belangrijkste laterale toestromingen.

Tabel 13.1: de kleinere laterale toestromingen.

Rivier
Jeker, Voer en Plateau van Margraten
Belgisch Limburg + overig Grensmaas
Thornerbeek/Uffelse Beek
Vlootbeek
Neerbeek en overige kleine beken
Swalm + 25 % Oostoever Reuver-Gennepe
Peel
N-O Brabant-1 (Jansbeek) + 50 % Oostoever Reuver-Gennepe
Niers + N-O Brabant-2 (Raam) + 25 % Oostoever Reuver-Gennepe
N-O Brabant-3 (Hertogswetering)

13.3 Neerslag-afvoer relatie

De relatie tussen de belangrijkste en de kleinere laterale toestromingen is reeds uitgezocht door de opdrachtgever. In een samenvattende tabel worden de factoren aangegeven waarmee de relatie wordt aangegeven.

De voorspelling van de kleinere laterale toestromingen kan worden uitgerekend door de voorspelling van respectievelijk de Geul, de Niers, de Neerbeek, Geleenbeek of de Aa met de betreffende factor (zie tabel 13.2) te vermenigvuldigen. In de laatste paragrafen van ieder hoofdstuk worden de neerslag afvoer relaties van de belangrijkste laterale toestromingen gegeven (zie ook bijlage XIII).

Tabel 13.2: oppervlakte gerelateerde factor voor verschillende rivieren.

Rivier	Oppervlakte gerelateerd aan:	Factor(-)
Jeker, Voer en Plateau van Margraten	Geul	1,44
Belgisch Limburg + overig Grensmaas	Neerbeek	1
Thornerbeek/Uffelse Beek	Neerbeek	0,41
Vlootbeek	Geleenbeek	0,31
Neerbeek en overige kleine beken	Neerbeek	1,77
Swalm + 25 % Oostoever Reuver-Gennep	Niers	0,27
Peel	Neerbeek	1,31
N-O Brabant-1 (Jansbeek) + 50 % Oostoever Reuver-Gennep	Niers	0,41
Niers + N-O Brabant-2 (Raam) + 25 % Oostoever Reuver-Gennep	Niers	1,47
N-O Brabant-3 (Hertogswetering)	Aa	0,33

13.4

Analyse resultaten

Uit tabel 13.2 en de behaalde modefficiënties in eerdere hoofdstukken van de verschillende belangrijkste laterale toestromingen kan worden geconcludeerd dat de eerste dags voorspellingen voor alle kleinere laterale toestromingen goed zijn. Voor de tweede, derde en vierde dags voorspelling betekent dit dat de resultaten van de afvoervoorspelling van de Jeker, Voer en het Plateau van Margraten redelijk zullen zijn. De toestromingen gerelateerd aan de Aa, Niers en de Geleenbeek, in totaal 5 zullen goed zijn. De toestromingen gerelateerd aan de Neerbeek echter zullen slechtere voorspellingen geven. Dit zijn de Peel, de Thornerbeek en de Uffeltse Beek en het Belgisch Limburg + overig Grensmaas. Voorgesteld wordt nader onderzoek te doen naar een verbetering naar de voorspelling van de Neerbeek. Mogelijk wordt de meting van de afvoer van de Neerbeek beïnvloed door de afvoer op de Maas.

14. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

14.1 Inleiding

Doel van deze studie was drie-ledig:

- het ontwikkelen van eenvoudige neerslag-afvoermodellen voor de belangrijkste laterale toestromingen van de Maas (in Nederland);
- het ontwikkelen van eenvoudige neerslag-afvoermodellen voor de kleinere laterale toestromingen (gerelateerd aan de belangrijkste laterale toestromingen);
- het ontwikkelen van een neerslag-afvoer relatie voor het land van Maas en Waal.

In voorliggend rapport worden de resultaten van de studie beschreven en geïllustreerd. In paragraaf 14.2.1 worden de conclusies gegeven van de belangrijkste laterale toestromingen, in paragraaf 14.2.2 van de kleinere laterale toestromingen en in paragraaf 14.2.3 van het land van Maas en Waal.

14.2 Conclusies (samenvattend)

14.2.1 De belangrijkste laterale toestromingen

Methodiek

Met SPSS zijn voor ieder van de belangrijkste laterale toestromingen neerslag-afvoer relaties opgesteld. Het doel was *eenvoudige modellen* te ontwikkelen waarbij de *dynamiek* van de afvoergolf en *tijdstip waarop de afvoerpiek optreedt* juist wordt berekend. Deze doelen in het oog houdend is een methodiek gekozen die voor de eerste dags voorspelling prachtige resultaten geeft, voor de tweede dag voor een deel van toestromingen en voor de derde en de vierde dags voorspelling over het algemeen (met uitzondering van de Niers en de Geleenbeek) mindere resultaten geven.

Geconcludeerd kan worden dat in SPSS neerslag-afvoer relaties kunnen worden ontwikkeld. Als afhankelijke parameter in SPSS is de te voorspellen afvoer (afvoer T + 1, T + 2, T + 3 of T + 4) gebruikt. De onafhankelijke parameters zijn:

- de gemeten afvoer op dag T = 0;
- neerslag(voorspelling) (op dag T - 1, T = 0, T + 1, T + 2, T + 3 en T + 4);
- gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen;
- gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen in het kwadraat;
- seizoensafhankelijkheid in de vorm van "maand";
- seizoensafhankelijkheid in het kwadraat;
- neerslag(voorspelling)en in het kwadraat.

Model efficiency

De model efficiency van de eerste dags voorspelling is goed (zie tabel 14.1). In Bijlage XIII worden alle formules van de belangrijkste laterale toestromingen gegeven.

Tabel 14.1: de model efficiency (r^2) van de neerslag afvoer relaties van de eerste dags voorspelling.

Rivier	Geul	Geleenbeek	Roer	Neerbeek	Niers	Dommel	Aa
r^2	0,75	0.60	0.65	0.74	0.96	0.93	0.85

Voor de tweede, derde en vierde dags voorspelling zijn de resultaten over het algemeen minder goed (zie tabellen 14.2, 14.3 en 14.4). de tweede dags voorspelling van de Niers, de Dommel, de Aa en de Geleenbeek zijn goed, de anderen hebben resultaten onder het gemiddelde.

Geconcludeerd kan worden dat zodra de parameter afvoer niet meer wordt meegenomen in de voorspelling de model efficiency hard achteruit holt. Alternatief is echter dat er verschuiving optreedt in de afvoerpiek. Deze wordt dan te laat voorspeld.

Tabel 14.2: de model efficiency (r^2) van de neerslag afvoer relaties van de tweede dags voorspelling.

Rivier	Geul	Geleenbeek	Roer	Neerbeek	Niers	Dommel	Aa
r^2	0,46	0.60	0.62	0.24	0.90	0.85	0.77

Tabel 14.3: de model efficiency (r^2) van de neerslag afvoer relaties van de derde dags voorspelling.

Rivier	Geul	Geleenbeek	Roer	Neerbeek	Niers	Dommel	Aa
r^2	0,46	0.60	0.27	0.24	0.83	0.42	0.48

Tabel 14.4: de model efficiency (r^2) van de neerslag afvoer relaties van de vierde dags voorspelling.

Rivier	Geul	Geleenbeek	Roer	Neerbeek	Niers	Dommel	Aa
r^2	0,46	0.60	0.27	0.24	0.77	0.42	0.48

NB Indien de model efficiëncies van een rivier gelijk zijn betekent dit dat de modellen hetzelfde zijn. Dit is mogelijk om dat gebruik is gemaakt van *gemeten neerslagen* in plaats van *voorspelde neerslagen*.

Rekening moet worden gehouden met het feit dat de modellen in deze studie zijn opgesteld met gemeten neerslag gegevens. De operationele voorspellingen van de laterale toestromingen zullen derhalve onnauwkeuriger zijn dan de hier gepresenteerde resultaten.

Neerslag-afvoer relaties

Geul

De dynamiek van de afvoer wordt in de eerste dags voorspelling voor de Geul goed berekend. De hoogte en de tijd van de afvoerpieken zijn goed. De modeefficiency van de tweede, derde en vierde dag liggen onder het gemiddelde: de pieken worden iets te laag voorspeld. De dynamiek wordt echter



goed weergegeven en deze formules kunnen worden gebruikt gedurende hoogwater.

Geleenbeek

De parameter afvoer wordt in alle voorspellingen niet meegenomen. In het stroomgebied van de Geleenbeek is een zeer groot oppervlak stedelijk gebied waardoor de afvoer snel afstroomt. In de voorspellingen wordt de dynamiek van de afvoergolf en de hoogte en tijd van de afvoerpiek goed voorspeld voor alle dagen. Het verschil tussen de berekende en de gemeten afvoeren is maximaal $3 \text{ m}^3/\text{s}$ (van de $30 \text{ m}^3/\text{s}$) te laag.

Roer

De eerste en de tweede dags voorspelling van de Roer zijn goed. De dynamiek van de afvoergolf wordt juist weergegeven, de duur van de afvoerpiek wordt soms ietwat te lang berekend. Bij alle voorspellingen geldt dat de neerslag-afvoer relatie alleen geldig is voor afvoeren hoger dan $60 \text{ m}^3/\text{s}$. Een heel groot deel van de afvoeren liggen onder deze afvoer. Daartoe wordt aanbevolen, indien de afvoer lager wordt berekend dan $60 \text{ m}^3/\text{s}$, een afvoer te hanteren van $25 \text{ m}^3/\text{s}$ (gemiddelde afvoer).

De parameter $N_{\text{gem}7}$ speelt een belangrijke rol in de neerslag-afvoer relatie voor de derde en vierde dags voorspelling. Dit betekent dat de invloed van de stuwmeren een (na-ijlend) effect hebben. De resultaten van de derde en de vierde dags voorspelling zijn niet bevredigend, maar wel verklaarbaar vanwege de invloed van de stuwmeren.

Neerbeek

De dynamiek van de afvoer wordt in de eerste dags voorspelling voor de Neerbeek goed berekend. De hoogte van de afvoerpieken wordt ook goed berekend, de tijd waarop de piek wordt voorspeld echter niet. Deze wordt soms later voorspeld dan de gemeten waarden aangeven. De meting wordt echter misschien beïnvloed door de afvoer van de Maas waardoor het mogelijk is dat zowel de hoogte als de dynamiek niet juist worden berekend.

Niers

De neerslag-afvoer relaties voor de Niers hebben zeer hoge model efficiencies: de dynamiek wordt goed weergegeven en de hoogte van de afvoerpiek ook. De tijd waarop de afvoerpiek wordt voorspeld loopt echter, naarmate er langer vooruit wordt voorspeld, steeds meer voor op de gemeten afvoer.

Dommel

De eerste en de tweede dags voorspellingen van de Dommel hebben zeer hoge model efficiencies: de dynamiek wordt goed weergegeven en de tijd en hoogte van de afvoerpiek ook. Het verschil tussen de berekende en de gemeten afvoeren tijdens de piek is ongeveer 10 op de 100 (m^3/s). De derde en vierde dags voorspelling hebben veel minder hoge model efficiencies, doch geven de dynamiek nog steeds goed weer. Over het algemeen worden lage afvoeren iets te hoog en hoge afvoeren iets te laag berekend.

Aa

De eerste en de tweede dags voorspellingen van de Aa hebben hoge model efficiencies: de dynamiek van de afvoergolf en de tijd en hoogte van de afvoerpiek worden goed weergegeven. Het verschil tussen de berekende en de gemeten afvoeren tijdens de piek is ongeveer 9 op de 80 (m³/s). De dynamiek van de derde en vierde dags voorspelling wordt nog steeds goed weergegeven maar de pieken worden te laag berekend.

14.2.2 Kleinere laterale toestromingen

De resultaten van de kleinere laterale toestromingen kunnen worden samengevat met de volgende tabel (tabel 14.5).

Uit deze tabel en de conclusies in bovenstaande paragraaf kan worden geconcludeerd dat de eerste dags voorspellingen voor alle kleinere laterale toestromingen goed zijn. Voor de tweede, derde en vierde dags voorspelling betekent dit dat de resultaten van de afvoervoorspelling van de Jeker, Voer en het Plateau van Margraten gemiddeld zullen zijn ($r^2 = 0,46$). De toestromingen gerelateerd aan de Aa, Niers en de Geleenbeek, in totaal 5, zullen goed zijn. De toestromingen gerelateerd aan de Neerbeek echter zullen slechte voorspellingen geven (en verdienen nader onderzoek).

Tabel 14.5: oppervlakte gerelateerde factor voor verschillende rivieren.

Rivier	Oppervlakte gerelateerd aan:	Factor(-)
Jeker, Voer en Plateau van Margraten	Geul	1,44
Belgisch Limburg + overig Grensmaas	Neerbeek	1
Thornerbeek/Uffelse Beek	Neerbeek	0,41
Vlootbeek	Geleenbeek	0,31
Neerbeek en overige kleine beken	Neerbeek	1,77
Swalm + 25% Oostoever Reuver-Gennep	Niers	0,27
Peel	Neerbeek	1,31
N-O Brabant-1 (Jansbeek) + 50% Oostoever Reuver-Gennep	Niers	0,41
Niers + N-O Brabant-2 (Raam) + 25% Oostoever Reuver-Gennep	Niers	1,47
N-O Brabant-3 (Hertogswetering)	Aa	0,33

14.2.3 Het Land van Maas en Waal

De neerslag-afvoer relaties van het Land van Maas en Waal zijn vervaardigd met zeer weinig gegevens en zijn alleen te gebruiken in de maanden november tot en met april. De afvoer van het gemaal Quarles van Ufford wordt in 1998 iets te hoog berekend en in 1999 iets te laag.

De eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling van het Land van Maas en Waal zien er als volgt uit:

Eerste dags voorspelling:

$$\Sigma 0.9 * ((\text{gemiddelde van } N_{T-1}, N_T \text{ en } N_{T+1}) / 1000)) * (\text{oppervlak} / 86400)$$

Tweede dags voorspelling:

$$\Sigma 0.9 * ((\text{gemiddelde van } N_T, N_{T+1} \text{ en } N_{T+2}) / 1000)) * (\text{oppervlak} / 86400).$$

Derde dags voorspelling:

$$\Sigma 0.9 * ((\text{gemiddelde van } N_{T+1}, N_{T+2} \text{ en } N_{T+3}) / 1000)) * (\text{oppervlak} / 86400).$$

Vierde dags voorspelling:

$$\Sigma 0.9 * ((\text{gemiddelde van } N_{T+2}, N_{T+3} \text{ en } N_{T+4}) / 1000)) * (\text{oppervlak} / 86400).$$

De maximale capaciteit van cluster A zou 27.2 m³/s zijn, die van cluster B zou 30.3 m³/s zijn.

De nauwkeurigheid van de voorspellingen wordt geschat op +/- 60%. In vergelijking met de Maasafvoeren wordt dit acceptabel geacht.

Het Land van Maas en Waal is onderverdeeld in een tweetal clusters: cluster A en B. In cluster A zitten de gemalen van Dam van Brakel, HC de Jongh, De Baanbreker, De Rietschoof, Bern, Alem, Heerewaarden en Hedel en I Cluster B zitten Quarles van Ufford, Bloemers, Van Citters I en II. Cluster A ligt tussen km 205 en 231 en cluster B tussen km 175 en 205. Voorgesteld wordt om de instroom van deze afvoeren voor Cluster A plaats te laten vinden op de Afgedamde Maas (± km 230) en voor Cluster B ter hoogte van het Gemaal Quarles van Ufford.

14.3 Aanbevelingen

In onderstaande paragrafen worden enkele aanbevelingen gegeven met betrekking tot deze studie.

14.3.1 De (belangrijkste én de kleinere) laterale toestromingen

De neerslag-afvoer relaties kunnen mogelijk worden verbeterd door:

- bovenstroomse afvoermeetpunten (inclusief looptijden) toe te voegen;
- gemeten neerslagen (écht aanwezige gegevens) per station te gebruiken in plaats van de gemiddelde gebiedsneerslag (optimaliseren van de nu verkregen relaties);
- een fysisch neerslag-afvoer model te maken van enkele laterale toestromingen;
- optimalisatie van de parameter "maand".

Aanbevolen wordt de invloed van de stuwmeren in het stroomgebied van de Roer op het afvoerproces (en dus op de voorspellingen) nader te onderzoeken.

In deze studie is gebleken dat de parameter waarmee de verzadigingsgraad van de bodem wordt aangegeven belangrijk is bij het goed voorspellen van de afvoer. Derhalve wordt aanbevolen de basis-afvoer algoritme (mond. M.C.



Burgdorffer (RIZA)) te gebruiken en deze basis-afvoer als parameter mee te nemen in de bepaling van een nieuw model (in SPSS op te stellen).

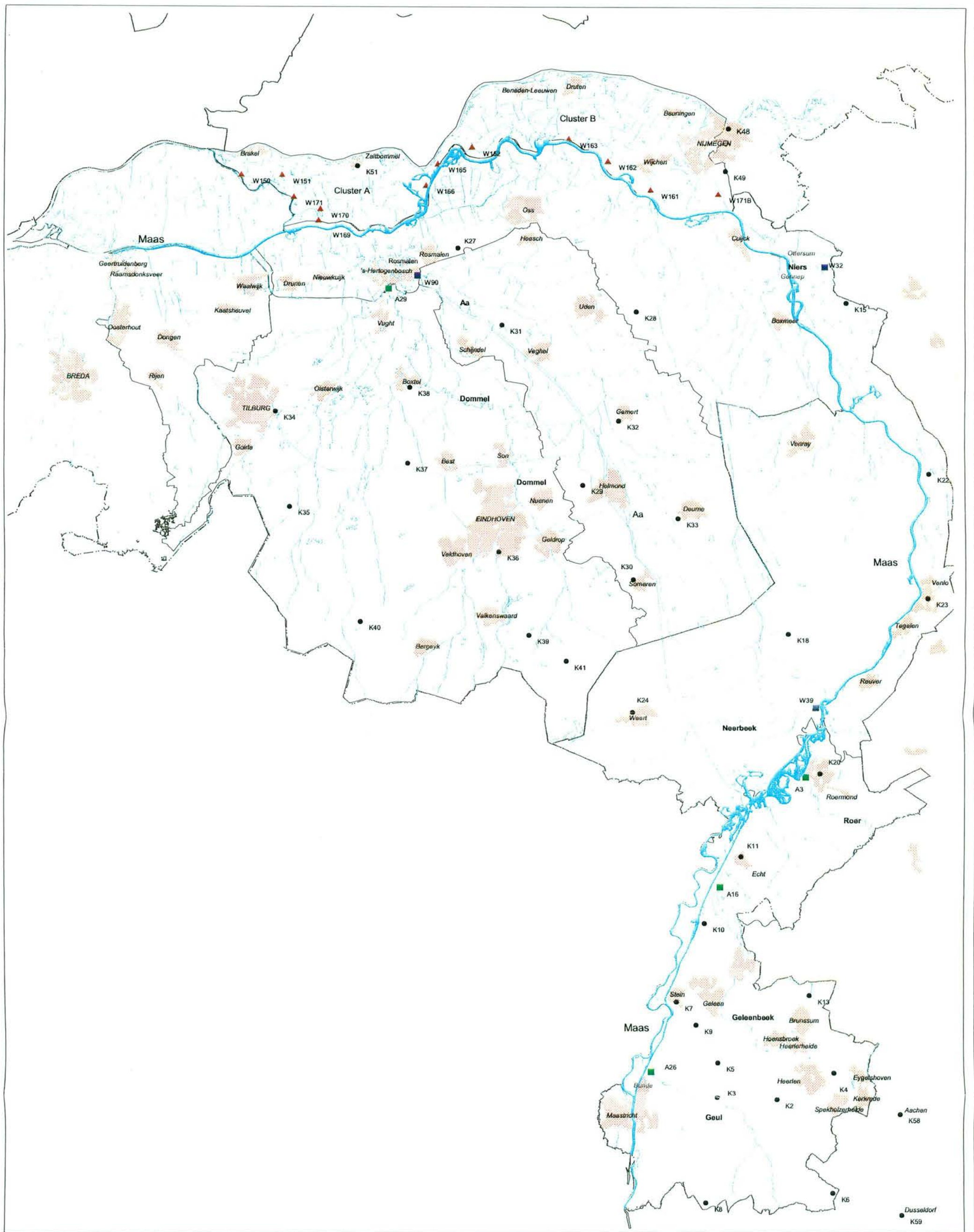
Dit zou voor alle rivieren een verbetering op kunnen leveren. Hiervoor wordt verwezen naar de artikelen "Evaluation of automated Techniques for Base Flow and Recession Analyses" van R.J. Nathan en T.A. McMahon en "Comment on "Evaluation of automated Techniques for Base Flow and Recession Analyses" van R.J. Nathan en T.A. McMahon"" van Tom G. Chapman.

Aanbevolen wordt neerslag-afvoerrelaties op te stellen met Neurale netwerken.

In deze studie is besloten om voor alle laterale toestromingen dezelfde onafhankelijke parameters te gebruiken. In werkelijkheid kunnen voor verschillende toestromingen andere parameters de beste voorspellers zijn. Eventueel kunnen de neerslag afvoerrelaties geoptimaliseerd worden door de parameterset per rivier te bepalen.

14.3.2 Het Land van Maas en Waal

Aanbevolen wordt de relaties te toetsen indien er meer gegevens voorhanden zijn en eventueel de relatie aan de hand daarvan bij te stellen.



LEGENDA

Meetpunten

- A afvoermeetpunt
- K neerslagstation
- ▲ W gemaal
- W waterstandmeetpunt

waterwegen

- provincies
- bebouwing
- Land van Maas en Waal

Titel : Laterale toestroming Maas

Project : K0382.B0

Datum : 13 - 11 - 2000

Schaal :
4
0
4
8
 Kilometers



HASKONING
Ingenieurs- en
Architectenbureau



BIJLAGE I

Kaart met neerslag- en afvoermeetstations



BIJLAGE II

Methodiek SPSS

Methodiek SPSS

(Algemene) beschrijving MLR met SPSS

Bij Multi-Lineaire Regressie wordt de afhankelijke parameter uitgedrukt als lineaire combinatie van meerdere onafhankelijke parameters. Met behulp van een lineaire vergelijking tussen de onafhankelijke parameters wordt de afhankelijke parameter voorspeld. Voor ieder model dienen echter eerst de parameters te worden bepaald. In formule vorm ziet een lineaire regressie voor bijvoorbeeld een eerste dags voorspelling er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = A_1 * Q_t + A_2 * \text{parameter} + \dots\dots\dots A_n * \text{parameter}$$

De coëfficiënten A_1 t/m A_n worden bij lineaire regressie met behulp van de kleinste kwadraten methode bepaald. Niet iedere parameter levert éézelfde bijdrage aan het op te stellen model. Er moet dus een keuze worden gemaakt uit de totale hoeveelheid aan onafhankelijke parameters. Deze keuze kan worden gemaakt door SPSS of handmatig. Uiteindelijk zal de keuze leiden tot (hopelijk) het meest optimale en tevens meest eenvoudige neerslag-afvoermodel.

Ter bepaling van de meest optimale set parameters met multi-lineaire regressie biedt SPSS een aantal methoden: de 'enter', de 'forward', de 'remove' en de 'stepwise' methode. Bij de 'enter' methode worden de parameters in één keer ingelezen en worden de coëfficiënten met die set parameters berekend. Bij de 'backward' methode worden in eerste instantie alle parameters gebruikt en worden afhankelijk van een in te stellen criteria (*) parameters uit de berekening gehaald en wordt een volgende berekening gemaakt, totdat de meest optimale set is bepaald met de gekozen methode. Dit is een optimalisatie proces. Bij de 'forward' methode gaat het andersom en worden, afhankelijk van het criteria (*), in plaats van weggehaald, parameters toegevoegd. De 'stepwise' methode is een combinatie van beide methoden. Deze wordt het meest gebruikt.

- (*) Als P_{in} (toelatingscriterium van een parameter) is 0.05 gebruikt en als waarde voor het verwijderingscriterium is 0.1 gehanteerd. Voor de tolerance is de default waarde in SPSS gebruikt: 0.0001. Op basis hiervan is de set coëfficiënten vastgesteld.

Stapsgewijs van ruwe data naar SPSS

In onderstaande paragrafen zal stapsgewijs worden beschreven welke stappen dienen te worden genomen voordat een berekening kan worden gemaakt in SPSS.



Originele data

De neerslagreeksen zijn aangeleverd in Excel formaat. De dagen stonden in horizontale richting en de maanden in de verticale richting. De reeksen zijn met behulp van een macro in Excel omgezet naar een neerslagreeks waarbij alle dagen in verticale richting kwamen te staan. De afvoeren stonden goed (in verticale richting).

Controle gegevens

De neerslaggegevens en afvoergegevens zijn gecontroleerd. Gecheckt is wat de minimum en maximum afvoeren en neerslagen waren en of deze binnen de proporties bleven. De neerslagen kleiner dan nul zijn als onrealistisch aangemerkt. Geconcludeerd is dat zowel de neerslagdata als de afvoerdata van goede kwaliteit waren.

De afvoerreeksen waren voor (bijna) geen enkele zijrivier compleet. De waarden "-1", en "-99" (ontbrekende afvoeren) zijn niet opgevuld maar leeggelaten.

De neerslagwaarden aangegeven met ".": "bijna 0" zijn veranderd in de waarde 0.

Keuze representatieve dataset

De representatieve tijdreeks is bepaald door de overlappende reeks van afvoer en neerslaggegevens te selecteren. Er waren over het algemeen minder neerslag- dan afvoergegevens aanwezig. De representatieve set, de gebruikte set gegevens, beslaat de periode januari 1990 (7 januari) tot en met december 1998 of 1999. Deze einddatum varieert per rivier.

Keuze neerslagstations per zijrivier

De bijbehorende neerslagstations voor de zijrivieren Geul, Geleenbeek, Roer, Neerbeek, de Niers, de Dommel en de Aa waren reeds door de opdrachtgever aangeleverd. De neerslagstations van het land van Maas en Waal zijn met behulp van expert-judgement gekozen. In tabel 4.1 worden de gebruikte neerslagstations per zijrivier gegeven.



Tabel 4.1: de (gebruikte) neerslagstations per rivier/gebied.

Rivier	Neerslagstations
Geul	Ubachsberg (K2), Valkenburg (K3), Schaesberg (K4), Schinnen (K5), Vaals (K6), Noorbeek (K7)
Geleenbeek	Stein (K7), Beek (K9), Buchten (K10), Echt (K11), Schinveld (K13)
Roer	Schinveld (K13), Roermond (K20), Aachen, Düsseldorf
Neerbeek	Heibloem (K18), Roermond (K20), Weert (K24)
Niers	Siebgewald (K15), Arcen (K22), Venlo (K23), Düsseldorf
Land van Maas En Waal	Heumen (K49), Nijmegen (K48)
Dommel	Tilburg (K34), Esbeek (K35), Eindhoven (K36), Oirschot (K37), Boxtel (K38), Leende (K39), Eersel (K40), Maarheeze (K41)
Aa	Nuland (K27), Volkel (K28), Helmond (K29), Someren (K30), Dinther (K31), Gemert (K32), Deurne (K33)

De K-nummers die achter de neerslagstations staan zijn dezelfde nummers als die in het rapport "Laterale Toestroming Maas; inventarisatie". De locaties van de neerslagstations zijn weergegeven op de kaart in Bijlage I.

Invoerfile SPSS (Excel-file)

Thans waren de neerslaggegevens en de afvoergegevens aanwezig en is een invoerfile opgesteld in een Excel-sheet. Hierin zijn, samen met de afvoer en de neerslagen, tevens een groot aantal andere parameters toegevoegd. Deze worden hieronder gegeven, waarna een uitleg zal volgen van de uiteindelijk gekozen parameters. De reden waarom parameters niet zijn opgenomen in de uiteindelijke set parameters wordt voor enkele parameters weergegeven in Bijlage IV. De gebruikte set gegevens loopt van januari 1990 tot december 1998 of 1999.

Het totale scala aan parameters dat de revue is gepasseerd:

Afhankelijke parameter:

De te voorspellen afvoer (afvoer $T + 1$, $T + 2$, $T + 3$ of $T + 4$);

Onafhankelijke parameters:

- de gemeten afvoer op dag $T = 0$;
- de neerslagen van de verschillende stations genoemd in tabel 4.2 (op dag $T - 1$, $T = 0$, $T + 1$, $T + 2$, $T + 3$ en $T + 4$);
- de gemiddelde neerslag(voorspelling) (op dag $T - 1$, $T = 0$, $T + 1$, $T + 2$, $T + 3$ en $T + 4$);
- gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen;
- gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen in het kwadraat;
- gemiddelde neerslag van de afgelopen 5 dagen;
- gemiddelde neerslag van de afgelopen 5 dagen in het kwadraat;
- gemiddelde neerslag van de afgelopen 10 dagen;
- gemiddelde neerslag van de afgelopen 10 dagen in het kwadraat;
- seizoensafhankelijkheid in de vorm van maand;

- seizoensafhankelijkheid in het kwadraat;
- neerslag(voorspelling)en in het kwadraat;
- DQ/dT ;
- $(DQ/dT)^2$.

In samenspraak met de opdrachtgever, enkele selectie-criteria zoals model-efficiency (r^2), een vergelijking van enkele statistische gegevens (gemiddelde, maximum, variantie, standaarddeviatie en mediaan zowel over het gehele afvoerbereik als voor beperkte afvoerbereiken) en een beoordeling op het oog, zijn uiteindelijk 7 onafhankelijke parameters geselecteerd.

De model efficiency geeft een goede indruk van de algehele performance van het model en is met name gevoelig voor tijdsverschuivingen tussen de gemeten en de berekende afvoeren en het optreden van grote afwijkingen in de toppen. Een ander criterium: de standaardafwijking van de residuals geeft aan of de voorspellingen gemiddeld goed zijn. Is deze nul dan is de voorspelling zeer goed. Hoe groter het getal is, des te groter is de afwijking tussen de gemeten en de berekende waarde. Dit kan goed worden aangetoond door voor een klein afvoerbereik de standaardafwijking van de residuals te bekijken.

De 7 overgebleven parameters gaven op basis van bovengenoemde selectie-criteria de beste resultaten. In Bijlage IV worden enkele resultaten gegeven van de eerder geprobeerde methodieken in SPSS. Voor alle rivieren zijn dezelfde parameters gebruikt. Deze parameters tezamen vormen de invoerfile voor SPSS. De invoerfile ziet er als volgt uit:

Afhankelijke parameter:

De te voorspellen afvoer (afvoer $T+1$, $T+2$, $T+3$ of $T+4$).

Onafhankelijke parameters:

1. de gemeten afvoer op dag $T=0$;
2. de neerslag(voorspelling) (op dag $T-1$, $T=0$, $T+1$, $T+2$, $T+3$ en $T+4$) (*);
3. gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen;
4. gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen in het kwadraat;
5. seizoensafhankelijkheid in de vorm van maand;
6. seizoensafhankelijkheid in het kwadraat;
7. neerslag(voorspelling)en in het kwadraat.

(*) De afvoer op $T+1$ is de afvoer voor morgen. Dit is dus de voorspelde afvoer voor morgen.

Voor iedere gebruikte parameter zal hieronder kort worden beschreven wat de parameter inhoudt en hoe de parameter is berekend.

- Ad 1: de te voorspellen afvoer voor morgen (op dag $T+1$) is ten opzichte van de gemeten afvoer één dag verschoven. Opgemerkt wordt dat de *gemeten afvoeren* zijn gebruikt als de te *voorspellen afvoeren*. De te voorspellen afvoer $T+2$ is twee dagen verschoven ten opzichte van de gemeten afvoer. Die voor $T+3$ en $T+4$ zijn respectievelijk 3 en 4 dagen verschoven ten opzichte van de gemeten afvoer.
- Ad 2: de gemeten afvoer van vandaag is in iedere invoerfile gelijk (eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling).
- Ad 3: de neerslagen zijn berekend door het gemiddelde te nemen van alle stations. Hierdoor is een gemiddelde *gebiedsneerslag* berekend. Deze keuze is gemaakt omdat in de praktijk niet altijd alle gegevens voorhanden, of op tijd aanwezig zijn. Een gemiddelde gebiedsneerslag is echter wel een vereenvoudiging van de werkelijkheid en extreme neerslagpieken worden er (bijna altijd) uitgemiddeld.

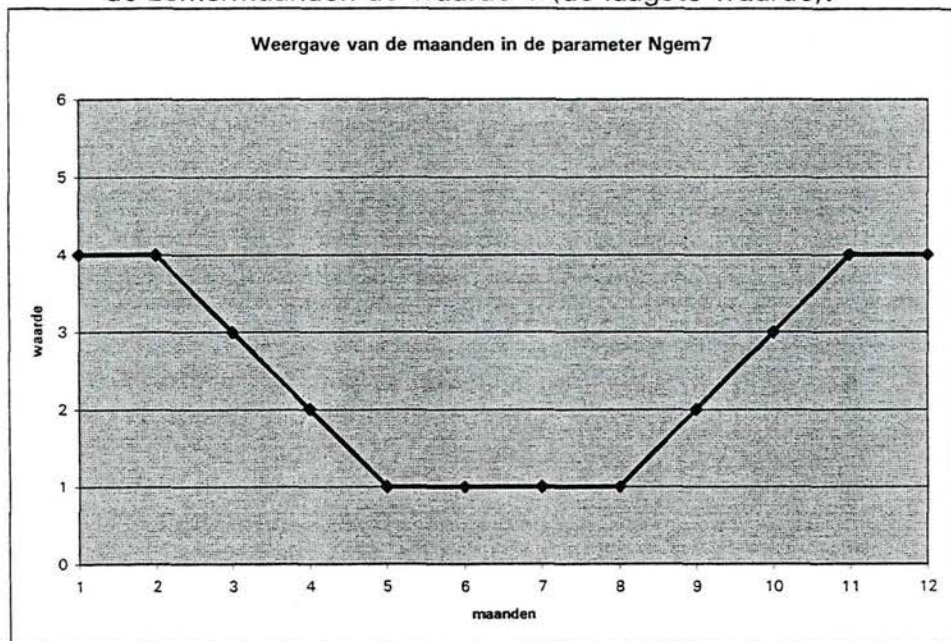
Daarnaast moet opgemerkt worden dat de neerslagen normaliter 's morgens vroeg worden gemeten (om 8.55 uur). De gemeten hoeveelheid is derhalve gelijk aan de neerslag van de dag ervoor (vanaf 8.55 uur) tot 8.55 uur op de dag van meting.

Omdat de zijrivieren allemaal snel reageren op neerslag: de neerslag komt binnen twee dagen tot afvoer (zie Bijlage IV) wordt gebruik gemaakt van 3 dagen neerslag. Dus: voor een eerste dags voorspelling wordt gebruik gemaakt van de neerslag van gisteren ($T-1$), van vandaag ($T=0$) en de voorspelling voor morgen ($T+1$). Voor de tweede dags voorspelling wordt gebruik gemaakt van de neerslag op $T=0$, $T+1$ en $T+2$. Voor een derde dags voorspelling van de neerslag op $T+1$, $T+2$ en $T+3$ en voor een vierde dags voorspelling van de neerslag op $T+2$, $T+3$ en $T+4$.

- Ad 4: zoals al is gezegd, reageren de laterale toestromingen binnen twee dagen op neerslag. De afvoer over het jaar gemiddeld is over het algemeen laag en heel af en toe (extreem) hoog. Derhalve is het aan te bevelen om voor een hoogwatervoorspellingsmodel een parameter op te nemen waarmee de gemiddelde verzadigingsgraad van de bodem kan worden weergegeven. Hiervoor is gekozen om de gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen te nemen. Deze bleek de beste modefficiëncy te geven. Er is ook nog gekeken het gemiddelde over 10 dagen of 5 dagen maar deze leverden minder goede resultaten op (zie Bijlage IV). De parameter, $N_{\text{gem}7}$, is laag gedurende droge perioden (lagere afvoeren) en hoog naarmate het langdurig heeft geregend en de bodem verzadigd is. De $N_{\text{gem}7}$ is bepaald door de neerslagvoorspelling voor morgen (op $T+1$) te middelen over de afgelopen 7 dagen (de parameter voor de eerste dags voorspelling heet $1N_{\text{gem}7}$). Voor de tweede dags voorspelling is het gemiddelde berekend van de voorspelling $T+2$ (deze heet $2N_{\text{gem}7}$).

Ad 5: kwadraten van de parameters zijn meegenomen om de extremitet van een afvoerpiek beter te kunnen benaderen.

Ad 6: de zijrivieren van de Maas zijn allemaal seizoensafhankelijk. In de zomer lage afvoeren, in winter hoge en extreem hoge afvoeren. Normaliter komen hoge afvoeren voor in de maanden november tot en met april. Derhalve is een parameter opgenomen waarmee de seizoeninvloed kan worden weergegeven. Deze parameter is weergegeven volgens figuur 4.1. Hierin hebben januari, februari, november en december een waarde 4 gekregen. Dit is de hoogste waarde. Maart en oktober hebben de waarde 3, april en september hebben de waarde 2 en de zomermaanden de waarde 1 (de laagste waarde).



Figuur 4.1: de weergave van de maanden in de parameter Ngem7.

Ad 7: het kwadraat van de seizoensafhankelijkheid is meegenomen om de extremitet van een afvoerpiek beter te kunnen benaderen.

Ad 8: het kwadraat van de gebiedsneerslag(voorspelling) is meegenomen om de extremitet van een afvoerpiek beter te kunnen benaderen.

Vaststelling methodiek (SPSS) voor neerslag-afvoer modellen

Met behulp van het programma SPSS zijn de neerslag-afvoer relaties voor de rivieren de Geul, Geleenbeek, Roer, Neerbeek, Niers en de Dommel en Aa afgeleid. Dit is gedaan middels Multi-Lineaire Regressie. Multi-lineaire regressie is niets anders dan een lineaire vergelijking opstellen op basis van meerdere (= multi) parameters.

In onderstaande twee paragrafen wordt uitgelegd welke parameters zijn gebruikt en welke acties zijn ondernomen in SPSS, uiteindelijk leidend tot de vaststellen van de te hanteren methodiek.

Parameters

Zoals reeds is beschreven is de te voorspellen afvoer (de afvoer voor dag $T+1$, $T+2$, $T+3$, $T+4$), de afhankelijke parameter en zijn de gemeten afvoer van vandaag ($T=0$), de gemiddelde neerslag(voorspelling), de gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen (N_{gem7}), de gemiddelde neerslag van de afgelopen 7 dagen in het kwadraat ($(N_{gem7})^2$), de seizoensafhankelijkheid (maand), de seizoensafhankelijkheid in het kwadraat (maand²) en de neerslag(voorspelling) in het kwadraat ($(N_{T-1})^2$ of N_T^2 etc.) de onafhankelijke parameters. Met behulp van een lineaire vergelijking tussen de onafhankelijke parameters wordt de afhankelijke parameter voorspeld. In formule vorm ziet dat er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = A*Q_t + B*maand + C* maand^2 + D*N_{T-1} + E*N_T + F* N_{T+1} + G*(N_{T-1})^2 + H*(N_T)^2 + I*(N_{T+1})^2 + J* 1N_{gem7} + K*(1N_{gem7})^2 + L$$

$$Q_{t+2} = A*Q_t + B*maand + C*maand^2 + D*N_T + E*N_{T+1} + F* N_{T+2} + G*(N_T)^2 + H*(N_{T+1})^2 + I*(N_{T+2})^2 + J*2N_{gem7} + K*(2N_{gem7})^2 + L$$

$$Q_{t+3} = A*Q_t + B*maand + C*maand^2 + D*N_{T+1} + E*N_{T+2} + F* N_{T+3} + G*(N_{T+1})^2 + H*(N_{T+2})^2 + I*(N_{T+3})^2 + J*3N_{gem7} + K*(3N_{gem7})^2 + L$$

$$Q_{t+4} = A*Q_t + B*maand + C*maand^2 + D*N_{T+2} + E*N_{T+3} + F*N_{T+4} + G*(N_{T+2})^2 + H*(N_{T+3})^2 + I*(N_{T+4})^2 + J*4N_{gem7} + K*(4N_{gem7})^2 + L$$

Wat te doen in SPSS?

Allereerst is de Excel-file ingelezen in SPSS.

Vervolgens is de autocorrelatie van de data, de set gemeten afvoeren, bepaald. Dit om te bepalen in hoeverre de afvoer van vandaag bepalend is voor de afvoer van morgen, overmorgen en de twee dagen daarna. In samenspraak met de opdrachtgever is beslist om bij een autocorrelatie groter dan 0.50 de afvoer van vandaag mee te nemen als onafhankelijke parameter in de lineaire regressie (tenzij anders aangegeven). Indien de autocorrelatie kleiner is dan 0.50 wordt de afvoer niet meer meegenomen als parameter in de lineaire regressie.

Indien de gemeten afvoer van vandaag niet wordt meegenomen in de voorspellingen van de afvoeren voor morgen en overmorgen en de dag erna dan zullen de uiteindelijke voorspellingsmodellen allemaal gelijk zijn. Het verschil tussen de modellen zal alleen de naam van de parameters zijn.

De volgende stap is de hoogte van de afvoer te bepalen bij een frequentieverdeling van 75%. Hierdoor worden de 25% hoogste afvoeren geselecteerd. Met behulp van deze afvoer wordt de dataset verkort. Bij het berekenen van de coëfficiënten zullen dus alleen afvoeren hoger dan bovengenoemde afvoer worden meegenomen. De reden hiervoor is dat het grootste gedeelte van het jaar de afvoeren laag zijn (en relatief constant).



Hoge afvoeren komen relatief weinig voor. Omdat dit een hoogwatervoor-spellingsmodel is en uit eerdere bepalingen met SPSS bleek dat de pieken niet voldoende hoog werden berekend als het gehele afvoerbereik werd mee-genomen is gekozen voor een kleinere dataset. Door vervolgens te calibreren op de hoogste afvoeren kwamen de berekende afvoeren dichterbij de buurt van de gemeten afvoeren.

Vervolgens is een berekening gemaakt met de 'enter' methode in SPSS om een gevoel te krijgen van de belangrijkheid van de ene parameter ten opzichte van de andere. Deze belangrijkheid kan worden afgelezen aan de hand van de Student-t waarden. Bruikbare parameters hebben over het algemeen Student-t waarden die groter zijn dan 2 of kleiner zijn dan -2 (Applications Guide SPSS, 1999).

Daarna is een berekening gemaakt met de 'stepwise' methode. Ook hier is naar de Student-t waarden gekeken en gecontroleerd of, in vergelijking met de 'enter' methode, de daarin grootste ook in de berekening van de 'stepwise' berekening zitten.

Het resultaat van de 'stepwise' methode geeft een optimale set aan parameters die de te voorspellen afvoer, volgens SPSS, zo juist mogelijk weergeeft.

De verificatie en calibratie van de verschillende modellen is uitgevoerd met dezelfde dataset, dus van 1990 tot 1998 respectievelijk 1999. Met behulp van de set parameters die uit SPSS als beste uit de bus kwamen kan de te voorspellen afvoer worden berekend. Hiertoe zijn de berekende coëfficiënten gekopieerd naar Excel en is de te voorspellen afvoer berekend in Excel.

Tevens zijn enkele statistische eigenschappen van de residuals weggeschreven (gemiddelde, de som, het minimum, maximum, standaard deviatie en de variantie). Daarnaast wordt door SPSS een samenvattende tabel gegenereerd met informatie over de model efficiency, de correlaties tussen de parameters etc.



BIJLAGE III

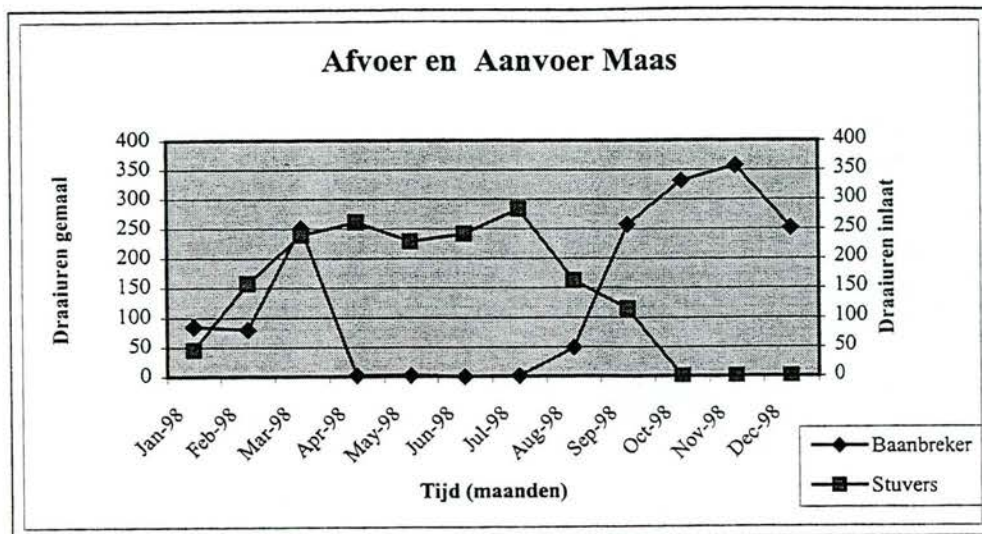
Gegevens van de gemalen Groot Maas en Waal



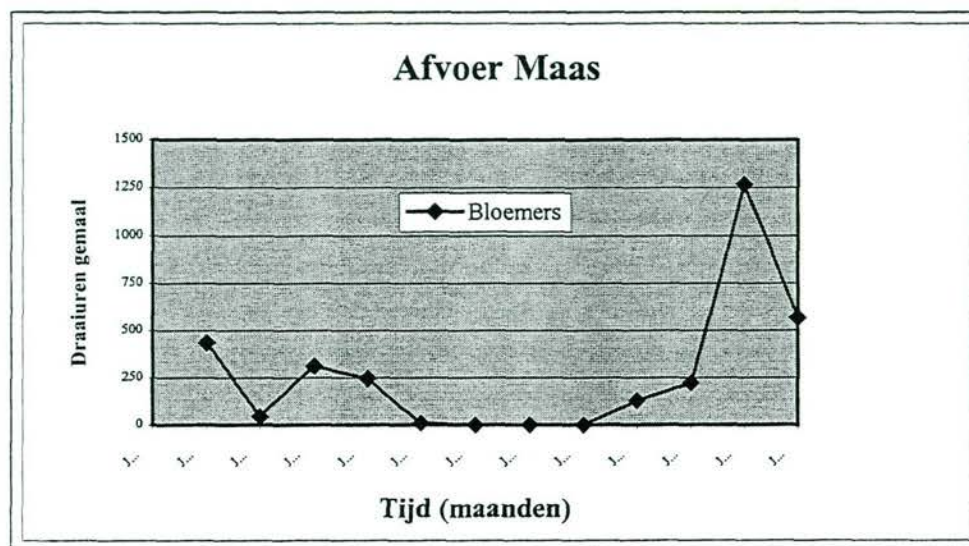
Gegevens van de gemalen

Bemalingsgebied		Baanbreker					
		Stand 1	dr.uren	Stand 2	dr.uren	Totaal dr.uren	m3 water
Jan-98		5610		6194			
Feb-98	Jan-98	5689	79	6200	6	85	1275000
Mar-98	Feb-98	5760	71	6209	9	80	1200000
Apr-98	Mar-98	6003	243	6217	8	251	3765000
May-98	Apr-98	6005	2	6217	0	2	30000
Jun-98	May-98	6007	2	6217	0	2	30000
Jul-98	Jun-98	6007	0	6217	0	0	0
Aug-98	Jul-98	6008	1	6217	0	1	15000
Sep-98	Aug-98	6045	37	6229	12	49	735000
Oct-98	Sep-98	6244	199	6287	58	257	3855000
Nov-98	Oct-98	6512	268	6350	63	331	4965000
Dec-98	Nov-98	6803	291	6416	66	357	5355000
Jan-99	Dec-98	6833	30	6638	222	252	3780000

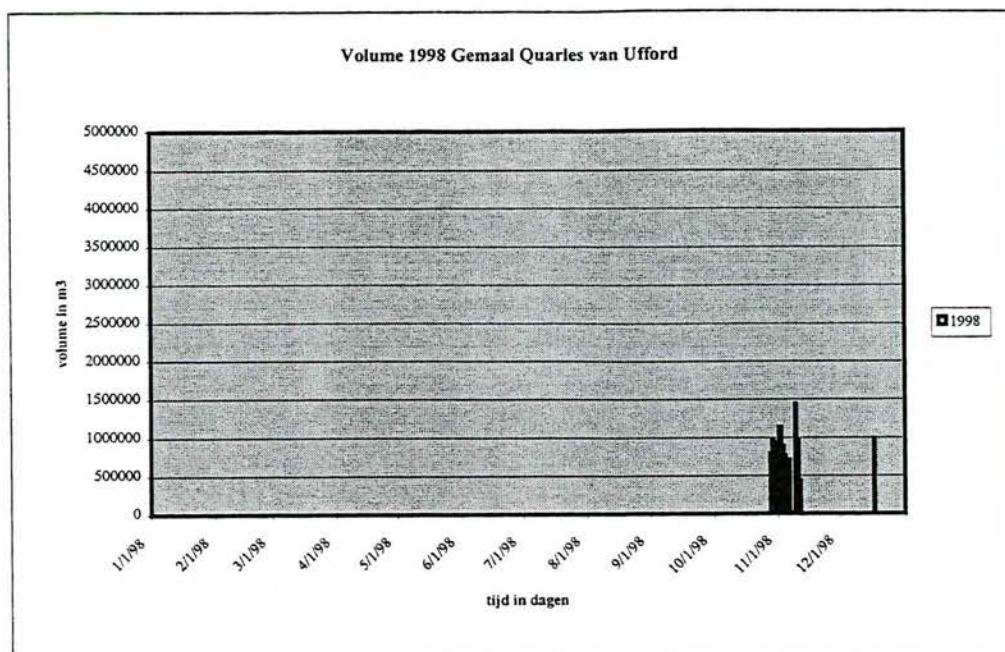
Stuvers		
Stand	draaiuren	M ³ water
2832		
2878	46	276000
3035	157	942000
3274	239	1434000
3535	261	1566000
3763	228	1368000
4004	241	1446000
4287	283	1698000
4449	162	972000
4564	115	690000
4564	0	0
4564	0	0
4564	0	0



Bloemers	Draaiuren 1998
Jan	439
Feb	47
Mrt	312
Apr	247
Mei	12
Jun	0
Jul	0
Aug	0
Sep	131
Okt	222
Nov	1267
Dec	568

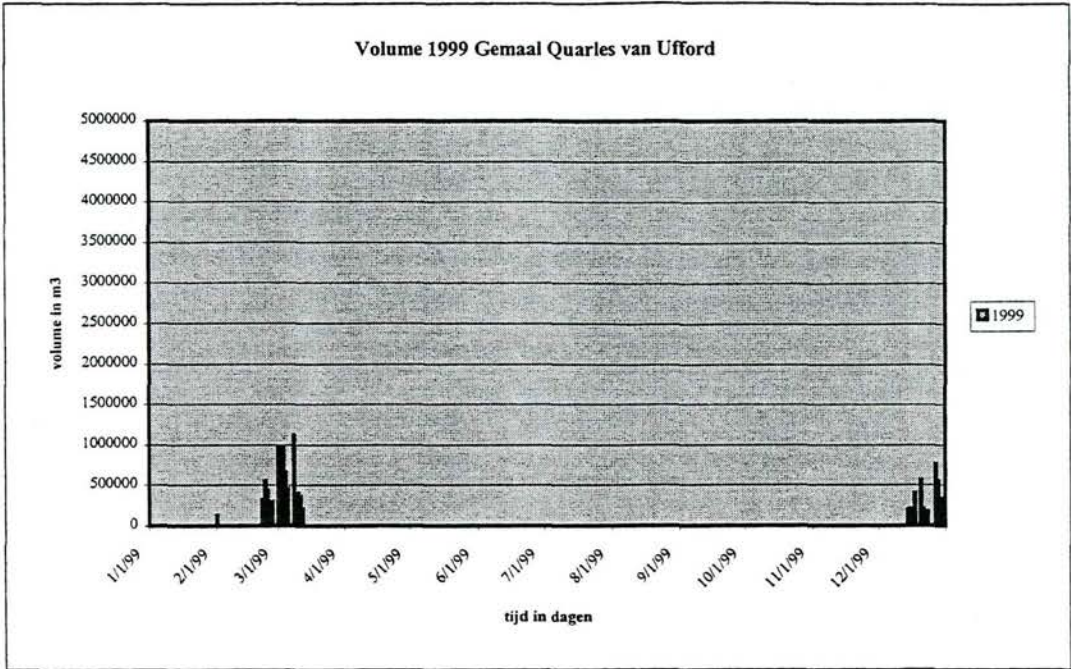


UREN & CAPACITEIT VAN GEMAAL QUARLES VAN UFFORD					
Totaal capaciteit 810 m³ per minuut					
1998					
Datum:	uren:				
	motor 1:	motor 2:	motor 3:		
5-Jan	4322	4588	835		
17-Dec	4687	4897	1075		
Totaal:	365	309	240		
1998					
Datum:	uren:			totaal	totaal
	motor 1:	motor 2:	motor 3:	uren:	volume:
27-Oct	4384	4594	912		
28-Oct	4404	4609	926	49	793800
29-Oct	4423	4628	948	60	972000
30-Oct	4443	4648	966	58	939600
31-Oct	4459	4664	980	46	745200
1-Nov	4483	4688	1002	70	1134000
2-Nov	4505	4710	1028	70	1134000
3-Nov	4523	4728	1047	55	891000
4-Nov	4541	4748	1056	47	761400
5-Nov	4556	4763	1059	33	534600
6-Nov	4576	4784	1062	44	712800
9-Nov	4629	4818	1064	89	1441800
10-Nov	4654	4843	1074	60	972000
11-Nov	4668	4856	1074	27	437400
17-Dec	4687	4897	1075	61	988200
			totaal:	769	12457800

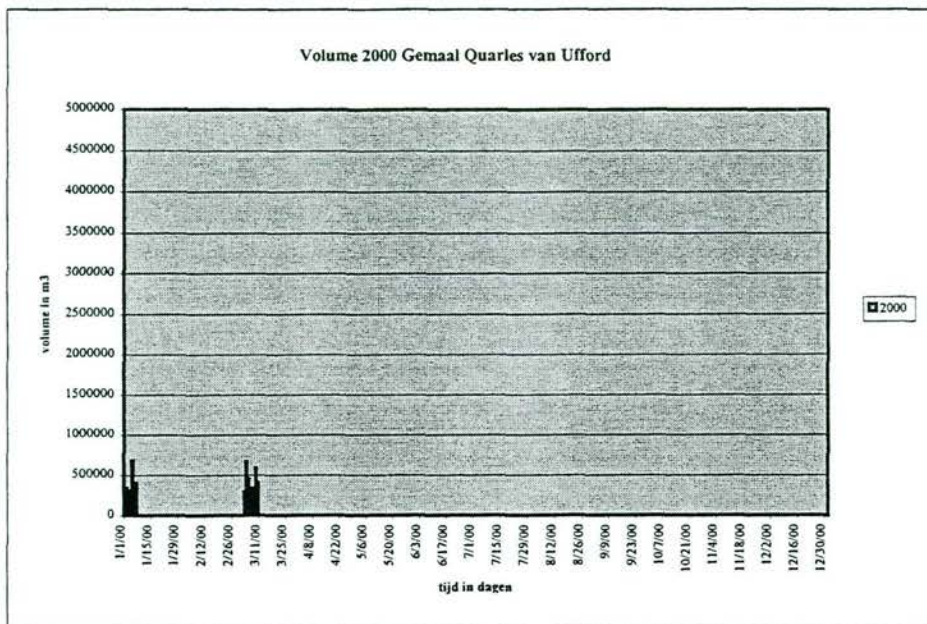




UREN & CAPACITEIT VAN GEMAAL QUARLES VAN UFFORD					
1999					
datum:	uren:				
	motor 1:	motor 2:	motor 3:		
31-Jan	4687	4915	1075		
31-Dec	4974	5205	1270		
totaal:	287	290	195		
1999					
datum:	uren:			totaal	totaal
	motor 1:	motor 2:	motor 3:	uren:	volume:
31-Jan	4687	4915	1075		
1-Feb	4687	4923	1075	8	129600
22-Feb	4687	4943	1075	20	324000
23-Feb	4687	4963	1089	34	550800
24-Feb	4687	4983	1096	27	437400
25-Feb	4687	5001	1096	18	291600
26-Feb	4687	5019	1096	18	291600
1-Mar	4687	5076	1098	59	955800
2-Mar	4697	5096	1121	53	858600
3-Mar	4712	5116	1145	59	955800
4-Mar	4713	5136	1165	41	664200
5-Mar	4716	5150	1176	28	453600
8-Mar	4772	5163	1176	69	1117800
9-Mar	4790	5170	1176	25	405000
10-Mar	4810	5175	1176	25	405000
11-Mar	4830	5177	1176	22	356400
12-Mar	4843	5177	1176	13	210600
14-Dec	4854	5178	1176	12	194400
15-Dec	4867	5178	1176	13	210600
17-Dec	4892	5178	1176	25	405000
20-Dec	4927	5178	1176	35	567000
21-Dec	4928	5190	1176	13	210600
23-Dec	4928	5201	1176	11	178200
24-Dec	4928	5201	1176	0	0
26-Dec	4928	5201	1176	0	0
27-Dec	4943	5205	1204	47	761400
28-Dec	4954	5205	1227	34	550800
29-Dec	4956	5205	1246	21	340200
30-Dec	4956	5205	1267	21	340200
31-Dec	4974	5205	1270	21	340200
			totaal:	772	12506400



UREN & CAPACITEIT VAN GEMAAL QUARLES VAN UFFORD					
2000					
datum:	uren:				
	motor 1:	motor 2:	motor 3:		
1-Jan	4982	5222	1270		
totaal:					
2000					
datum:	uren:			totaal	totaal
	motor 1:	motor 2:	motor 3:	uren:	volume:
1-Jan	4982	5222	1270		
2-Jan	4983	5242	1270	21	34
3-Jan	4983	5261	1270	19	30
5-Jan	4984	5279	1293	42	68
7-Jan	4984	5289	1308	25	40
20-Feb	4984	5289	1308	0	
22-Feb	4984	5289	1308	0	
3-Mar	4988	5295	1316	18	29
4-Mar	4992	5312	1336	41	66
5-Mar	4992	5333	1343	28	45
6-Mar	4992	5348	1345	17	27
7-Mar	5012	5349	1345	21	34
8-Mar	5030	5352	1345	21	34
9-Mar	5050	5368	1345	36	58
10-Mar	5070	5373	1345	25	40
			totaal:	314	508





BIJLAGE IV

Andere gebruikte methoden in SPSS



Andere gebruikte methoden in SPSS

In SPSS zijn verschillende methodieken getest voordat de uiteindelijk gehanteerde methodiek is bepaald. Hieronder worden een tweetal methodieken apart behandeld. Dit zijn:

1. als invoer is géén gebruik gemaakt van de *gemiddelde gebiedsneerslag* maar van de neerslaghoeveelheden *pér* neerslagstation voor T-2, T-1 en T. Daarnaast is een gemiddelde gebiedsneerslagvoorspelling en de afvoer meegenomen in de invoerfile.
2. als invoer is gebruik gemaakt van exact dezelfde gegevens als de uiteindelijk gebruikte, alleen is de parameter waarmee de verzadigingsgraad van de bodem kan worden weergegeven gevarieerd. Deze verzadigingsgraad is uitgedrukt in de gemiddelde neerslaghoeveelheid van de afgelopen 5, 7 of 10 dagen.

De eerste en de vierde dags voorspelling van de Dommel

De eerste en de vierde dags voorspelling van de Dommel zijn opgesteld door voor de neerslagstations Tilburg, Esbeek, Eindhoven, Oirschot, Boxtel, Leende, Eersel en Maarheeze de neerslaghoeveelheden te gebruiken van twee dagen geleden, een dag geleden en van vandaag. Daarnaast is de gemiddelde gebiedsneerslagvoorspelling en de afvoer meegenomen. Het model voor de eerste en de vierde dags voorspelling zien er als volgt uit:

$$Q_{T+1} = -0.10425 + 0.935797 * Q_T + 0.615118 * VSP(T+1) - 0.20427 * Oirschot(T-1) + 0.158388 * Eindhoven - 0.12859 * Eersel(T-2)$$

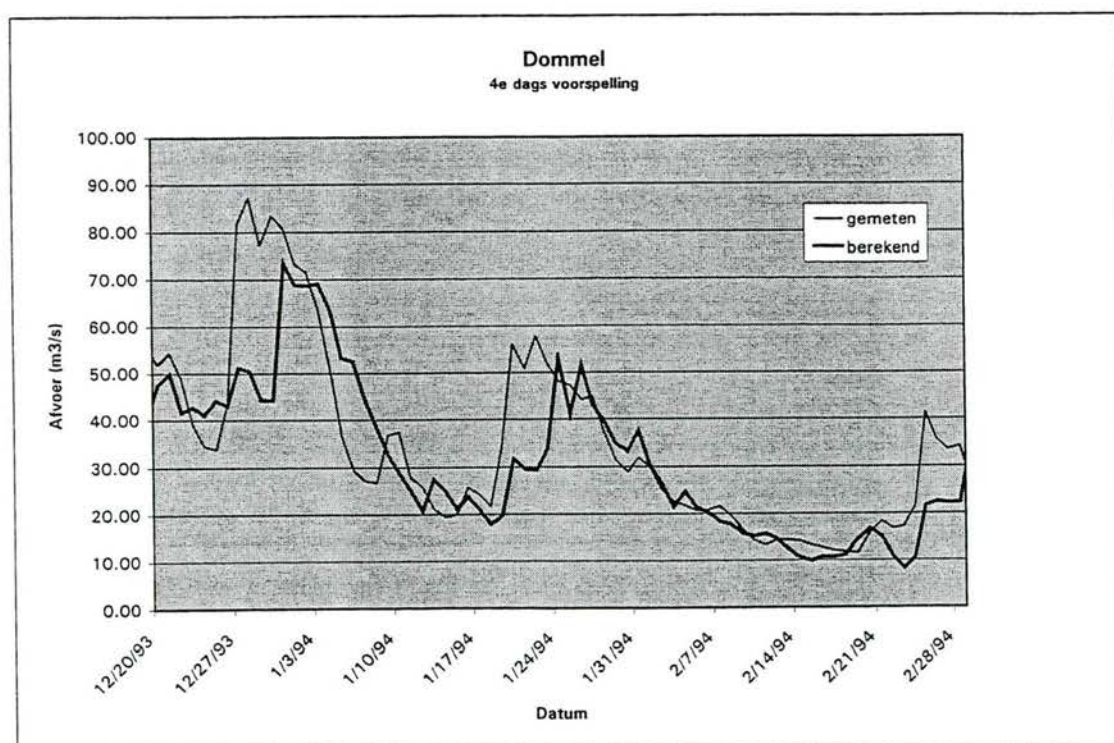
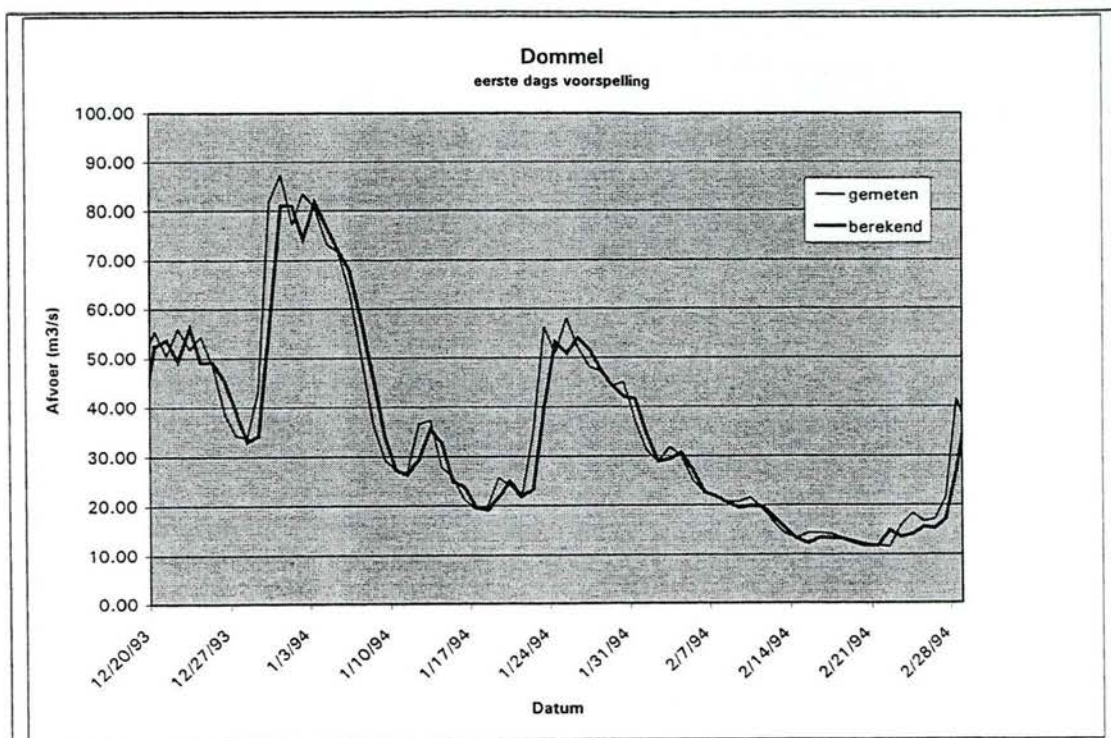
$$Q_{T+4} = -0.05799 + 0.750226 * Q_T + 0.645876 * VSP(T+4) + 0.766137 * VSP(T+3) + 0.54968 * VSP(T+2) - 0.39267 * Eersel(T-1)$$

Beide modellen worden in onderstaande grafieken weergegeven. Hierin (en in de opgestelde modellen) vallen een aantal zaken op:

1. de parameter afvoer speelt in zowel de eerste als de vierde dags voorspelling een belangrijke rol (de coëfficiënt is 0.94, respectievelijk 0.75). Zo'n hoge coëfficiënt voor de vierde dags voorspelling is niet realistisch want de neerslag van de Dommel is na vier dagen voor het grootste gedeelte verdwenen uit het systeem.
2. de dynamiek van de afvoergolf wordt "gevolgd" maar de toppen treden *niet* op het juiste moment op.
3. de verschuiving in de tijd en in de hoogte van de afvoer bij de eerste dags voorspelling is toegenomen bij de vierde dags voorspelling.

Het doel van deze studie is het opstellen van eenvoudige neerslag-afvoermodellen waarmee de dynamiek van de afvoergolf juist wordt weergegeven én de top van de afvoergolf op het juiste moment wordt voorspeld. Daarom is er géén gebruik gemaakt van deze methodiek. In de uiteindelijk gehanteerde methodiek is de afvoer voor de derde en de vierde dags voor-

spelling niet meegenomen. Aanbevolen wordt de huidige modellen te optimaliseren met een Baseflow algoritme. Hiervoor wordt verwezen naar de artikelen "Evaluation of automated Techniques for Base Flow and Recession Analyses" van R.J. Nathan en T.A. McMahon en "Comment on "Evaluation of automated Techniques for Base Flow and Recession Analyses" van R.J. Nathan en T.A. McMahon"" van Tom G. Chapman.



Verzadigingsgraad 5, 7 of 10 dagen

Als invoer zijn dezelfde gegevens gebruikt als de uiteindelijk gebruikte gegevens, alleen is de parameter waarmee de verzadigingsgraad van de bodem kan worden weergegeven gevarieerd. Deze is respectievelijk berekend over de laatste 5, 7 of 10 dagen.

De verschillen tussen de resultaten van bovengenoemde test met de Geul zijn minimaal. De model-efficiencies zijn hetzelfde. De coëfficiënten verschillen echter. In onderstaande tabellen 1 en 2 worden de coëfficiënten (in 2 decimalen) berekend met zowel de 'enter' methode als de 'stepwise' methode weergegeven. Hieruit zijn enkele zaken te concluderen:

1. de parameter berekend over de afgelopen 7 dagen met de 'enter' methode is het grootste (én positief)
2. de parameter berekend over de afgelopen 10 dagen met de 'enter' methode is negatief. Dit is niet realistisch.
3. de parameter berekend over de afgelopen 7 dagen met de 'stepwise' methode is het grootste (én positief)
4. de parameter berekend over de afgelopen 10 dagen met de 'stepwise' methode is negatief. Dit is niet realistisch.
5. de parameter berekend over de afgelopen 5 dagen met de 'stepwise' methode is verdwenen (deze was niet belangrijk genoeg)

Dientengevolge is de parameter berekend over de afgelopen 7 dagen als meest realistisch gekenmerkt. Daarnaast zijn de model efficiencies gelijk. De parameter N_{gem7} is bij alle berekeningen in SPSS, bij alle zijrivieren, gebruikt als invoer.

Tabel 1: de coëfficiënten berekend met de 'enter' methode

Parameter	Coëfficiënt ('enter' methode)
N_{gem10}	-1.99
N_{gem7}	3.22
N_{gem5}	1.08
$(N_{gem10})^2$	3.05
$(N_{gem7})^2$	-4.24
$(N_{gem5})^2$	-1.81

Tabel 2: de coëfficiënten berekend met de 'stepwise' methode

Parameter	Coëfficiënt ('stepwise' methode)
N_{gem10}	-2.36
N_{gem7}	2.61
N_{gem5}	-
$(N_{gem10})^2$	3.29
$(N_{gem7})^2$	-3.70
$(N_{gem5})^2$	-



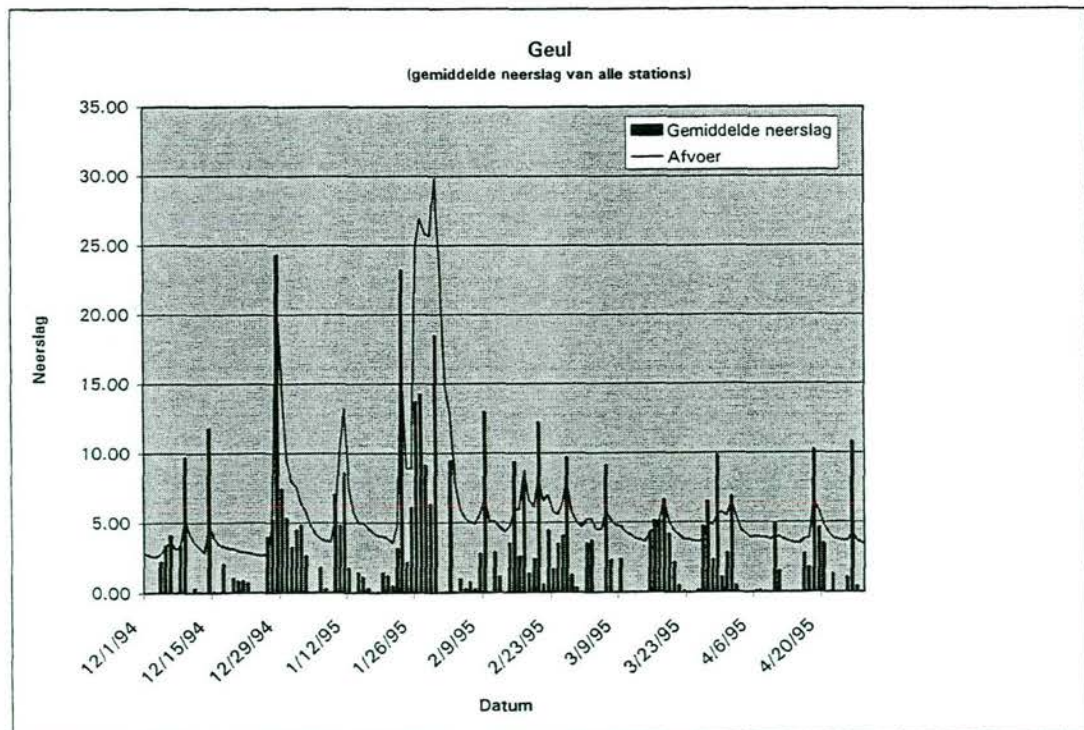
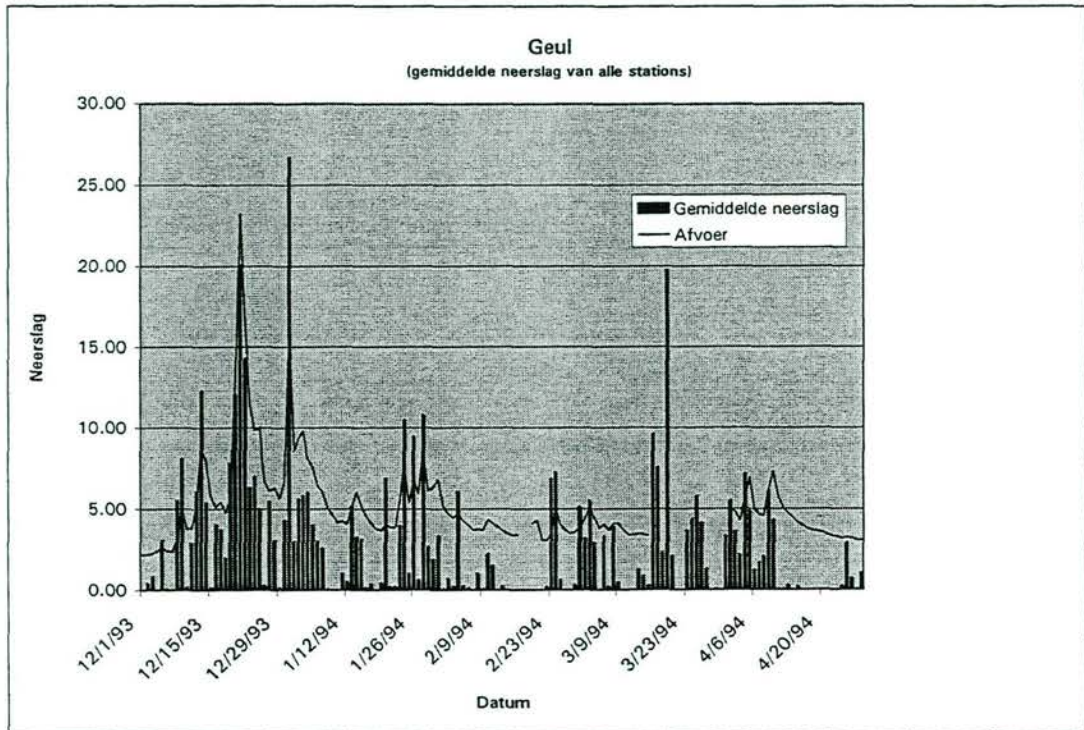
BIJLAGE V

Figuren neerslag en afvoer belangrijkste laterale toestromingen



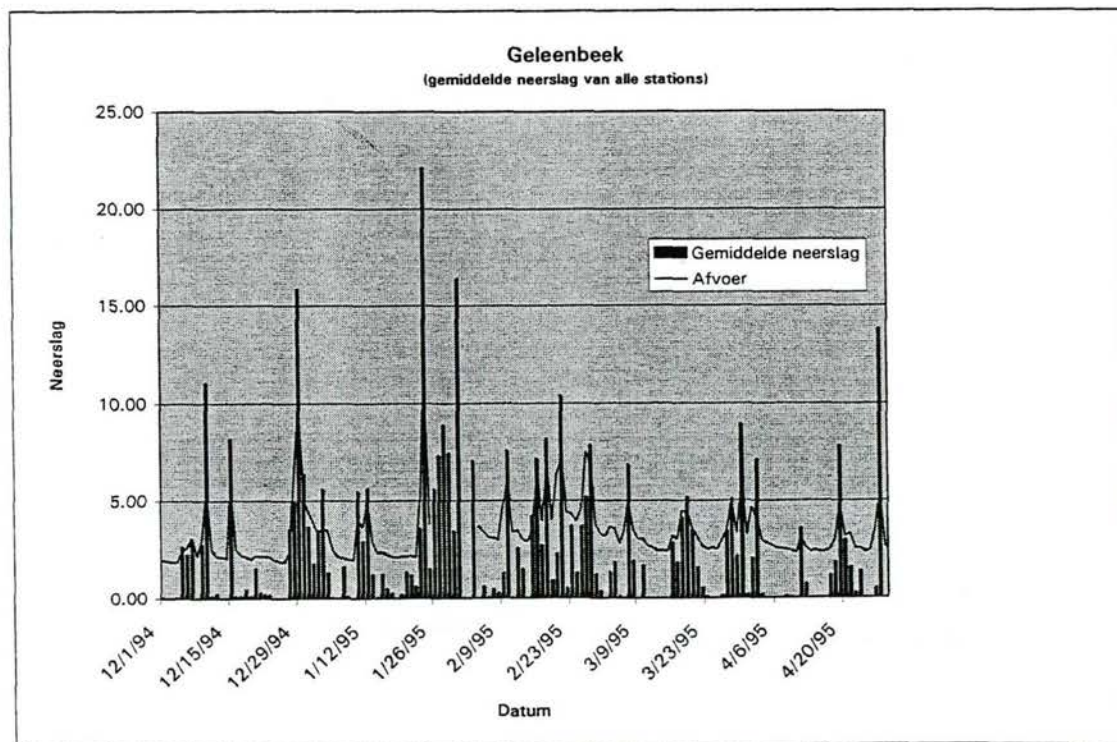
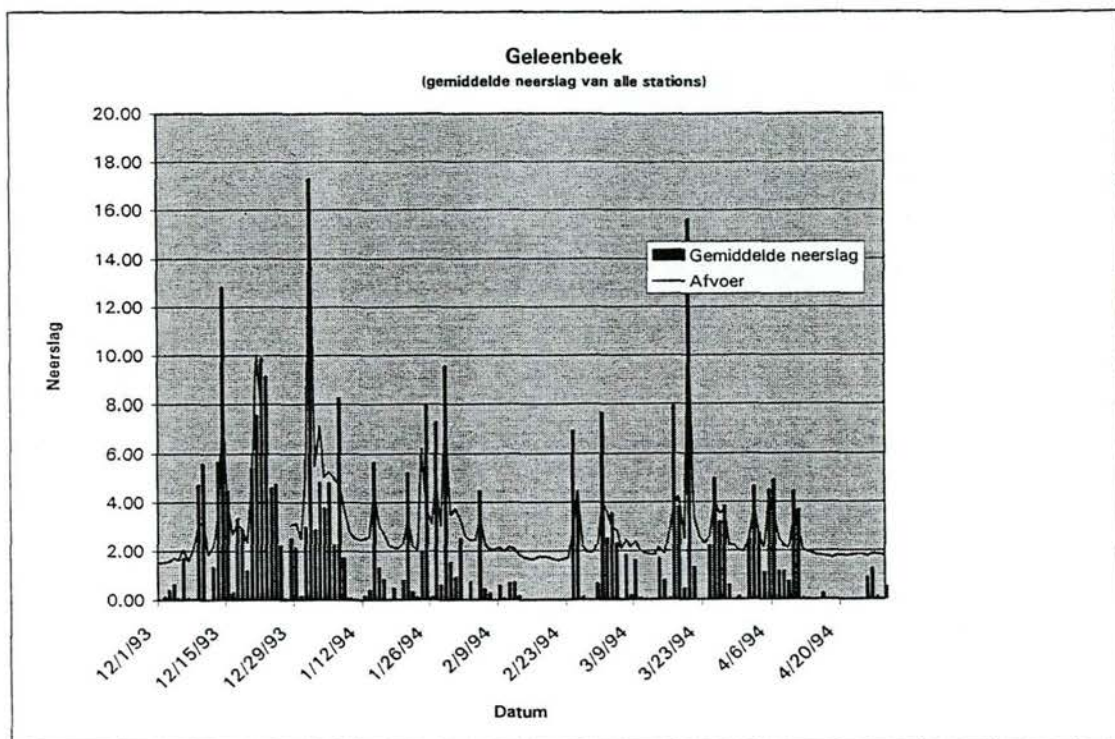
De Geul

De gemiddelde neerslag van de stations Ubachsberg, Valkenburg, Schaesberg, Schinnen, Vaals en Noorbeek uitgezet tegen de afvoer van de Geul.



De Geleenbeek

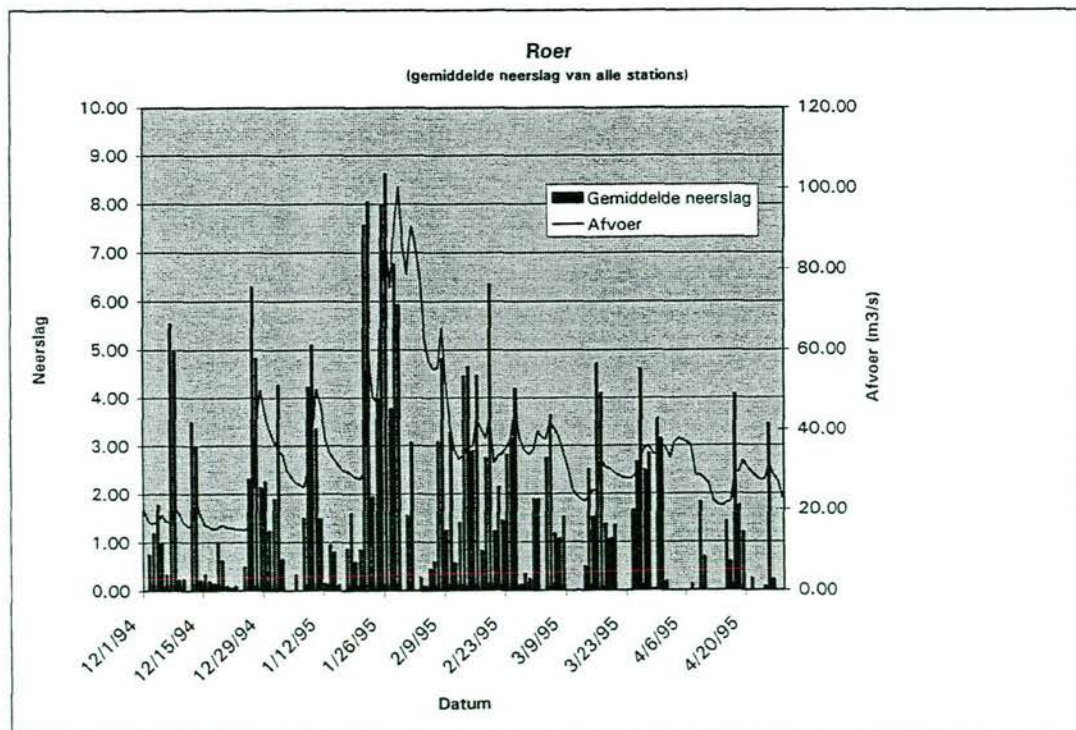
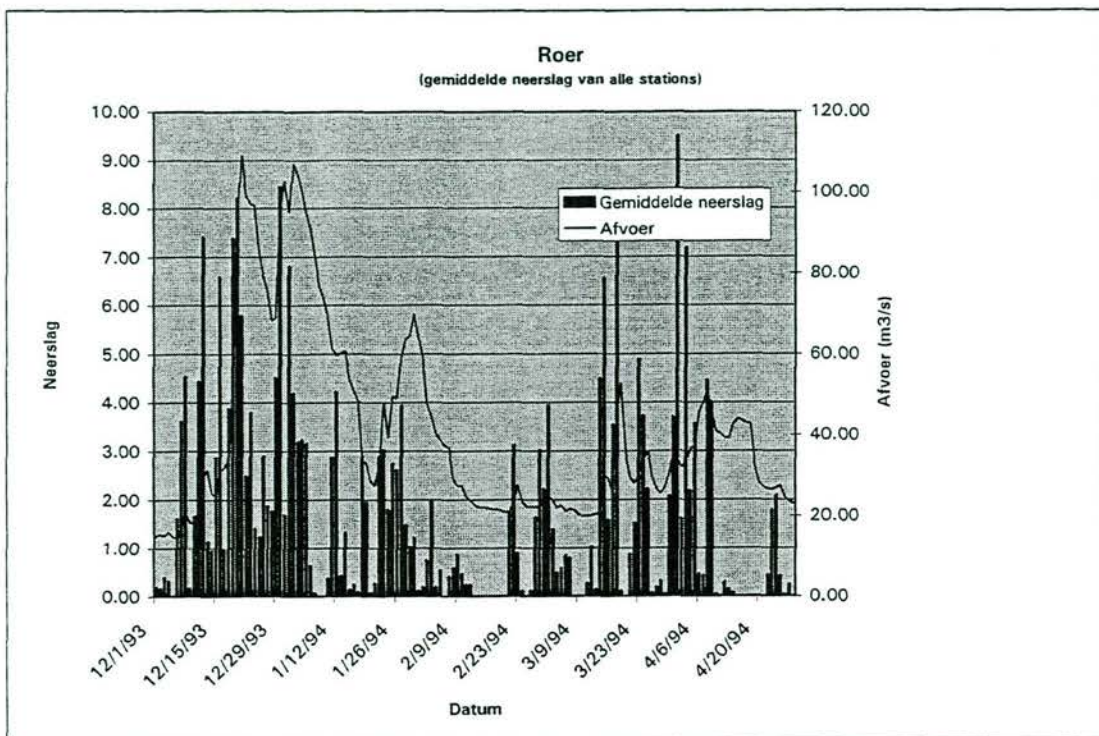
De gemiddelde neerslag van de stations Stein, Beek, Buchten, Echt en Schinveld uitgezet tegen de afvoer van de Geleenbeek.





De Roer

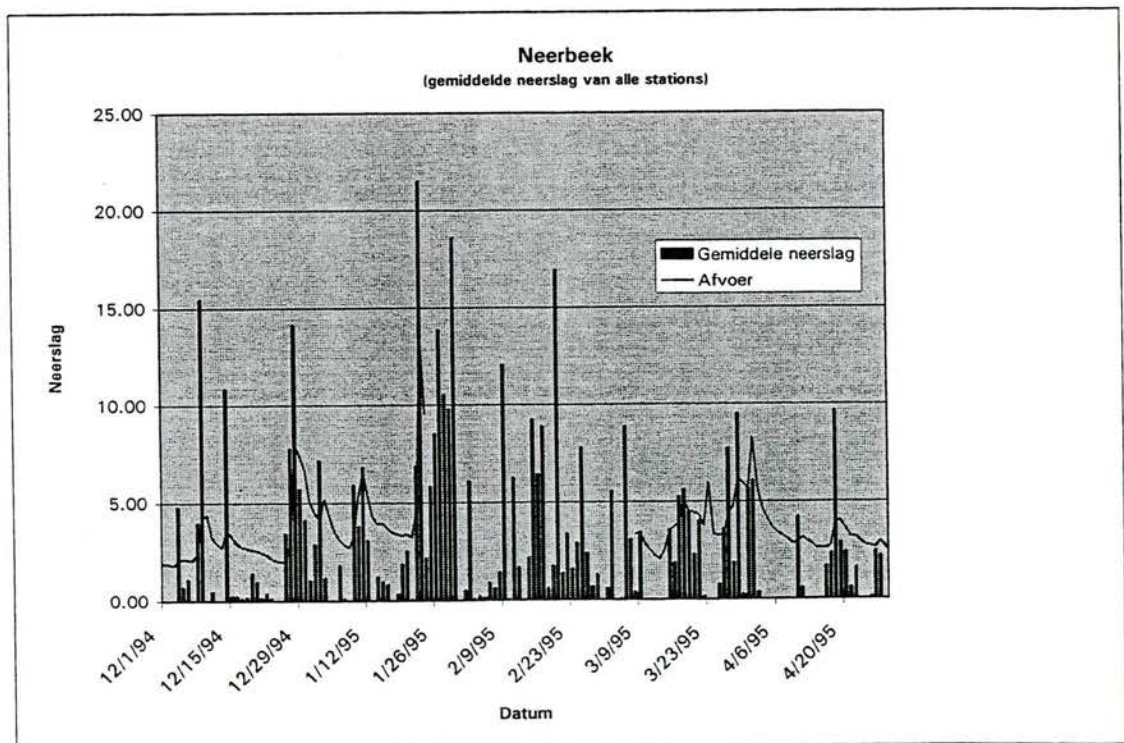
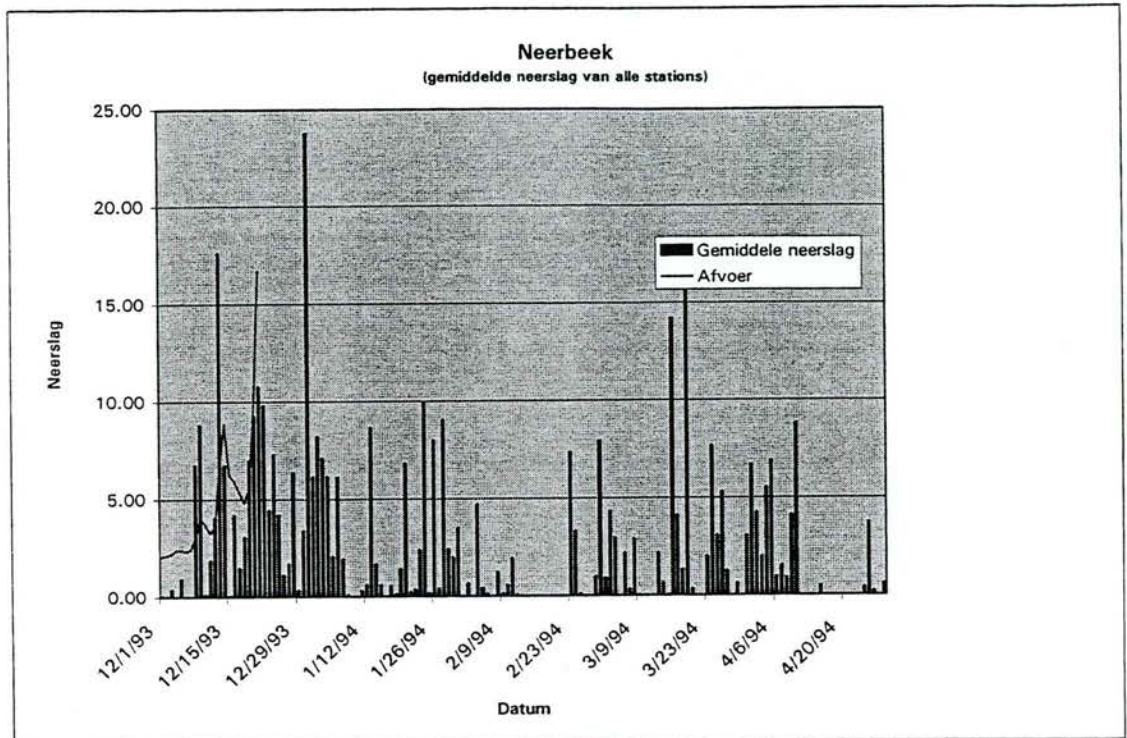
De gemiddelde neerslag van de stations Aachen, Düsseldorf, Schinveld en Roermond uitgezet tegen de afvoer van de Roer.





De Neerbeek

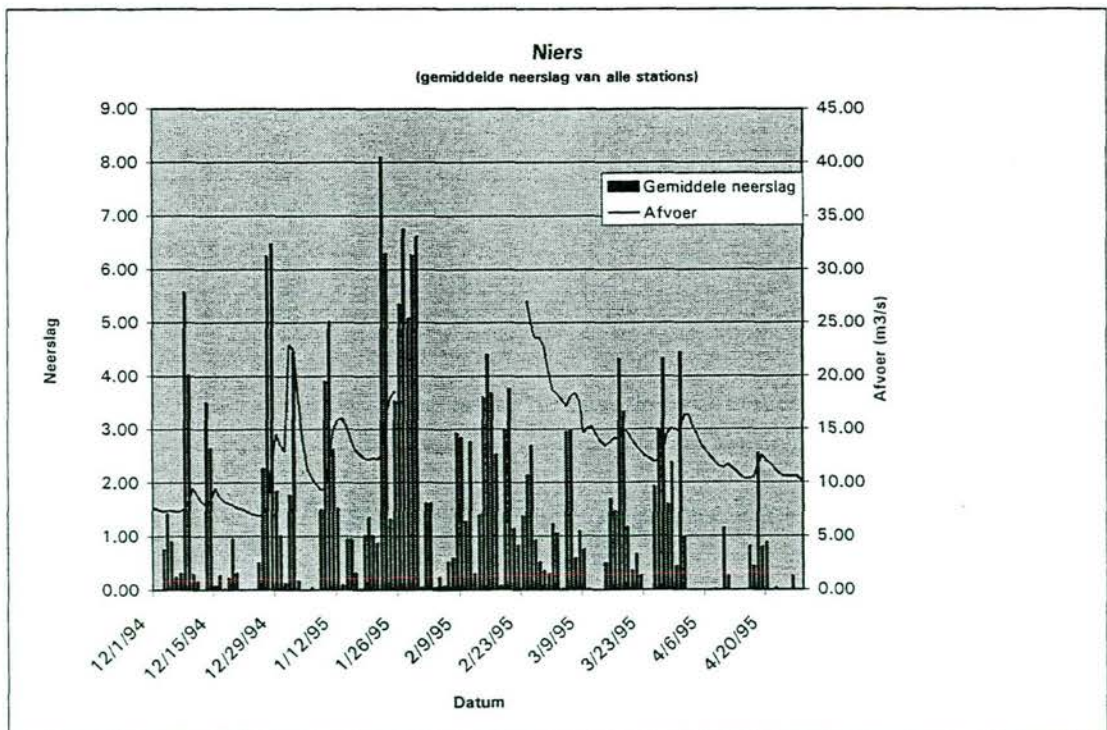
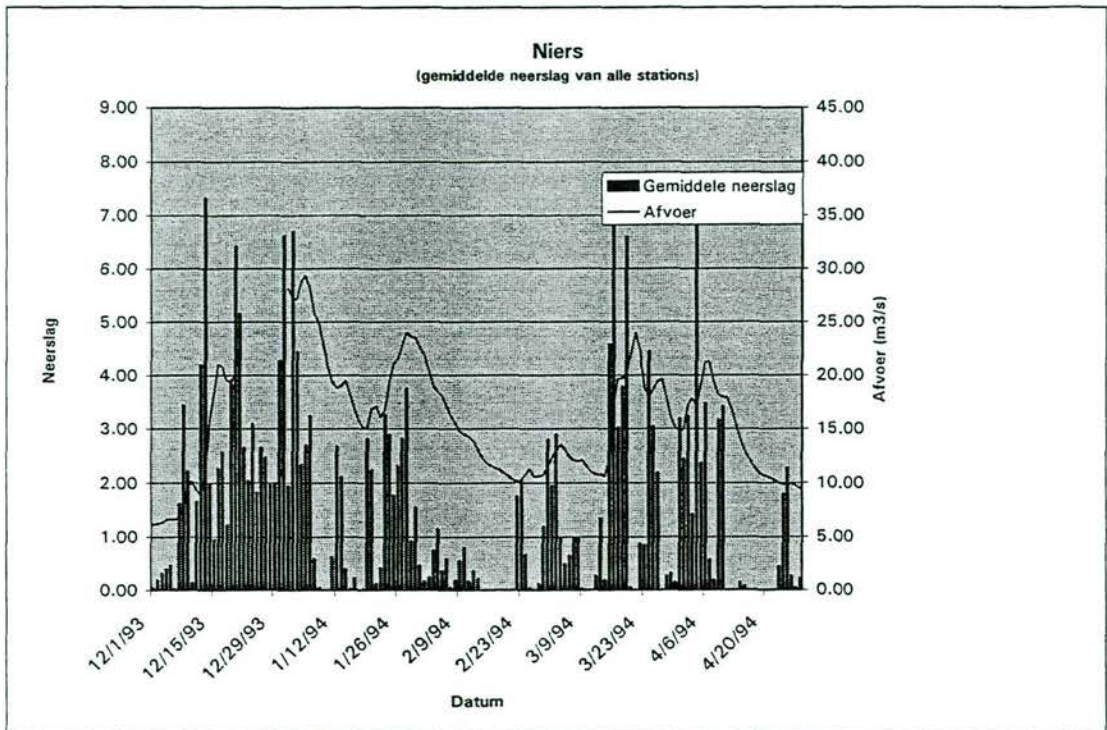
De gemiddelde neerslag van de stations Heibloem, Roermond en Weert uitgezet tegen de afvoer van de Neerbeek.





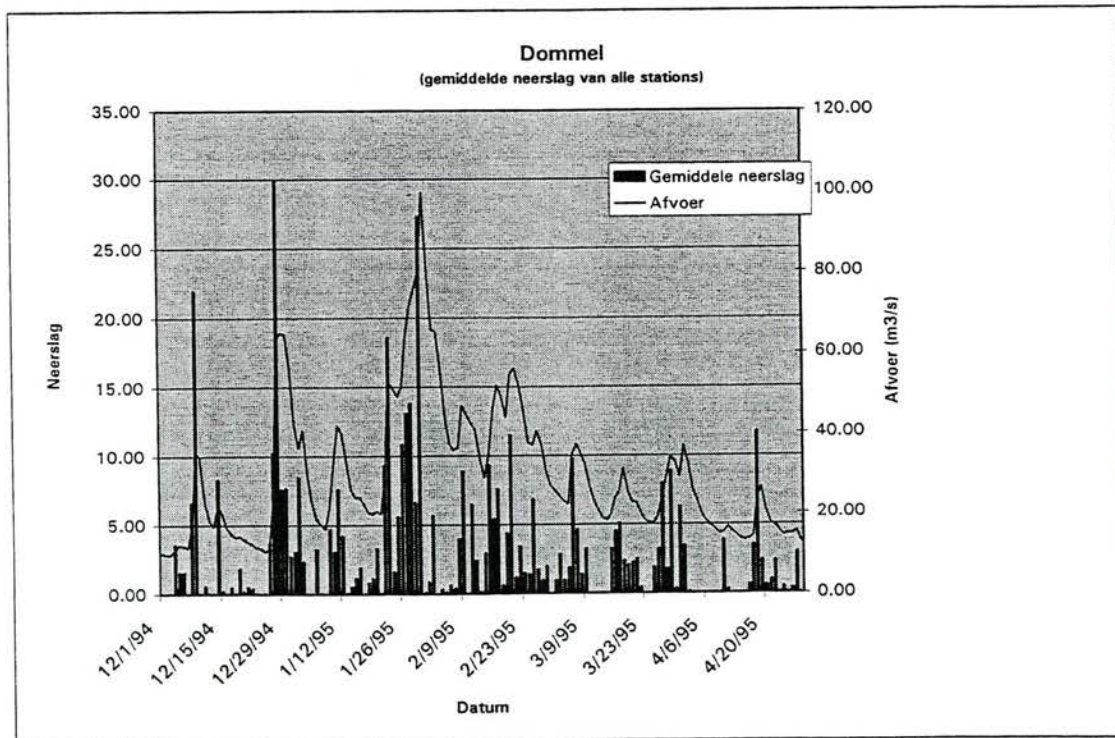
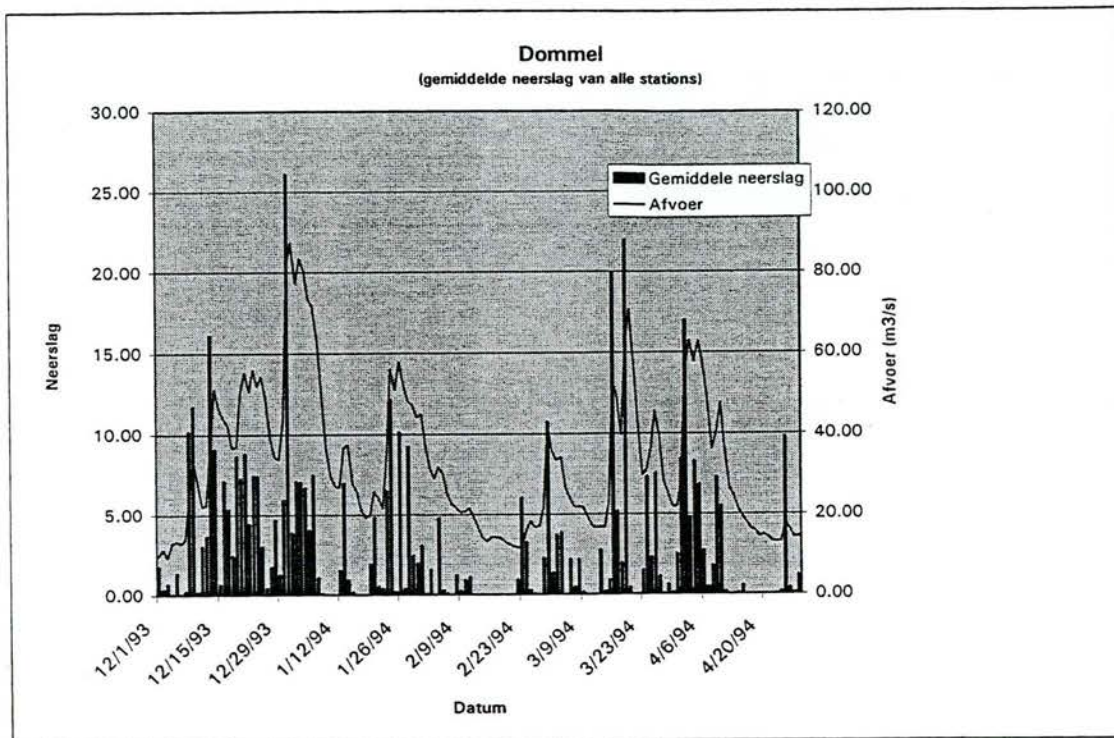
De Niers

De gemiddelde neerslag van de stations Düsseldorf, Siebengewald, Arcen en Venlo uitgezet tegen de afvoer van de Niers.



De Dommel

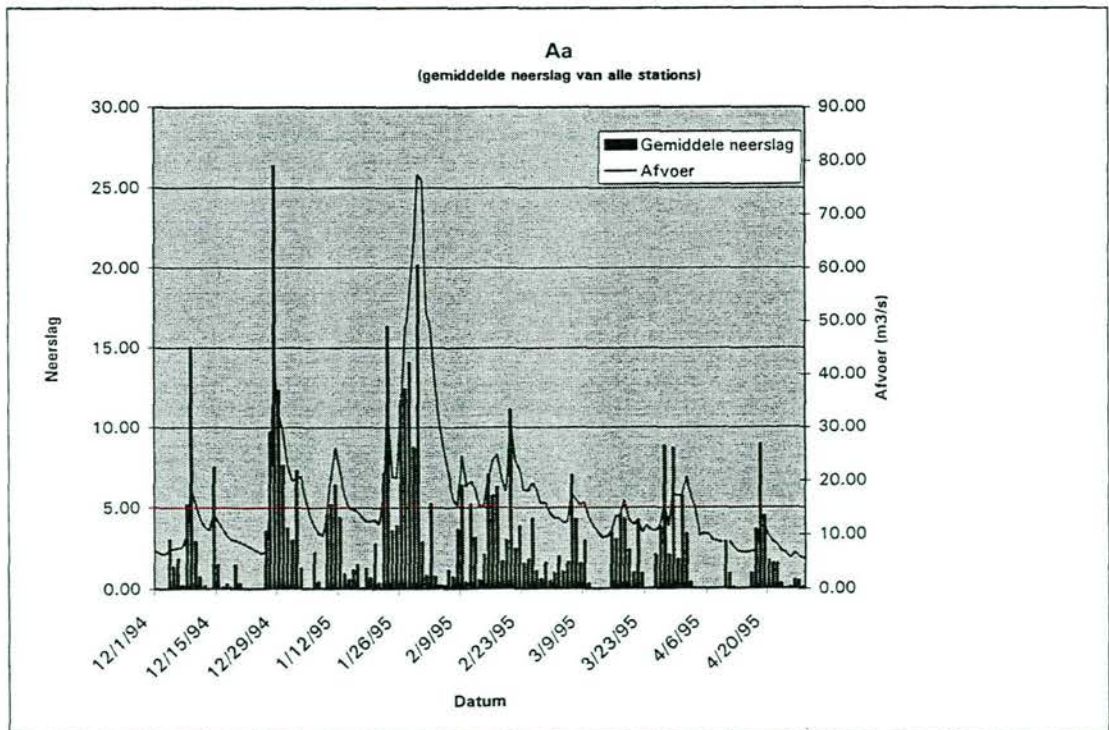
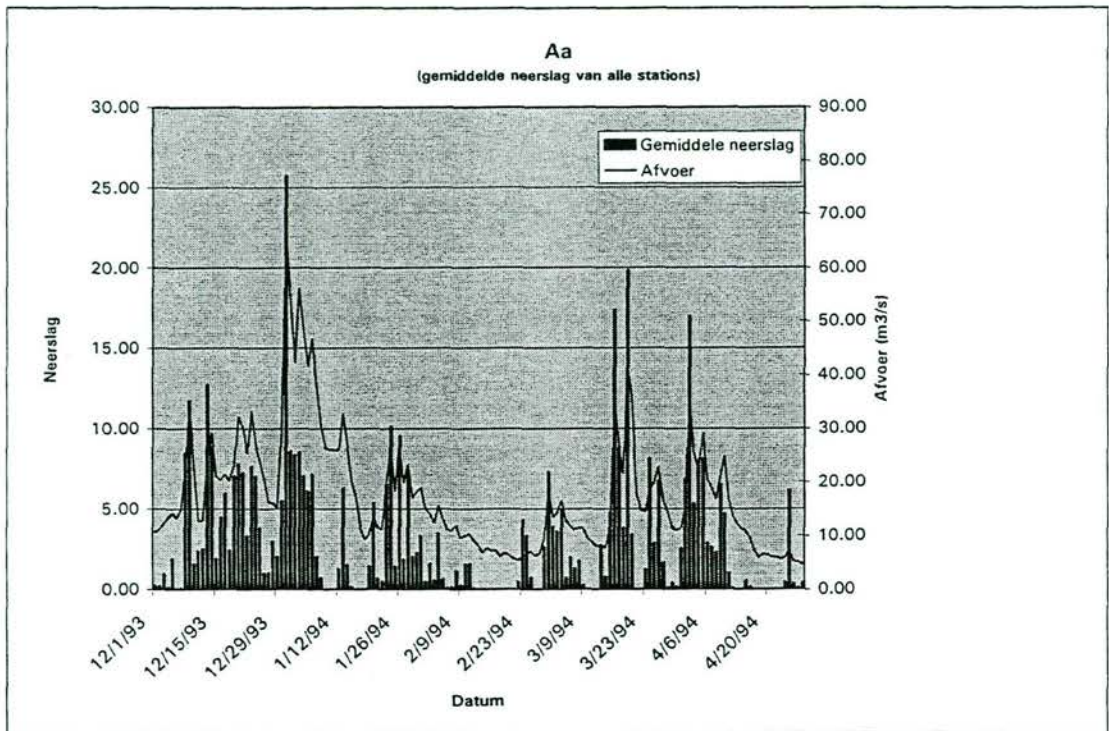
De gemiddelde neerslag van de stations Tilburg, Esbeek, Eindhoven, Oirschot, Boxtel, Leende, Eersel en Maarheeze uitgezet tegen de afvoer van de Dommel.





De Aa

De gemiddelde neerslag van de stations Nuland, Volkel, Helmond, Someren, Dinther, Gemert en Deurne uitgezet tegen de afvoer van de Aa.



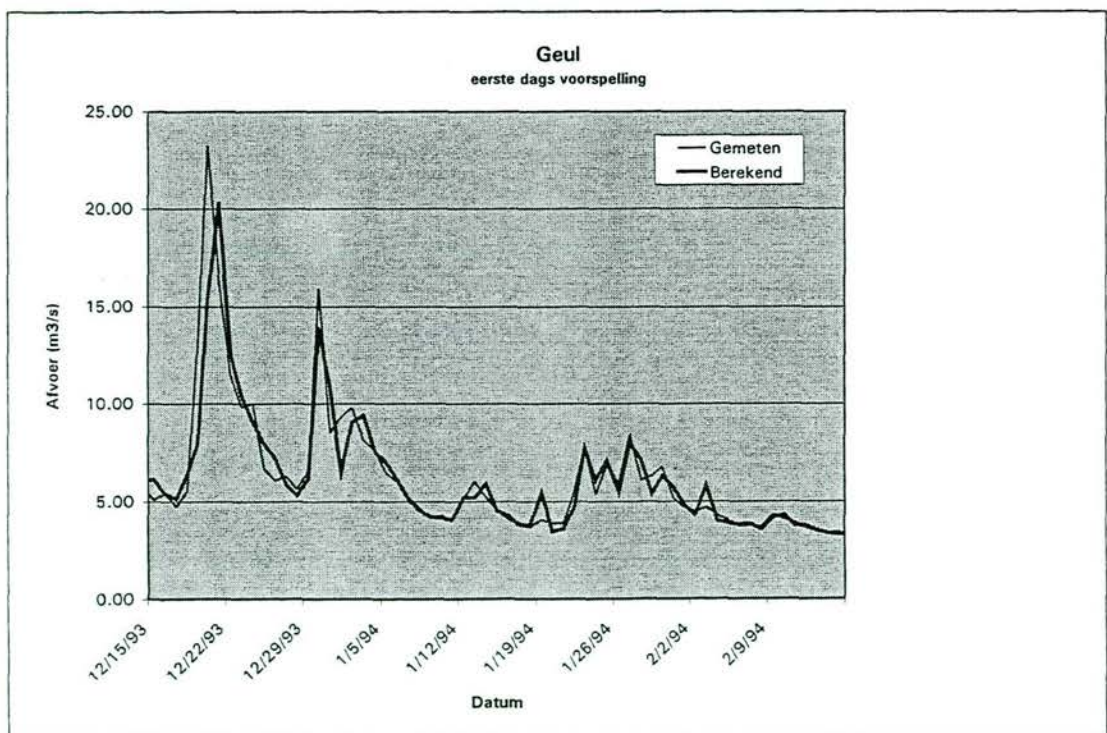
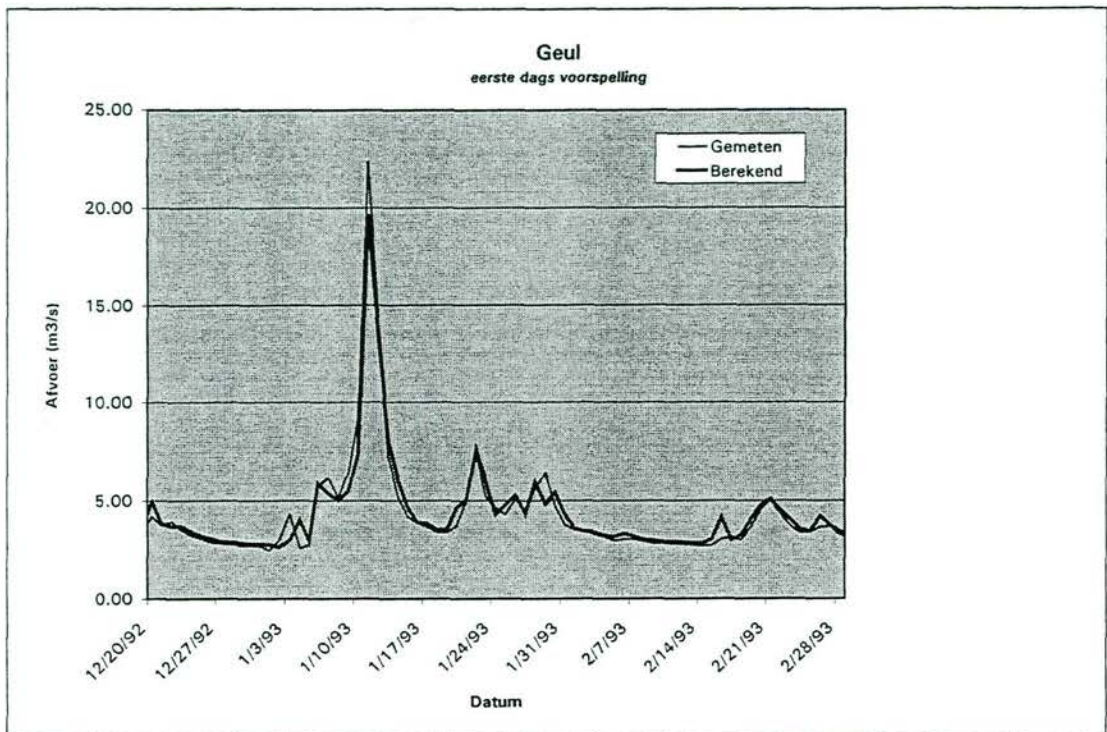


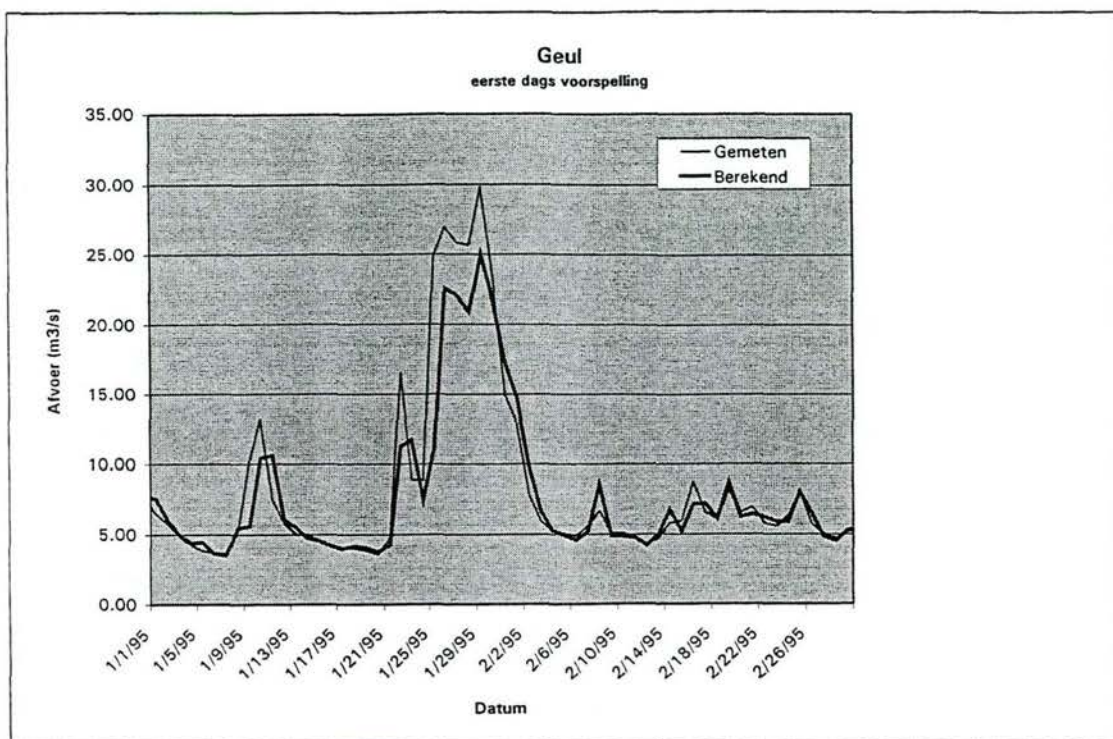
BIJLAGE VI

Afvoeren berekend en gemeten Geul

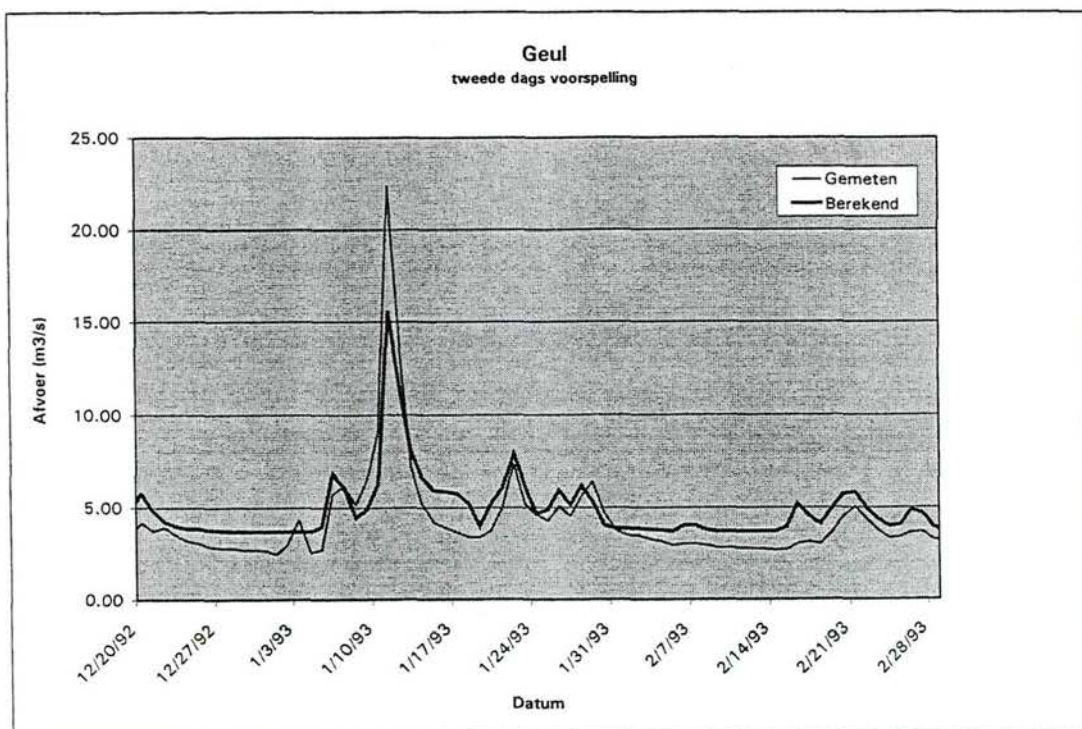


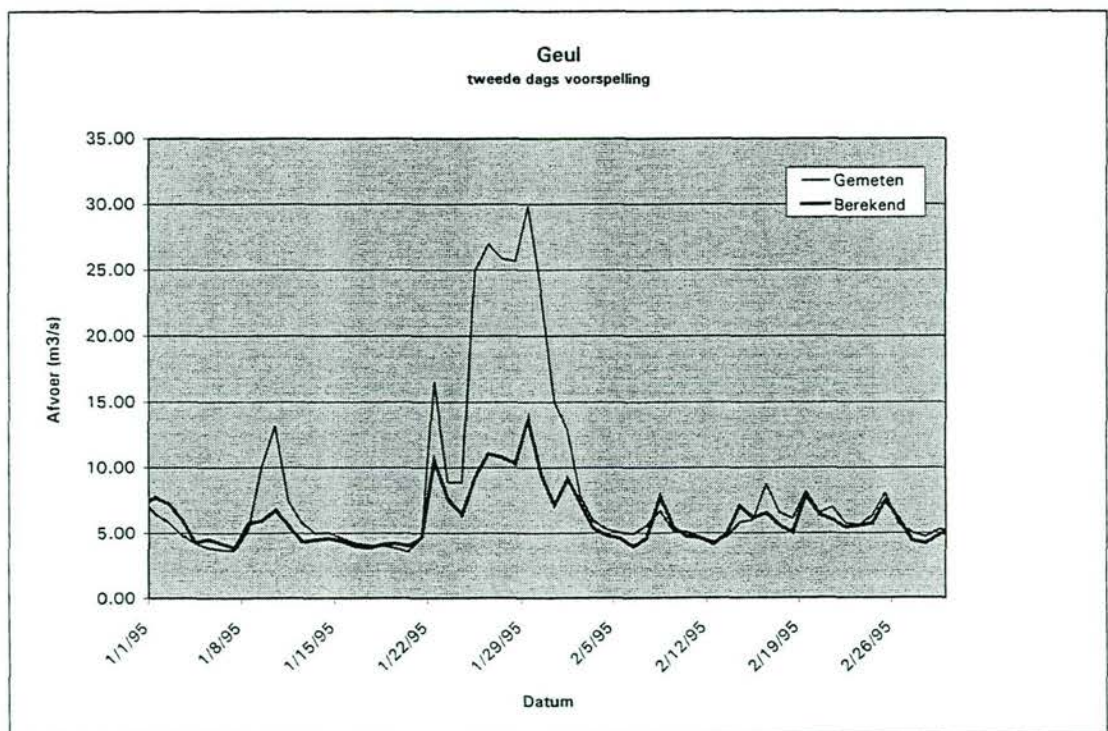
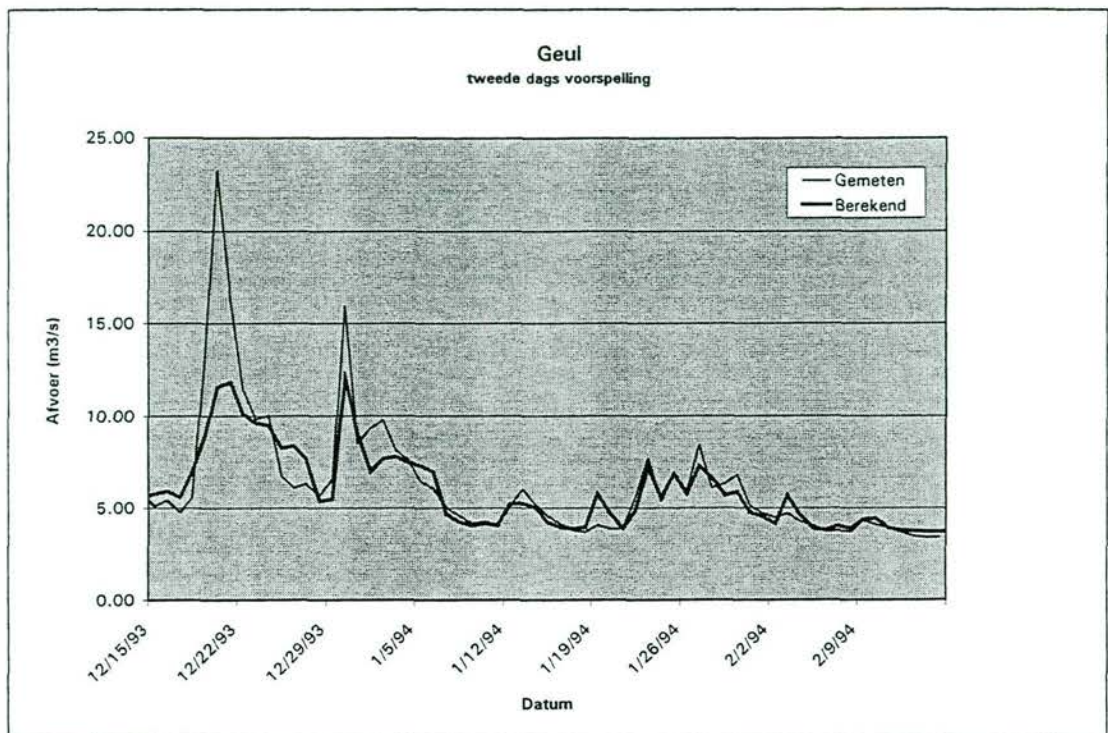
Afvoeren berekend en gemeten Geul
(Eerste dags voorspelling)





(Tweede, derde en vierde dags voorspelling)





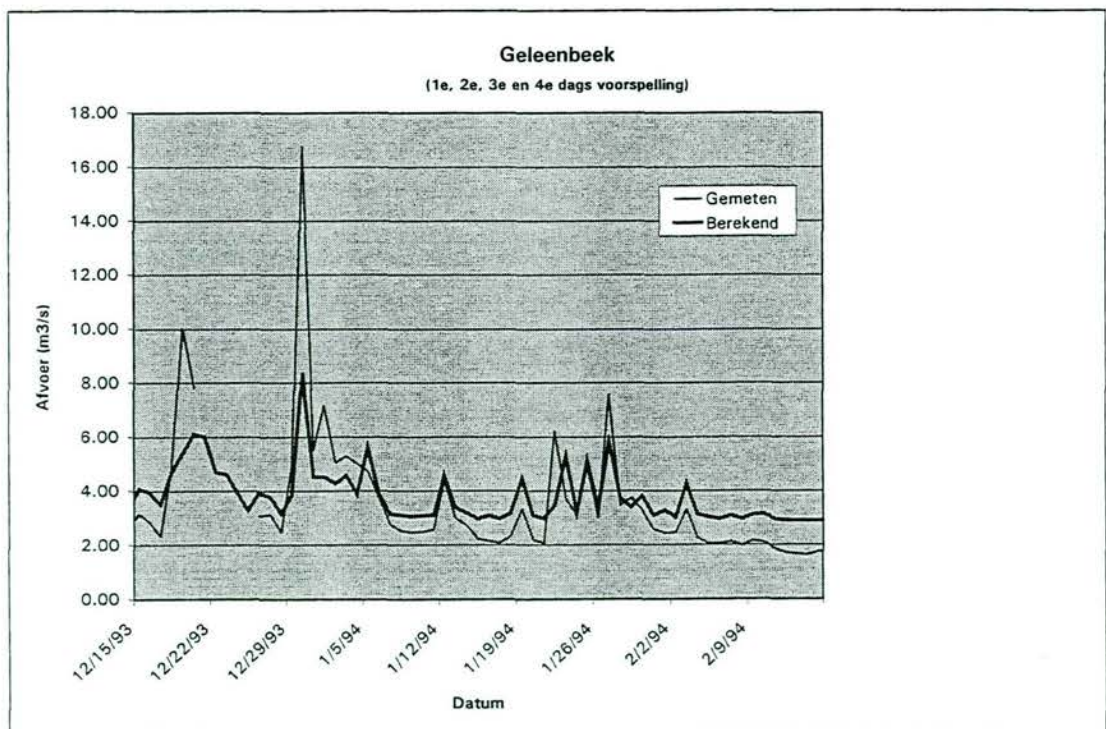
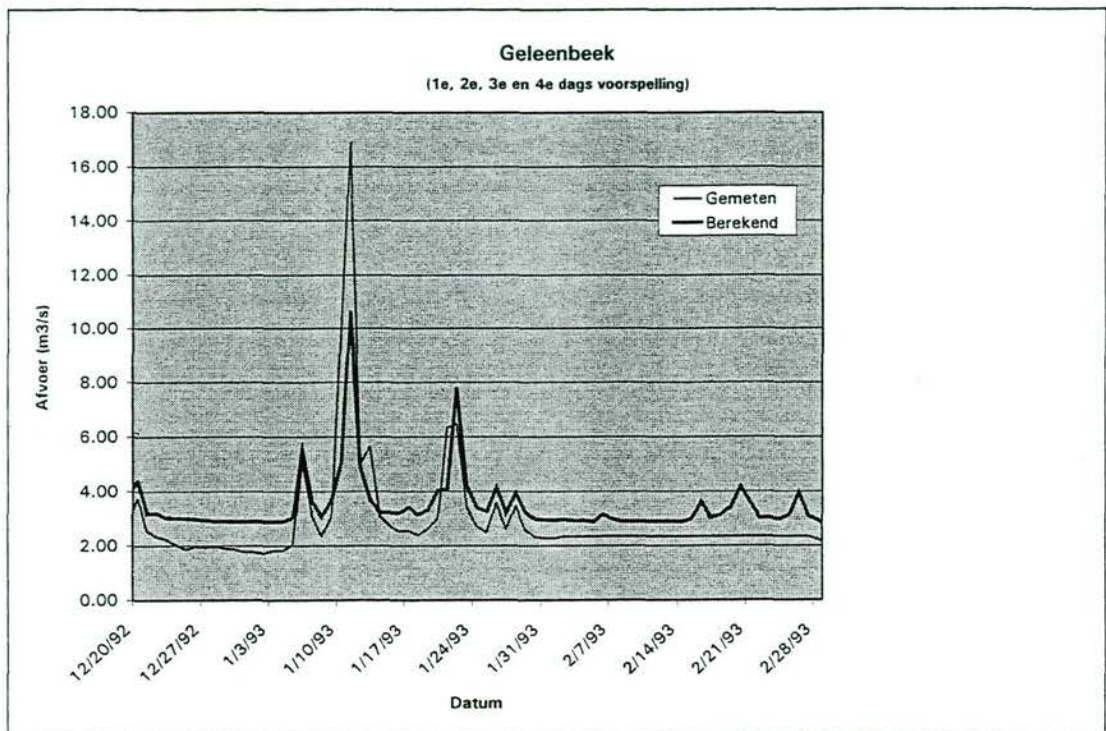


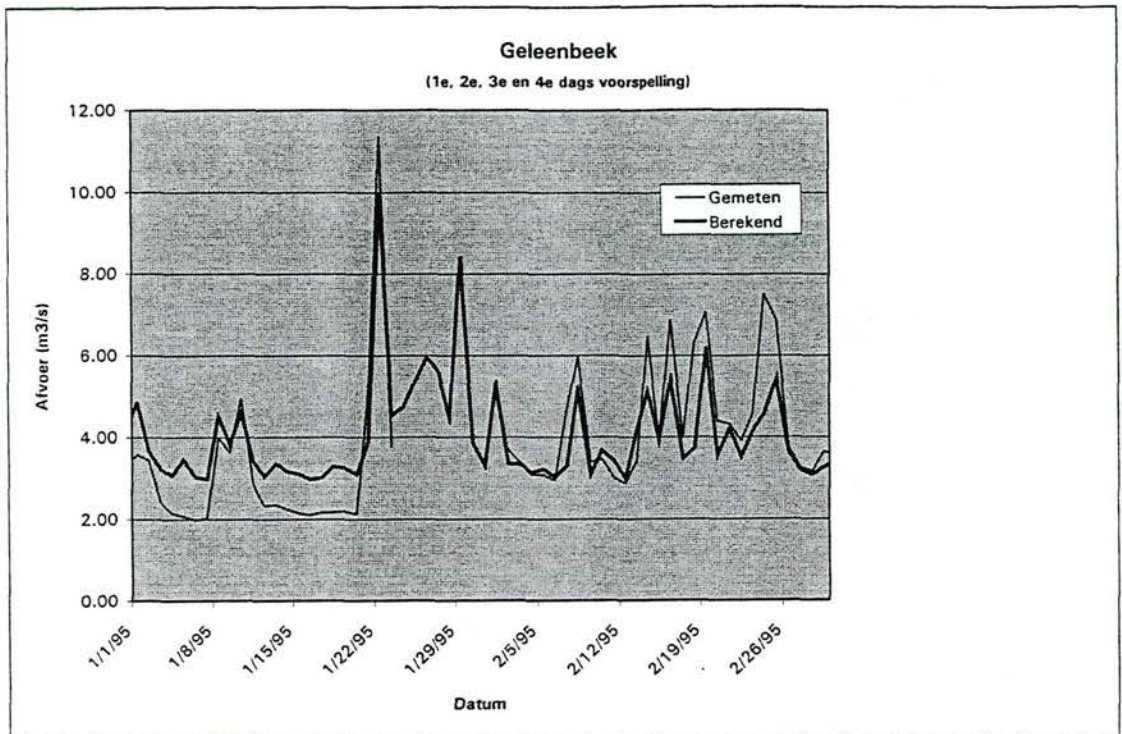
BIJLAGE VII

Afvoeren berekend en gemeten Geleenbeek



Afvoeren berekend en gemeten Geleenbeek
(Eerste, tweede, derde en vierde dags voorspelling)





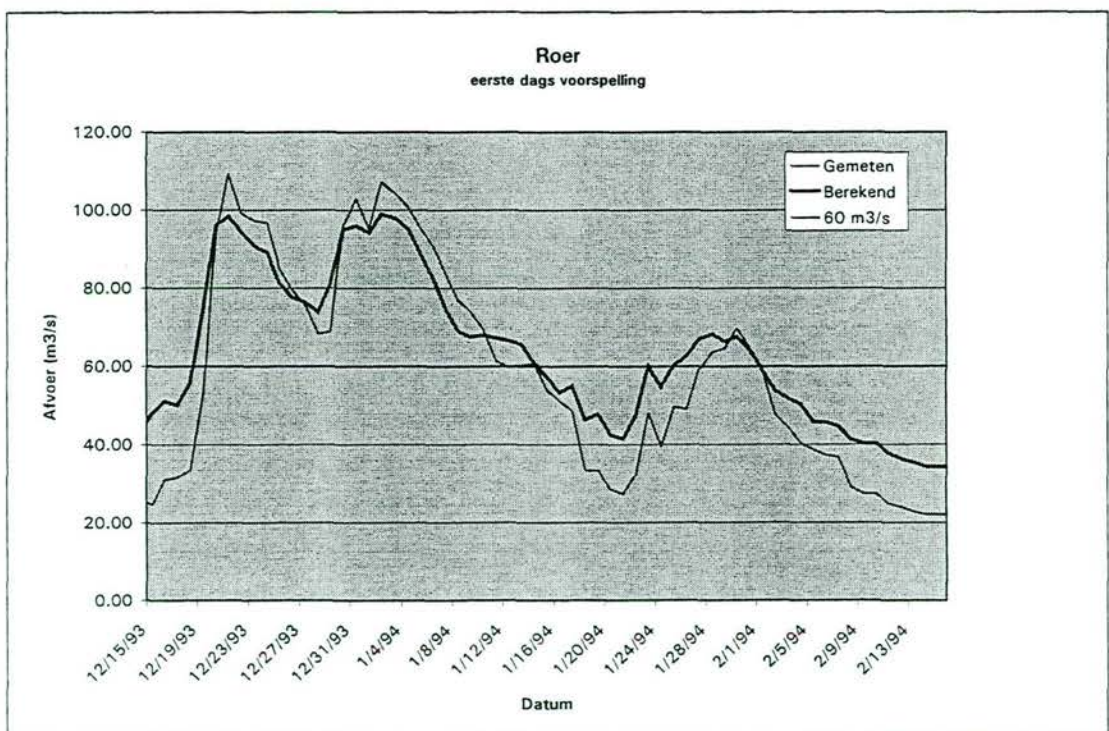
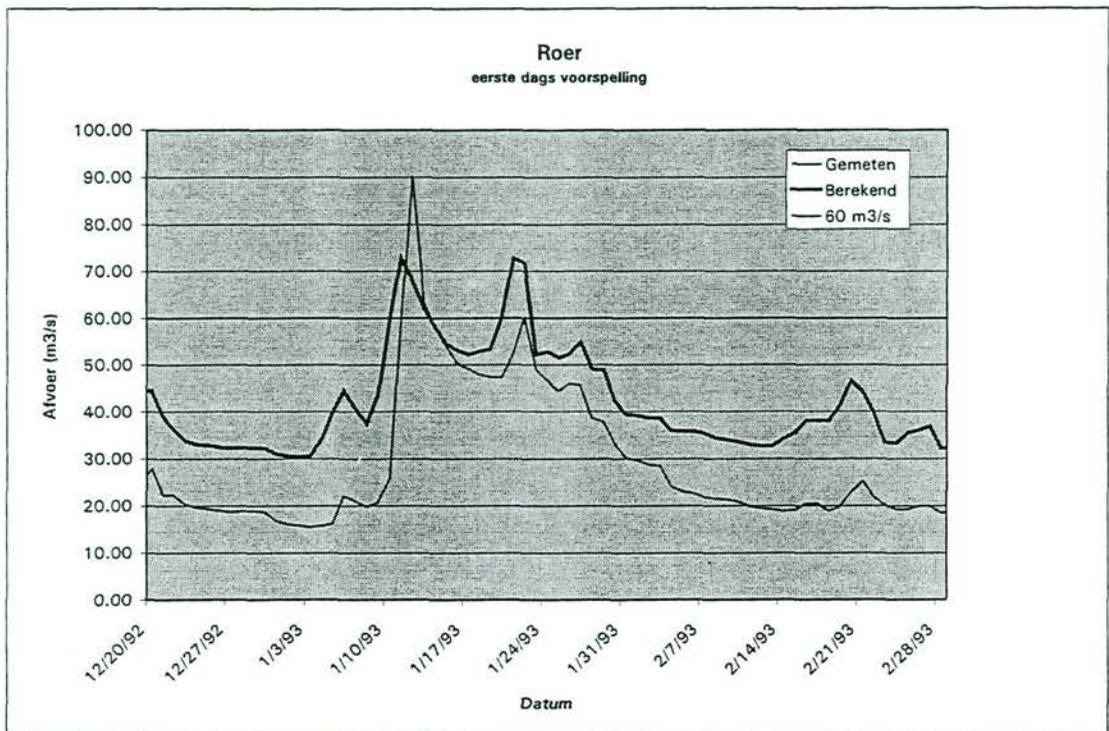


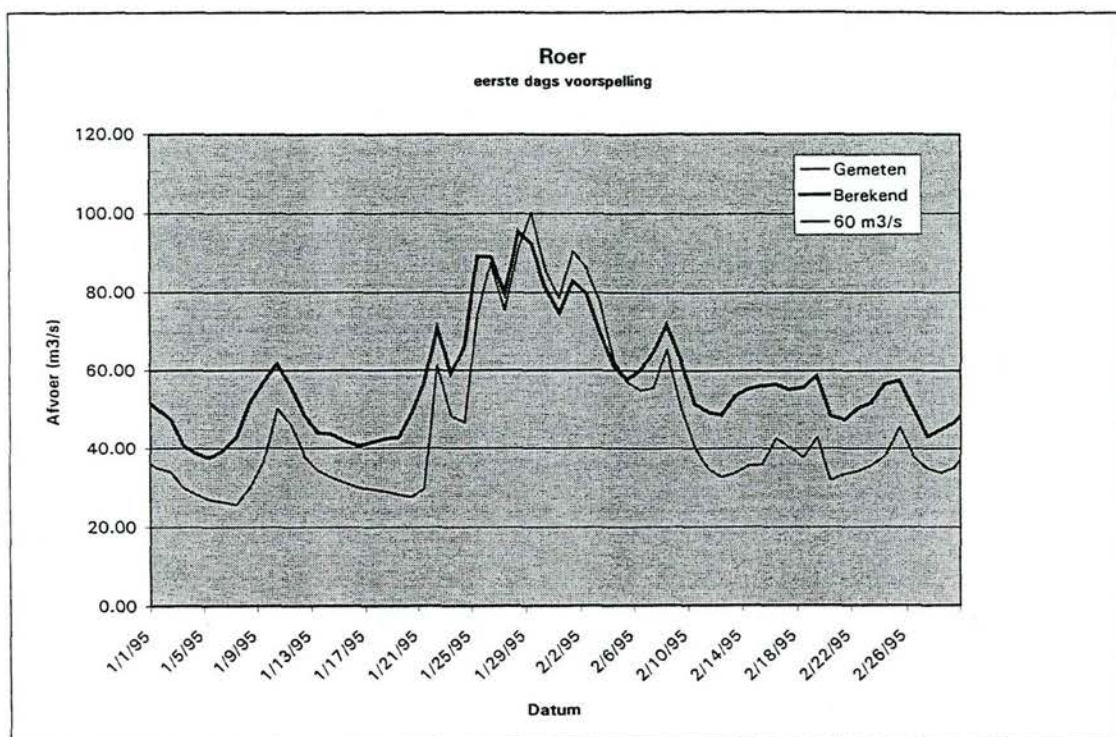
BIJLAGE VII

Afvoeren berekend en gemeten Roer

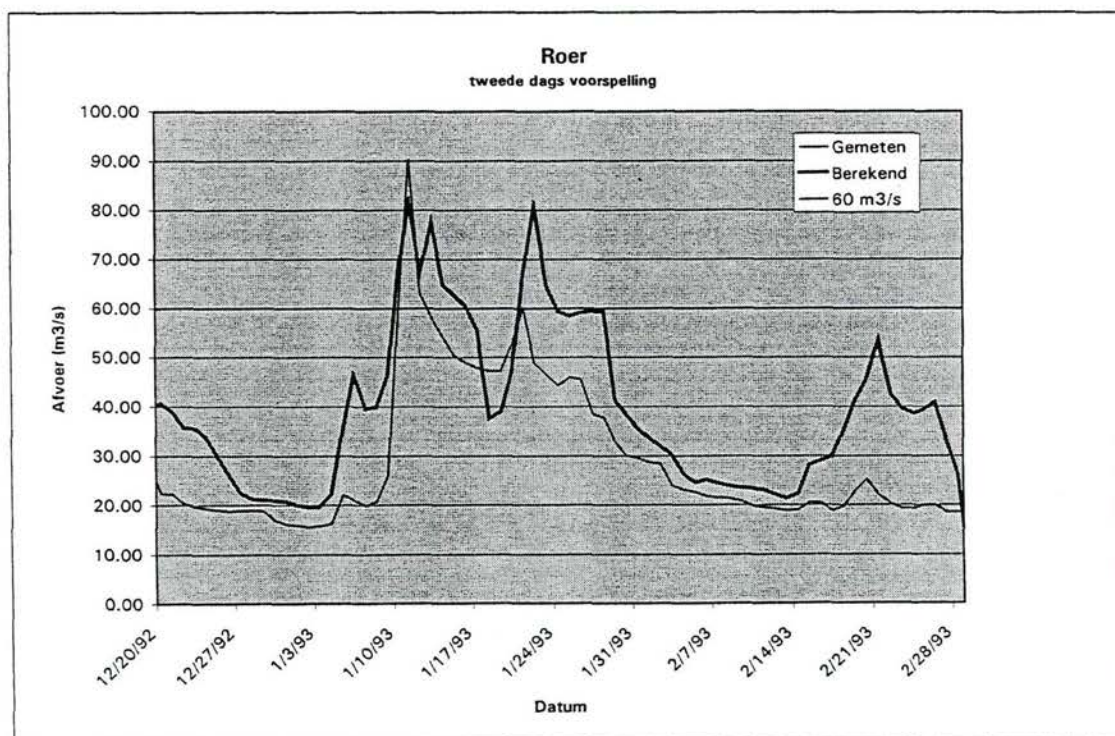


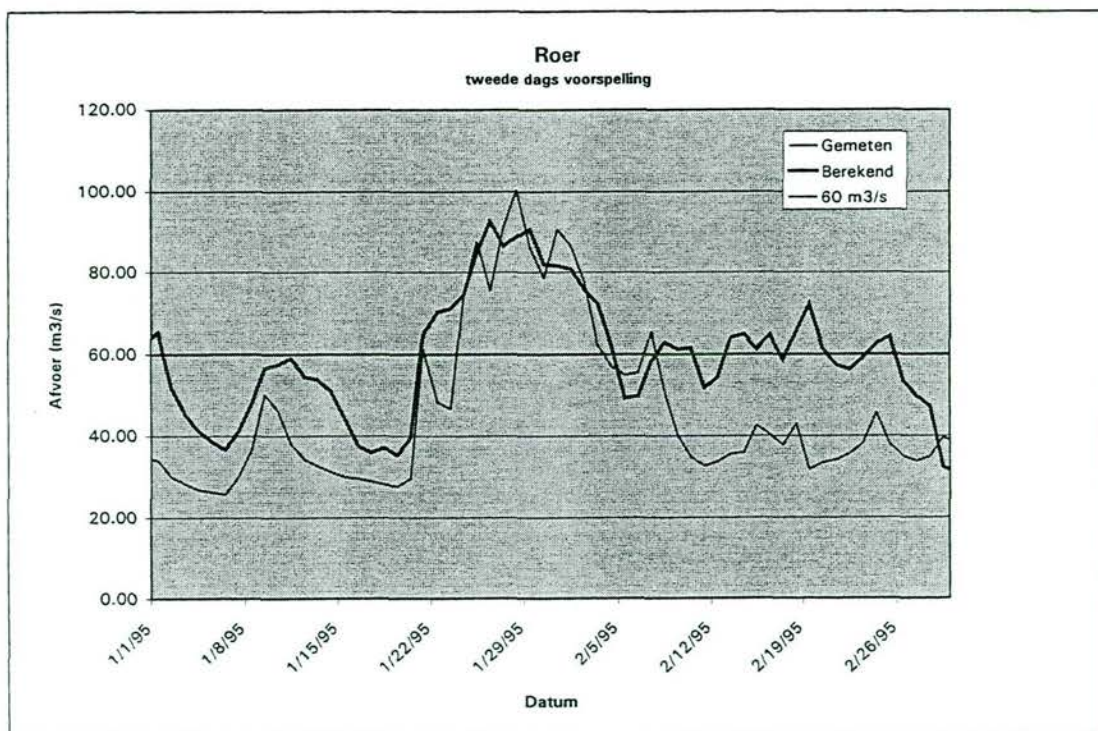
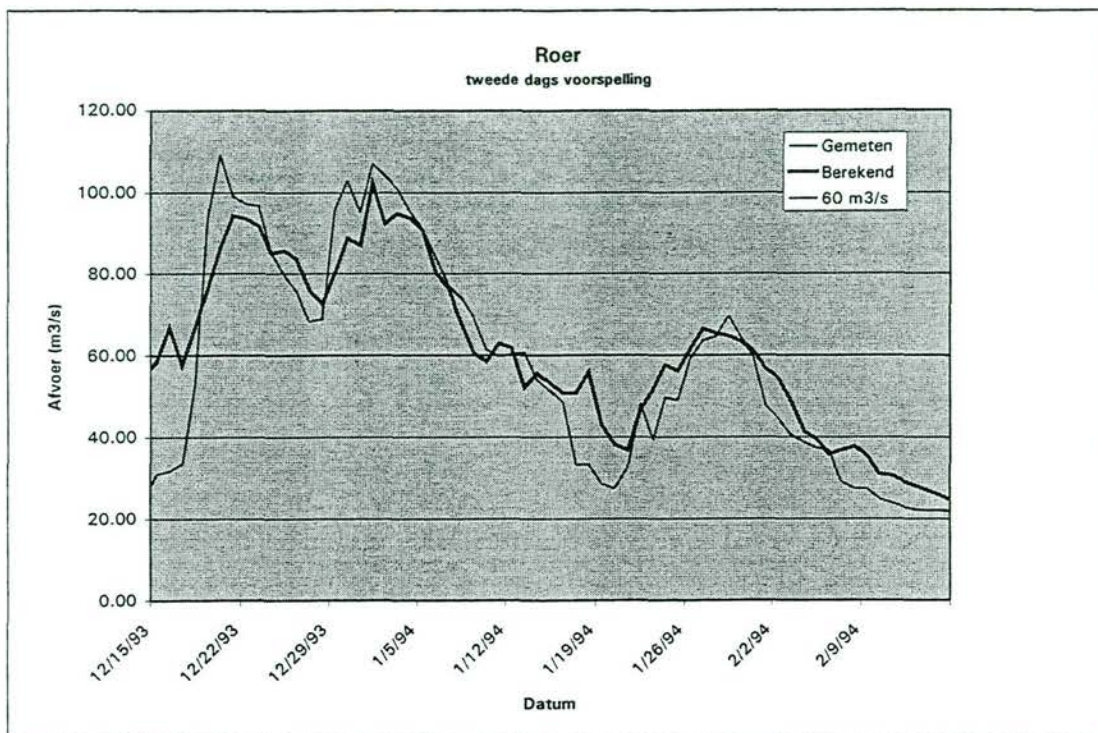
Afvoeren berekend en gemeten Roer
(Eerste dags voorspelling)



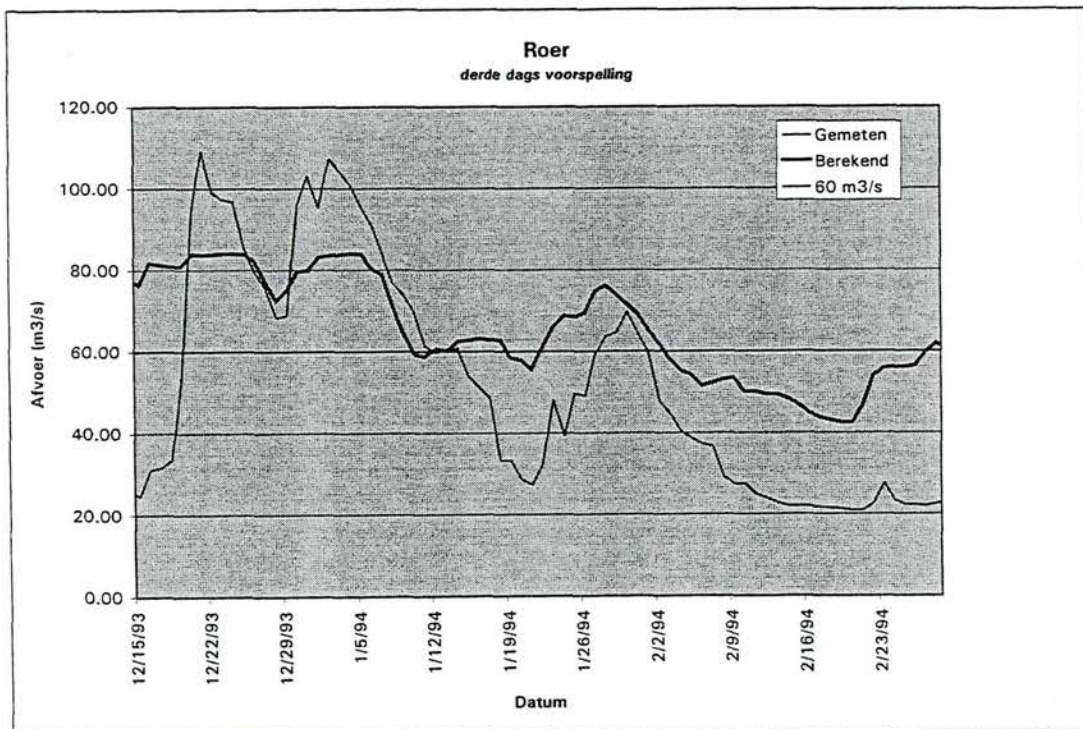
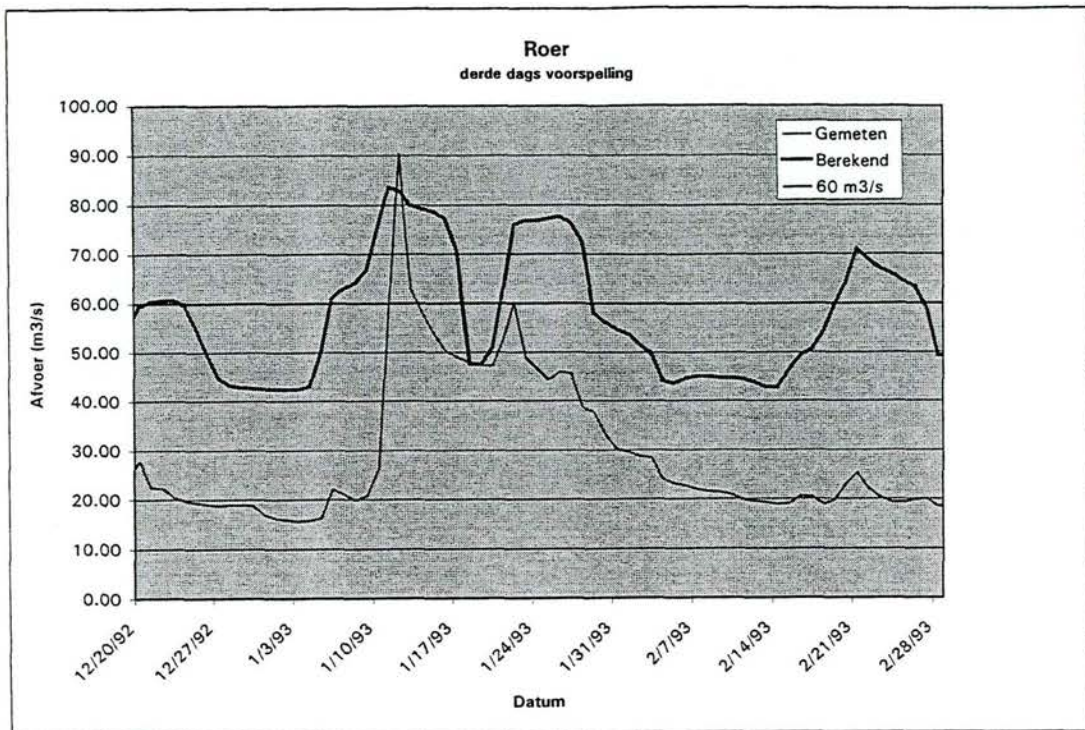


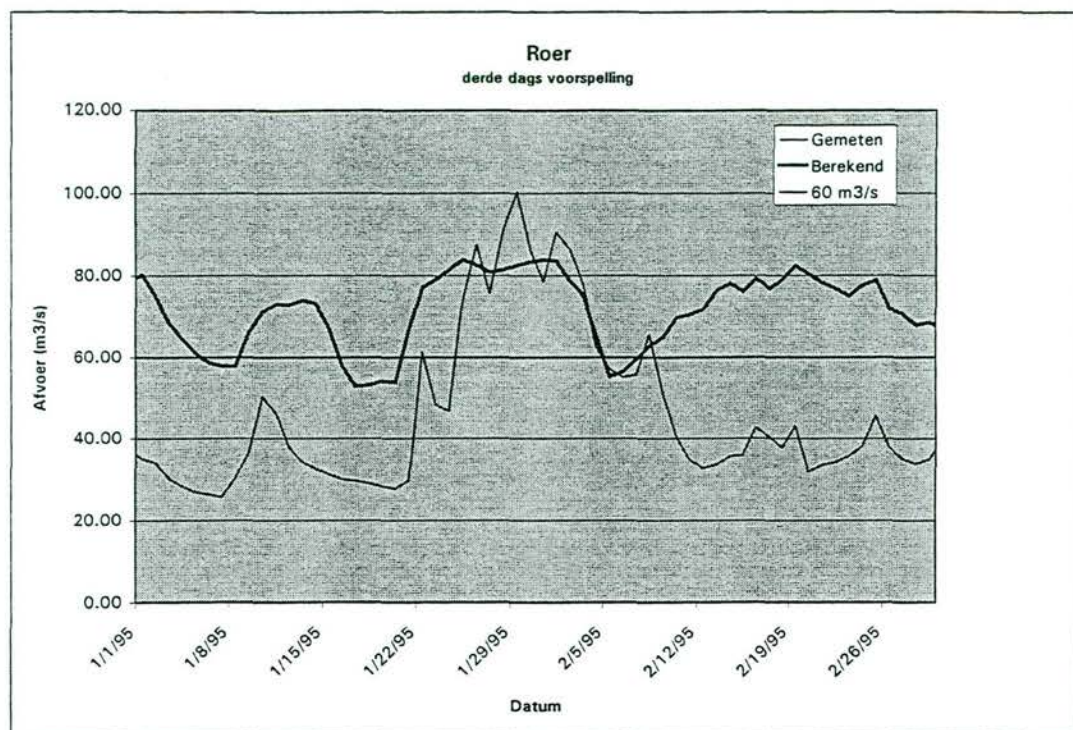
(Tweede dags voorspelling)





(Derde en vierde dags voorspelling)





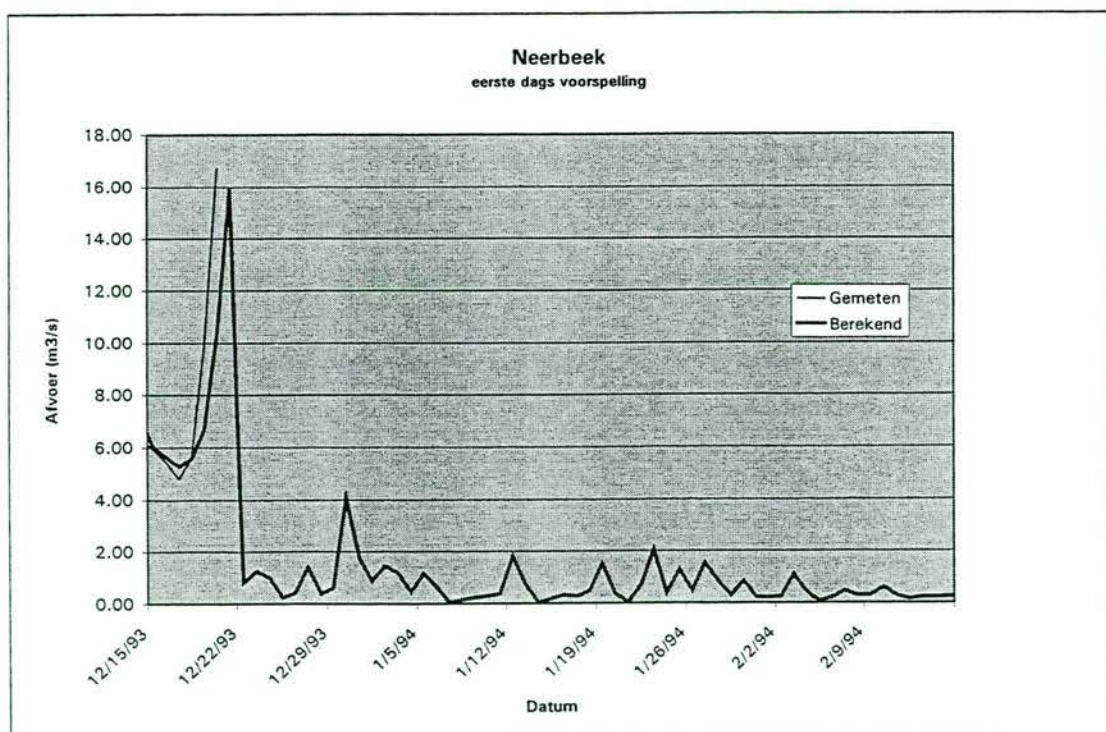
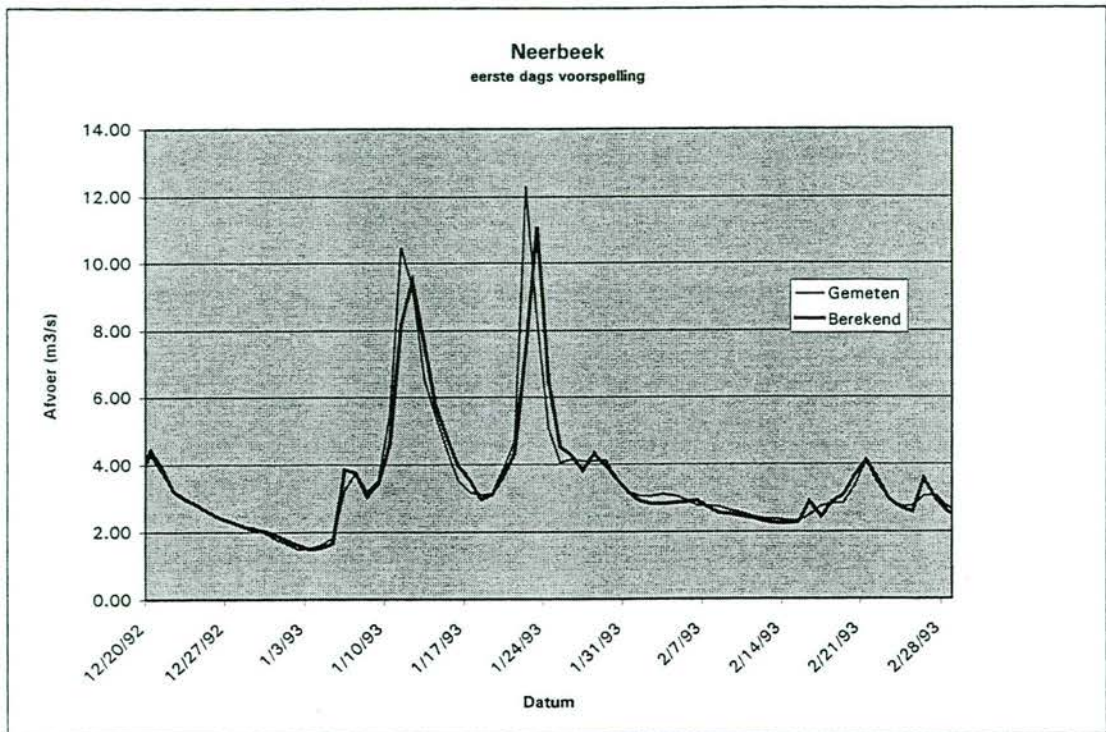


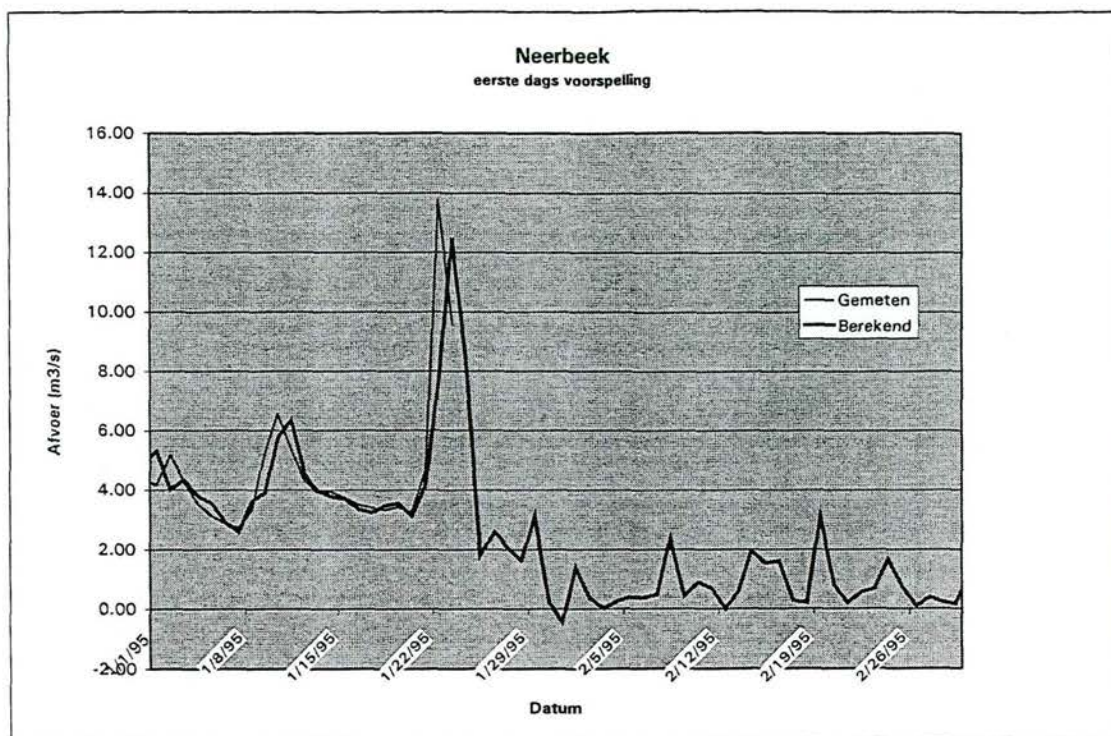
BIJLAGE IX

Afvoeren berekend en gemeten Neerbeek

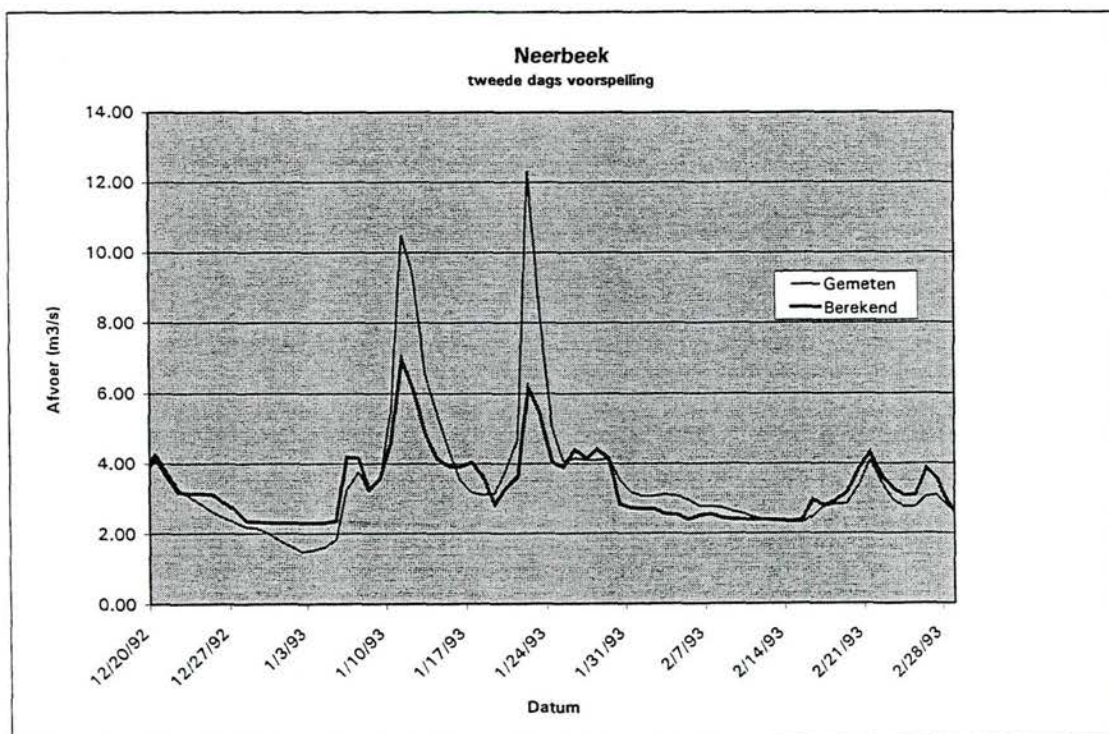


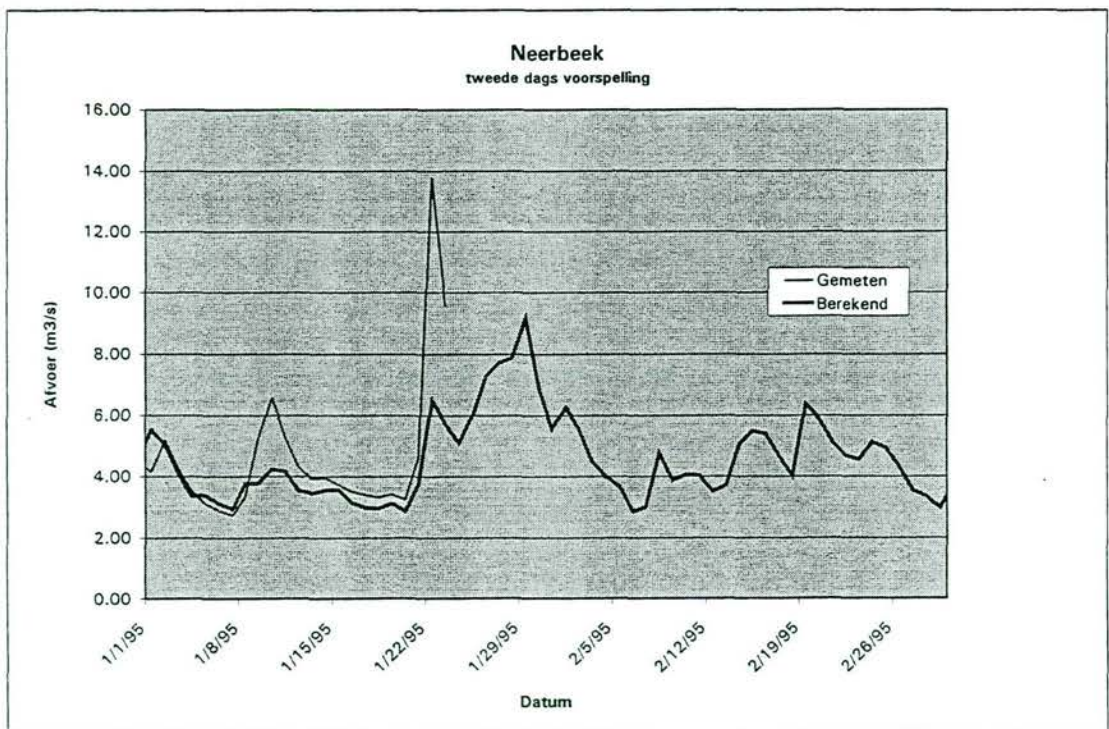
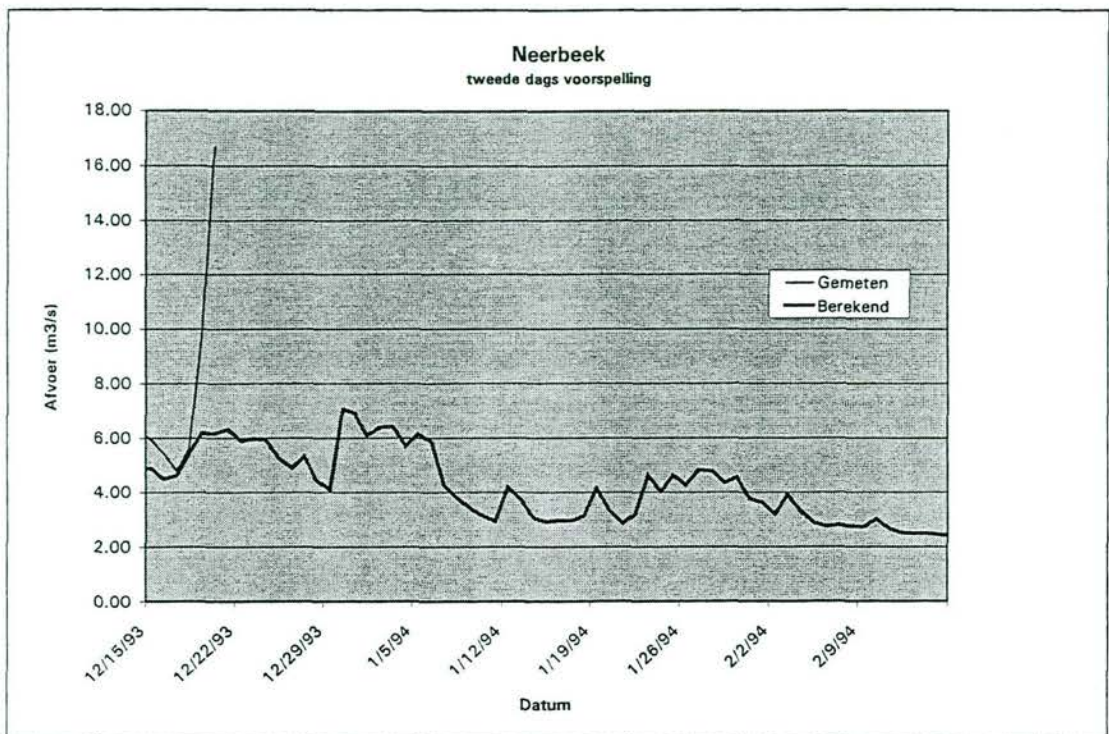
**Afvoeren berekend en gemeten Neerbeek
(Eerste dags voorspelling)**





(Tweede, derde en vierde dags voorspelling)





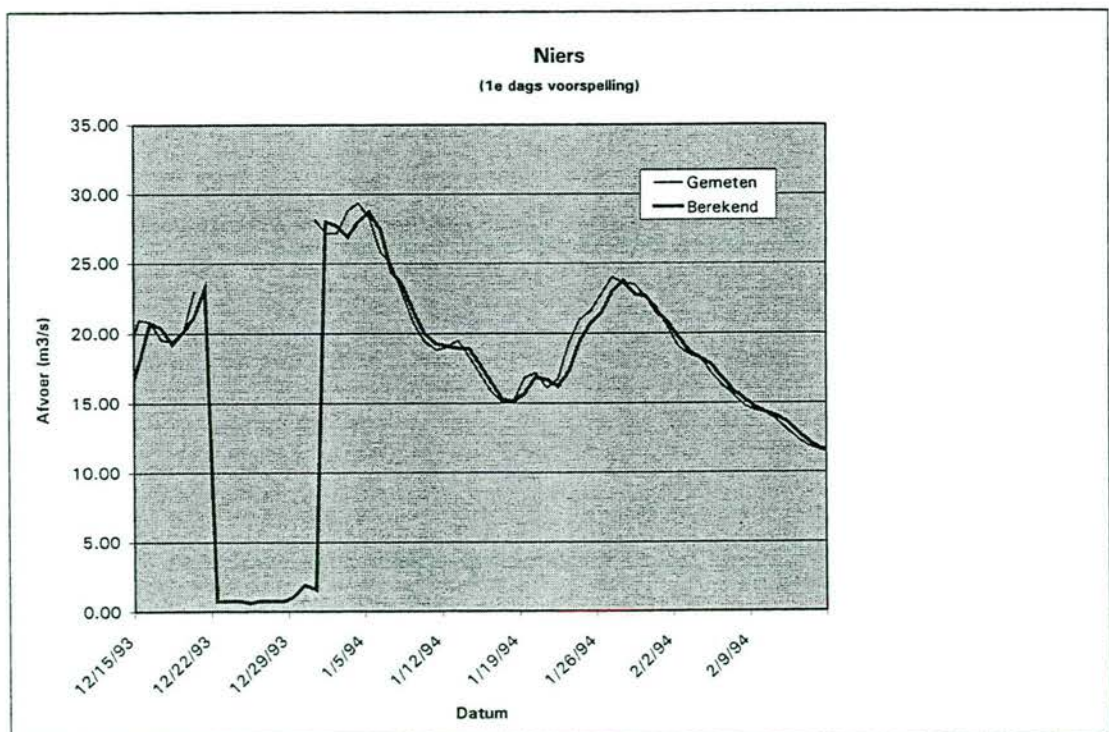
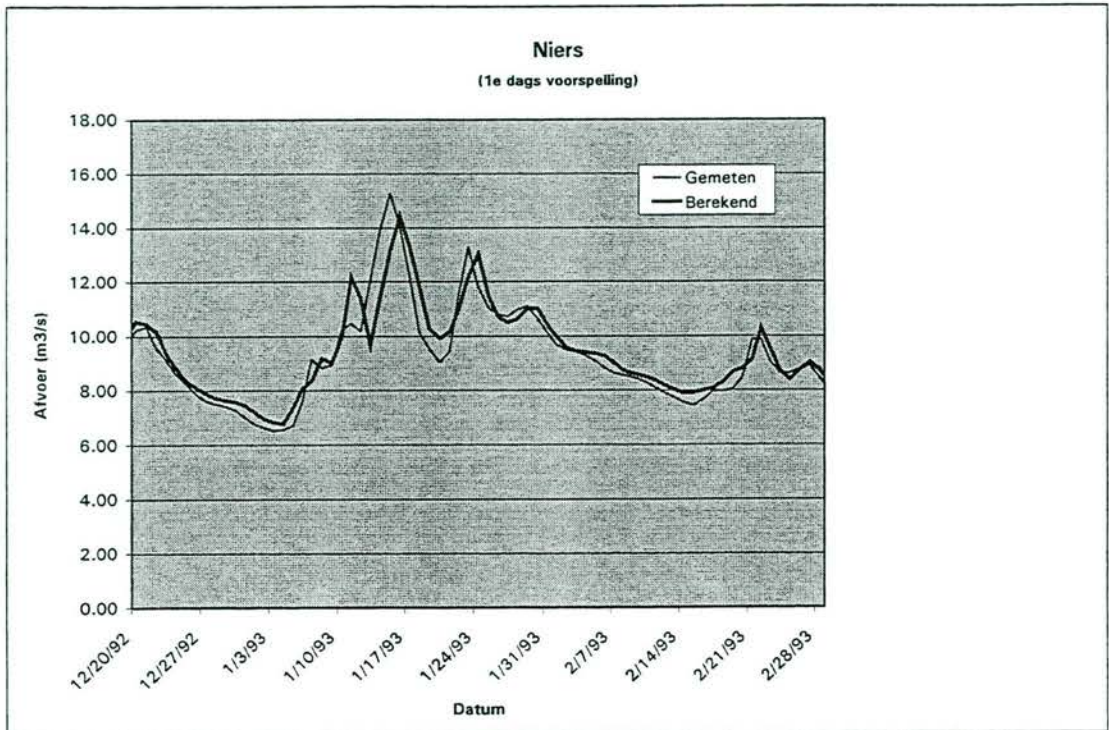


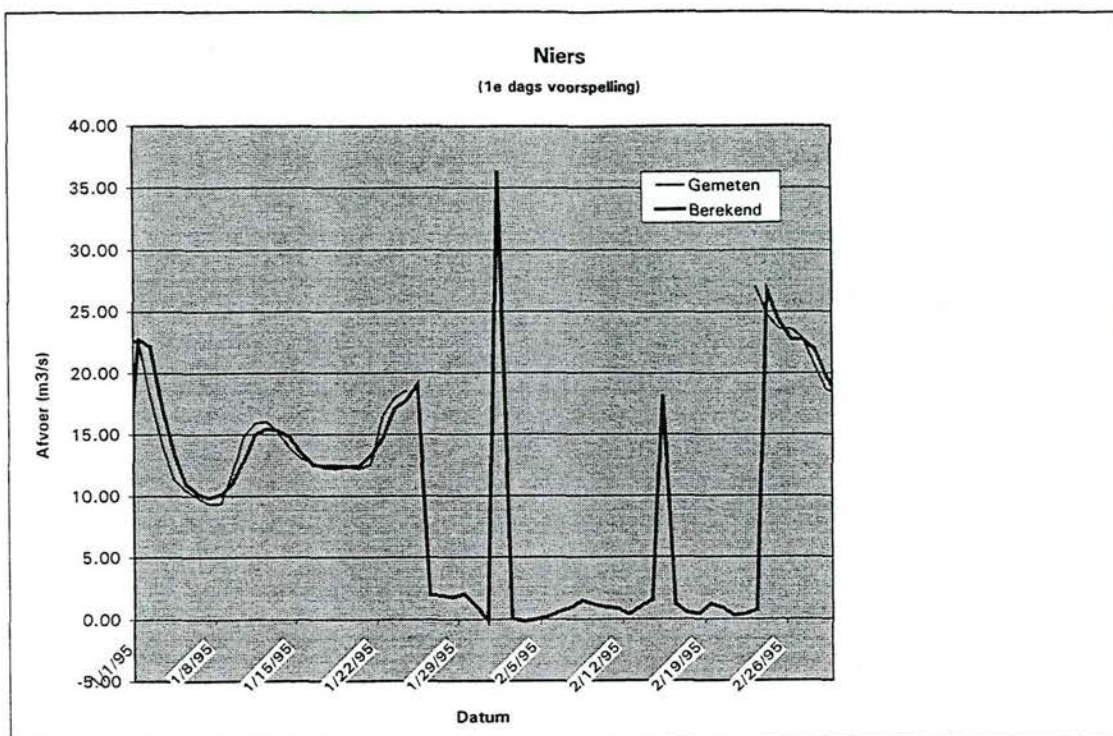
BIJLAGE X

Afvoeren berekend en gemeten Niers

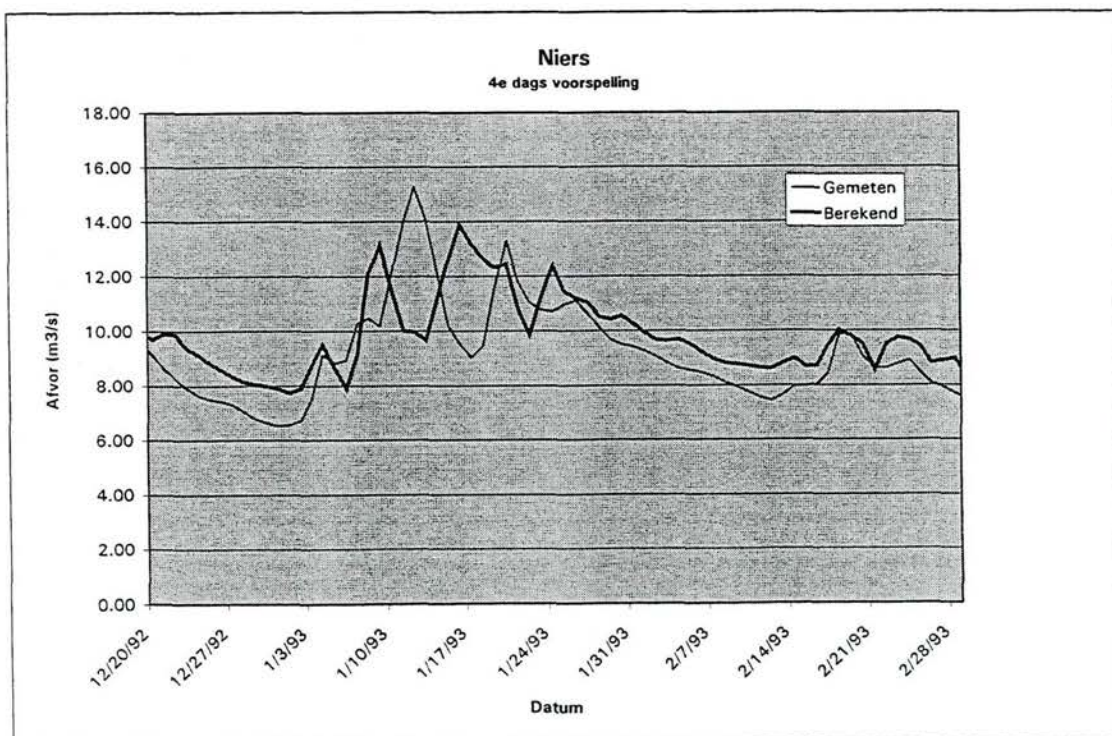


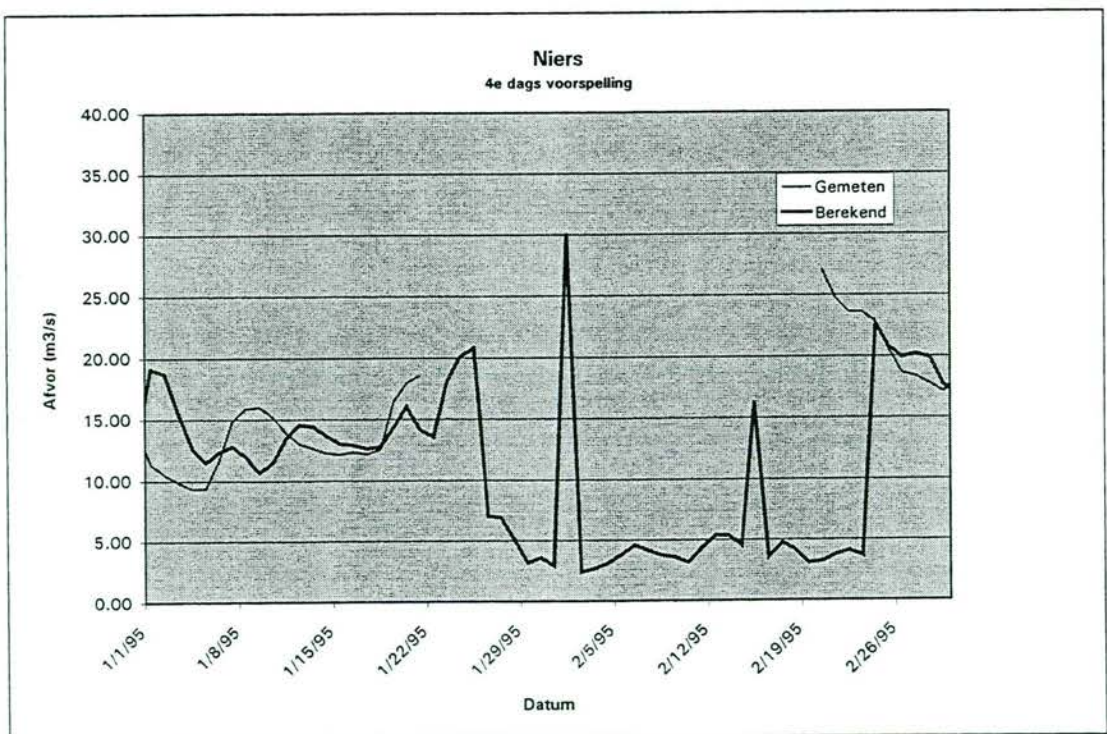
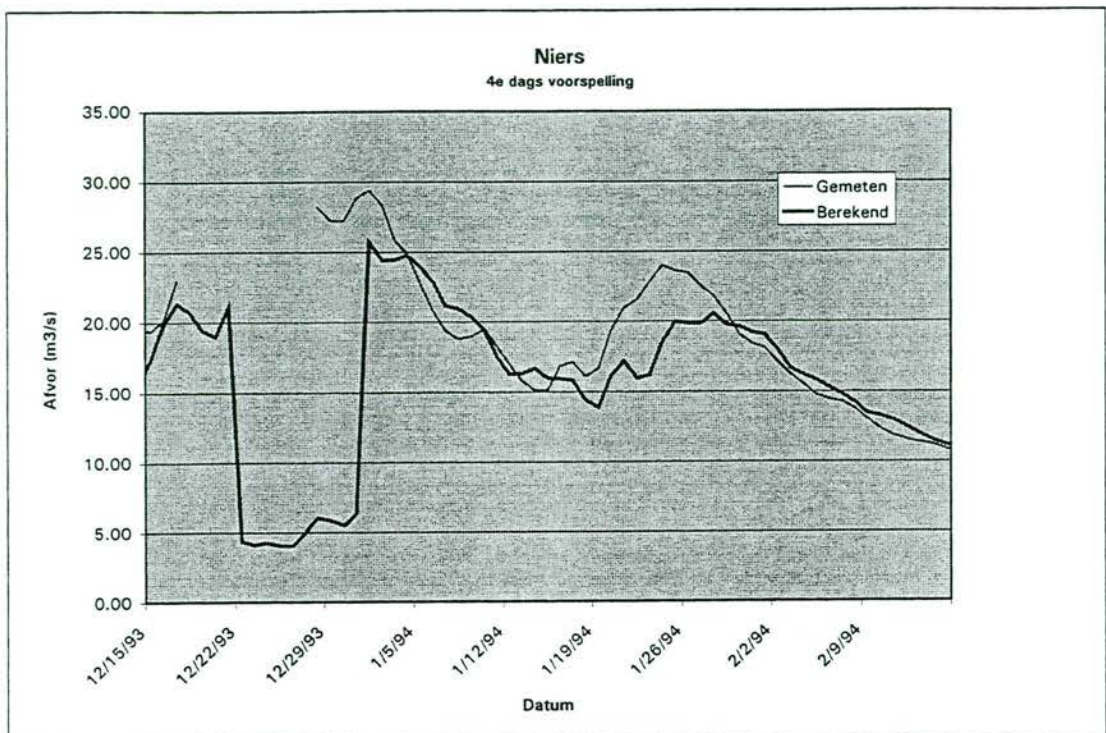
Afvoeren berekend en gemeten Niers
(Eerste dags voorspelling)





(Vierde dags voorspelling)





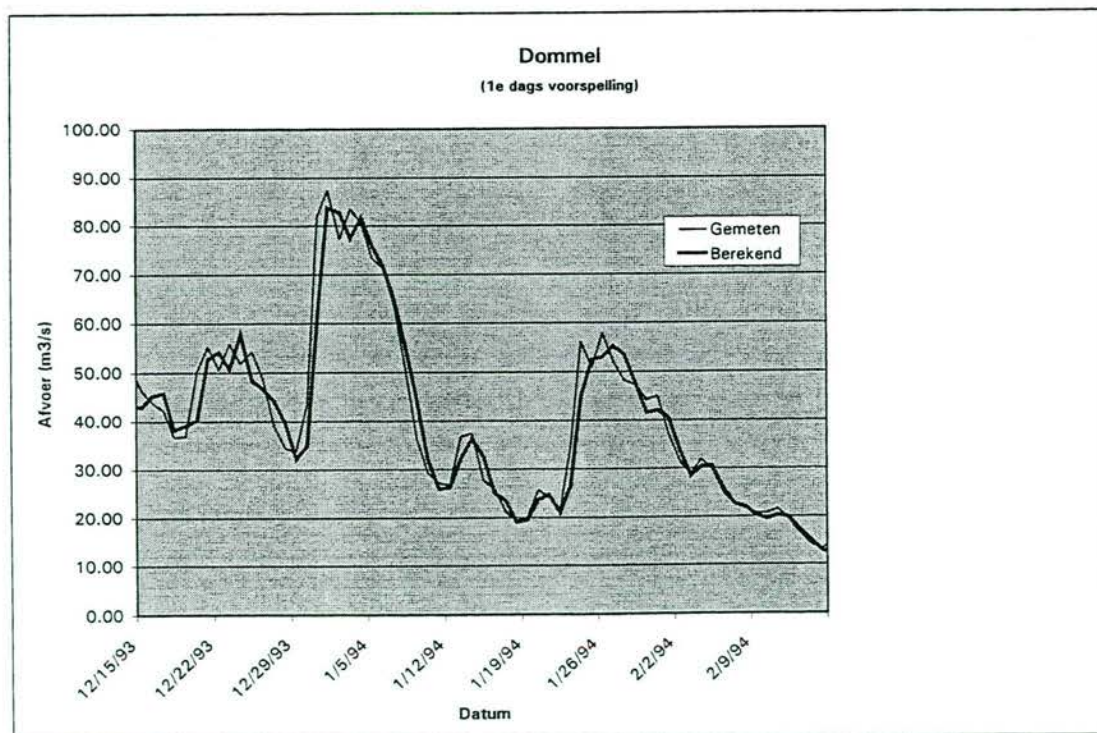
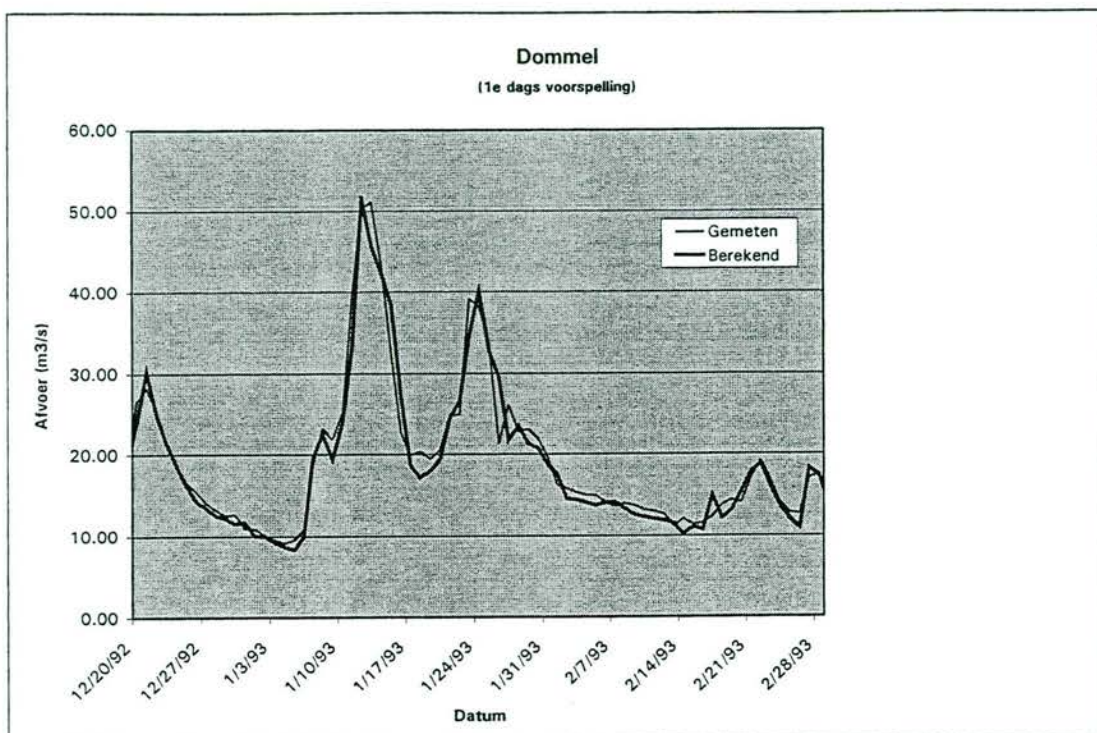


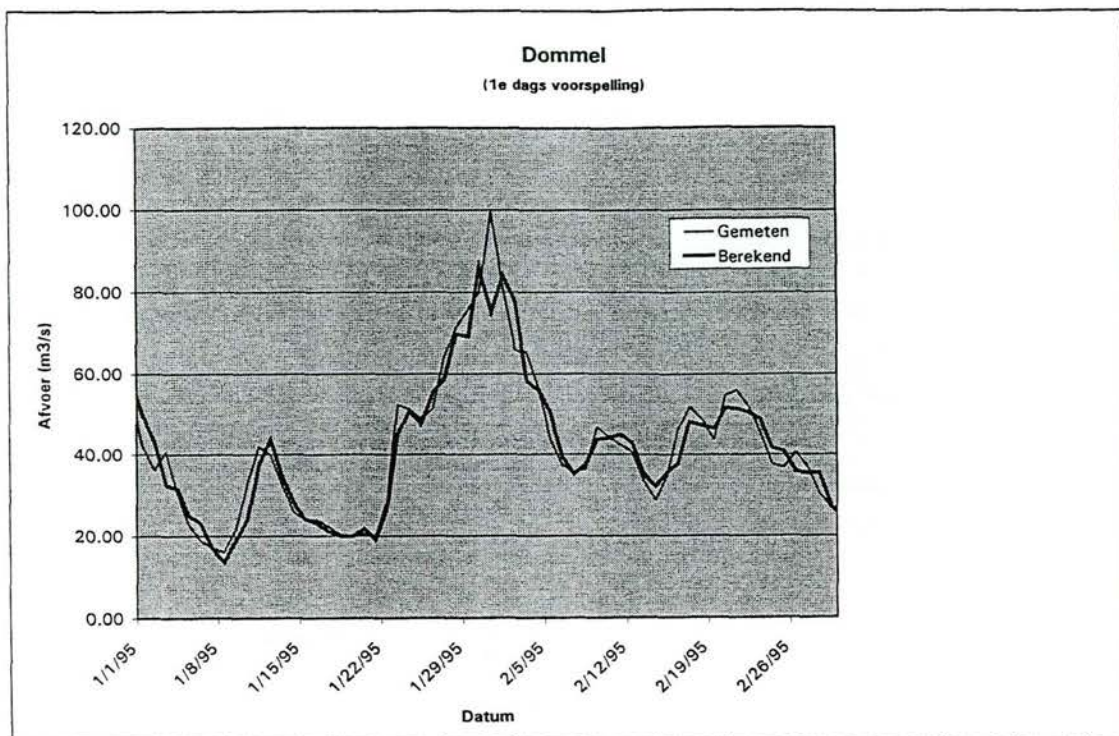
BIJLAGE XI

Afvoeren berekend en gemeten Dommel

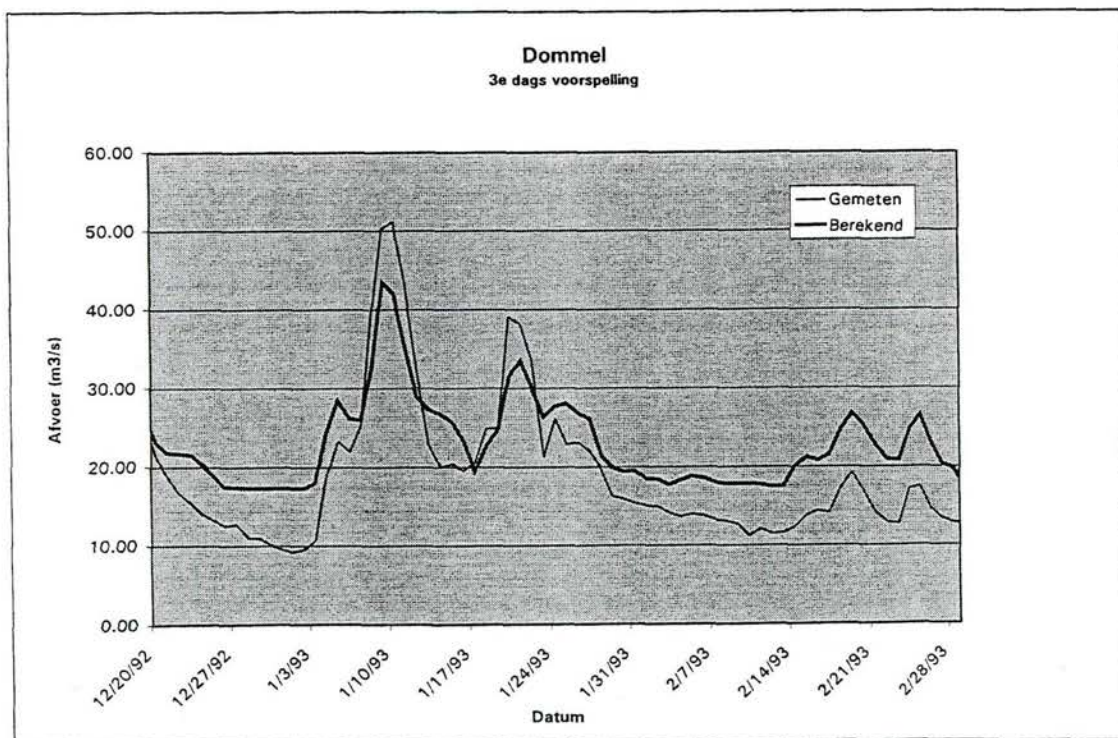


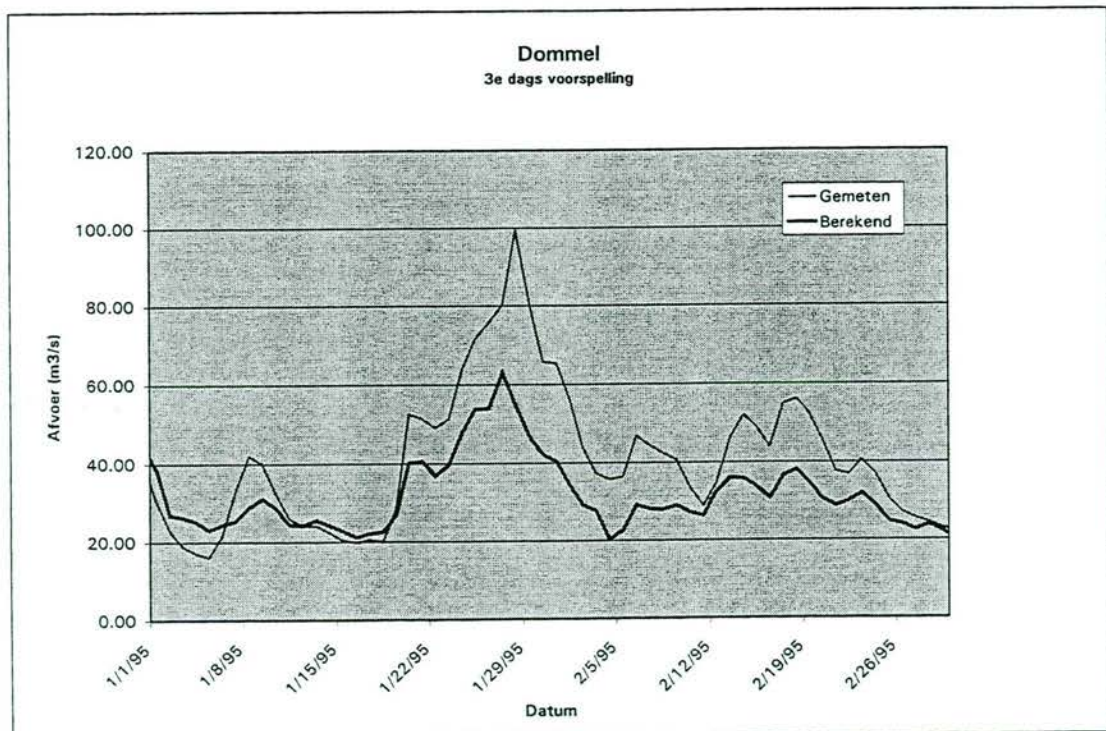
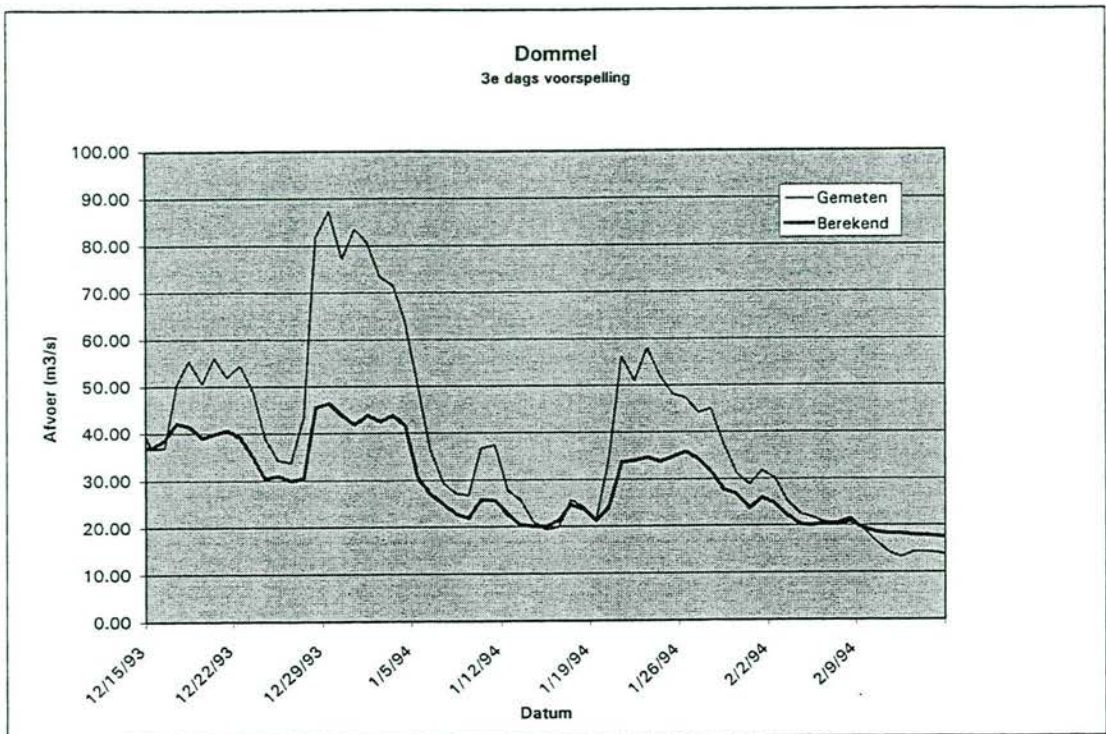
Afvoeren berekend en gemeten Dommel
(Eerste dags voorspelling)





(Derde en vierde dags voorspelling)





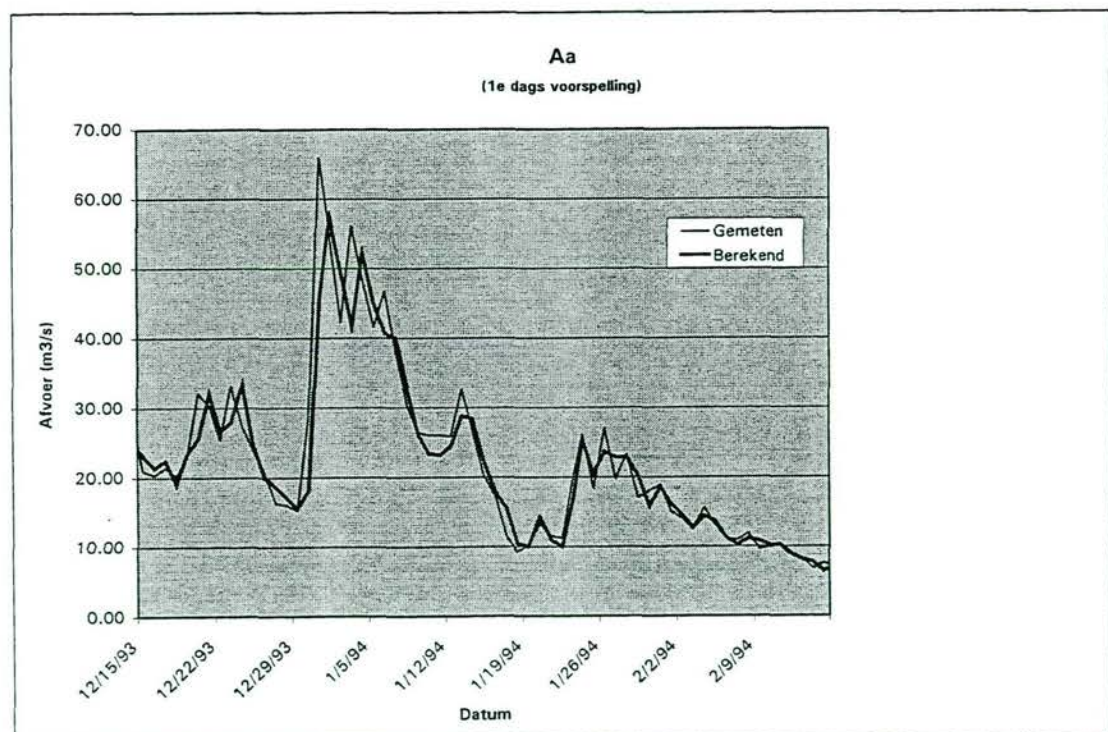
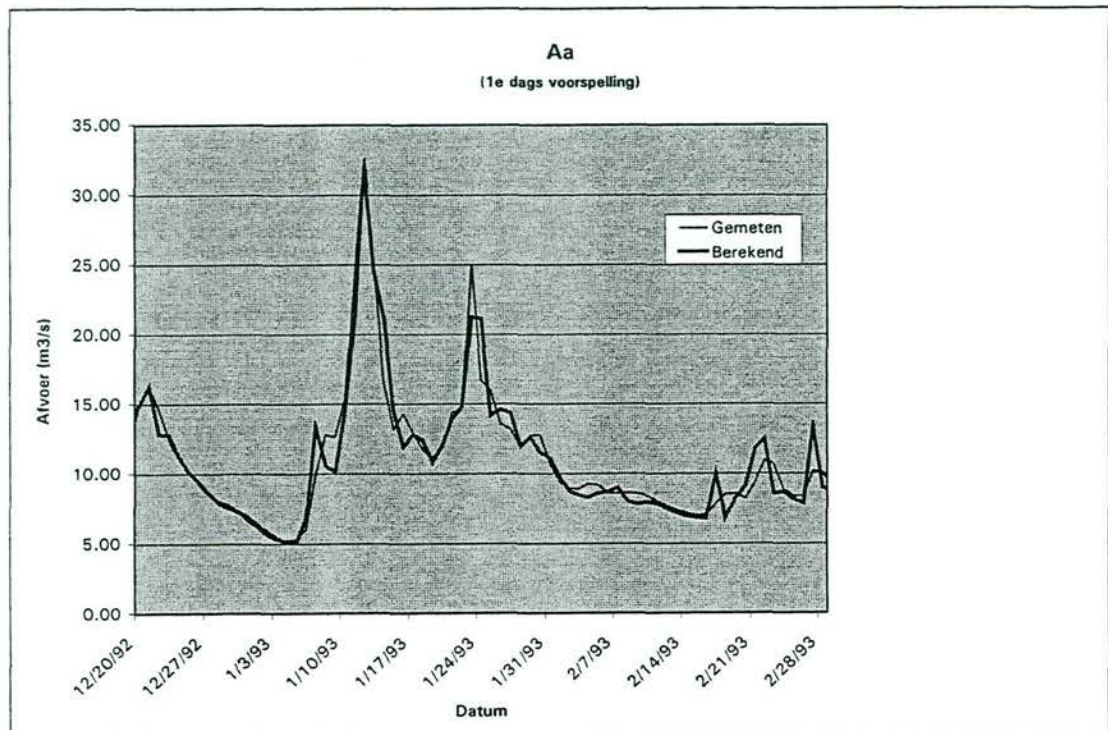


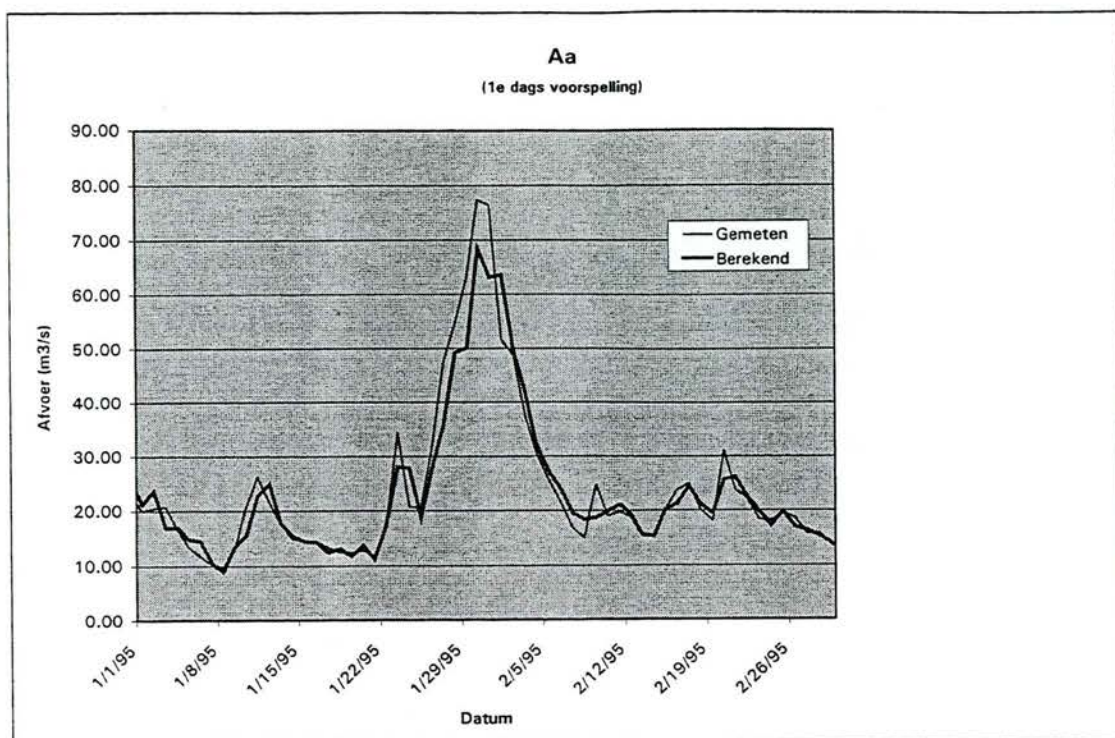
BIJLAGE XII

Afvoeren berekend en gemeten Aa

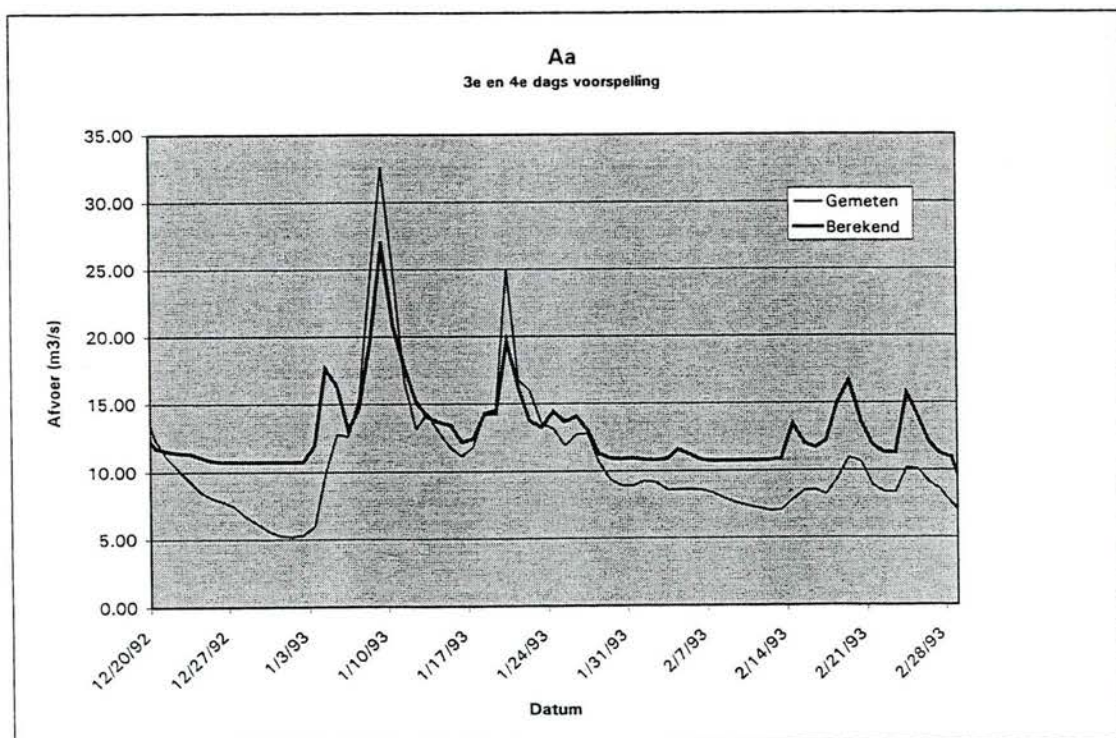


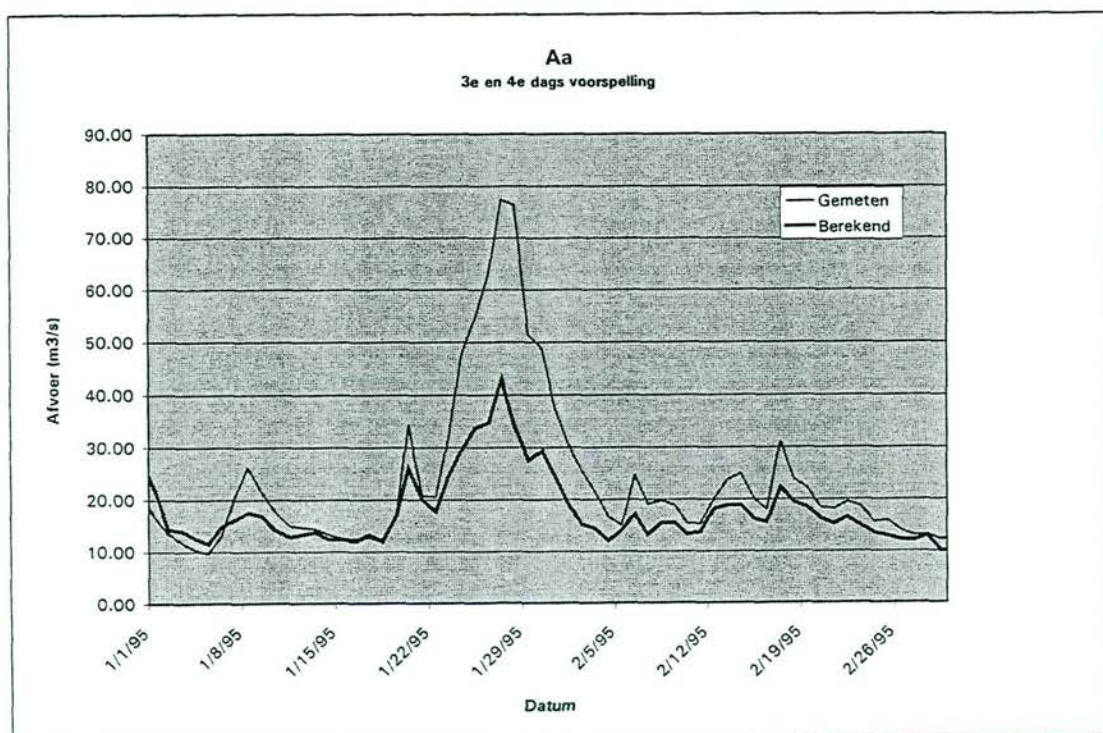
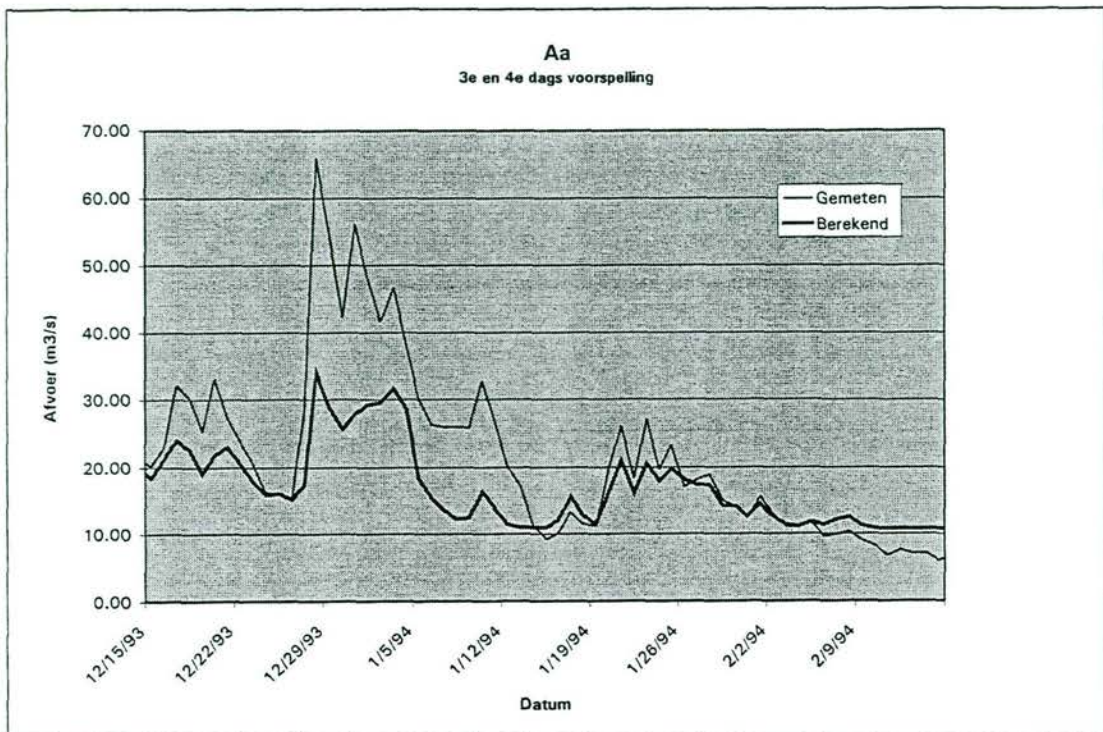
Afvoeren berekend en gemeten Aa
(Eerste dags voorspelling)





(Derde en vierde dags voorspelling)







BIJLAGE XIII

Neerslag-afvoer relaties belangrijkste laterale
toestromingen



NEERSLAG-AFVOER RELATIES VAN DE BELANGRIJKSTE LATERALE TOESTROMINGEN

De neerslag-afvoer relaties voor de **Geul** zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.756285 * Q_t + 1.382343 * \text{maand} - 0.19289 * \text{maand}^2 - 0.04609 * N_T + 0.268433 * N_{T+1} - 0.00296 * (N_{T-1})^2 - 0.00189 * (N_T)^2 + 0.001536 * (N_{T+1})^2 - 1.69668$$

$$Q_{t+2} = -1.90921 + 3.018214 * \text{maand} - 0.40466 * \text{maand}^2 + 0.113929 * N_{T+1} + 0.278023 * N_{T+2} + 0.036323 * (2N_{\text{gem}7})^2$$

$$Q_{t+3} = -1.90921 + 3.018214 * \text{maand} - 0.40466 * \text{maand}^2 + 0.113929 * N_{T+2} + 0.278023 * N_{T+3} + 0.036323 * 3(N_{\text{gem}7})^2$$

$$Q_{t+4} = -1.90921 + 3.018214 * \text{maand} - 0.40466 * \text{maand}^2 + 0.113929 * N_{T+3} + 0.278023 * N_{T+4} + 0.036323 * 4(N_{\text{gem}7})^2$$

Mits: Q_{t+1} OF Q_{t+2} OF Q_{t+3} OF $Q_{t+4} > 3.36 \text{ m}^3/\text{s}$

De neerslag-afvoer relaties voor de **Geleenbeek** zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 2.498041 + 0.273298 * N_{T+1} + 0.00197 * (N_T)^2 + 0.00205 * (N_{T+1})^2 + 0.023734 * \text{maand}^2 + 0.060906 * 1N_{\text{gem}7}$$

$$Q_{t+2} = 2.498041 + 0.273298 * N_{T+2} + 0.00197 * (N_{T+1})^2 + 0.00205 * (N_{T+2})^2 + 0.023734 * \text{maand}^2 + 0.060906 * 2N_{\text{gem}7}$$

$$Q_{t+3} = 2.498041 + 0.273298 * N_{T+3} + 0.00197 * (N_{T+2})^2 + 0.00205 * (N_{T+3})^2 + 0.023734 * \text{maand}^2 + 0.060906 * 3N_{\text{gem}7}$$

$$Q_{t+4} = 2.498041 + 0.273298 * N_{T+4} + 0.00197 * (N_{T+3})^2 + 0.00205 * (N_{T+4})^2 + 0.023734 * \text{maand}^2 + 0.060906 * 4N_{\text{gem}7}$$

Mits: Q_{t+1} OF Q_{t+2} OF Q_{t+3} OF $Q_{t+4} > 2.79 \text{ m}^3/\text{s}$

De neerslag-afvoer relaties voor de **Roer** zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.629143 * Q_t + 0.800031 * N_T + 1.207889 * N_{T+1} + 2.416139 * N_{T-1} - 0.26881 * (N_{T-1})^2 + 20.36727$$

$$Q_{t+2} = -62.730136 + 0.41165952 * Q_t + 2.41491583 * N_{T+1} + 0.62892351 * N_{T+2} + 12.9417578 * 2N_{\text{gem}7} - 1.4900606 * (2N_{\text{gem}7})^2 + 18.918853 * \text{maand}$$

$$Q_{t+3} = 42.42796 + 17.70472 * 3N_{\text{gem}7} - 1.88601 * (3N_{\text{gem}7})^2$$

$$Q_{t+4} = 42.42796 + 17.70472 * 4N_{\text{gem}7} - 1.88601 * (4N_{\text{gem}7})^2$$

Mits: $Q_n > 60 \text{ m}^3/\text{s}$

Indien $Q_n < 60 \text{ m}^3/\text{s}$ wordt voorgesteld $25 \text{ m}^3/\text{s}$ aan te houden.



De neerslag-afvoer relaties voor de **Neerbeek** zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.845024 * Q_t + 0.134674 * maand - 0.04171 * N_{T-1} \\ + 0.194445 * N_{T+1} + 0.021355 * N_T - 0.00147 * (N_{T+1})^2 - 0.30754$$

$$Q_{t+2} = 1.873684 * maand - 0.23561 * maand^2 + 0.069028 * N_{T+1} + 0.173029 * N_{T+2} \\ + 0.33088 * 2(N_{gem7})^2 - 0.00131 * (N_{T+2})^2 - 1.42842$$

$$Q_{t+3} = 1.873684 * maand - 0.23561 * maand^2 + 0.069028 * N_{T+2} + 0.173029 * N_{T+3} \\ + 0.33088 * 3(N_{gem7})^2 - 0.00131 * (N_{T+3})^2 - 1.42842$$

$$Q_{t+4} = 1.873684 * maand - 0.23561 * maand^2 + 0.069028 * N_{T+3} + 0.173029 * N_{T+4} \\ + 0.33088 * 4(N_{gem7})^2 - 0.00131 * (N_{T+4})^2 - 1.42842$$

Mits: $Q_{t+1} > 2,28 \text{ m}^3/\text{s}$

De neerslag-afvoer relaties voor de **Niers** zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.948545 * Q_t + 0.176587 * maand + 0.274197 * N_T + 0.170117 * N_{T+1} \\ - 0.00695 * (N_T)^2 - 0.00237 * (N_{T+1})^2 - 0.33767 * 1N_{gem7} + \\ 0.028286 * (1N_{gem7})^2 - 0.16853$$

$$Q_{t+2} = 0.883637 * Q_t + 0.367803 * maand + 0.281365 * N_T + 0.443203 * N_{T+1} + \\ 0.118854 * N_{T+2} - 0.00974 * (N_{T+1})^2 - 0.63212 * 2N_{gem7} + 0.054217 * (2N_{gem7})^2 \\ - 0.00735 * (N_T)^2 - 0.25344$$

$$Q_{t+3} = 0.808117 * Q_t + 0.516769 * maand + 0.359475 * N_{T+1} + \\ 0.357746 * N_{T+2} + 0.089114 * N_{T+3} - 0.00654 * (N_{T+1})^2 - \\ -0.00632 * (N_{T+2})^2 - 0.61801$$

$$Q_{t+4} = 0.730638 * Q_t + 1.808291 * maand - 0.2004 * maand^2 + \\ 0.440639 * N_{T+2} + 0.367443 * N_{T+3} + 0.085762 * N_{T+4} - \\ 0.0121 * (N_{T+2})^2 - 0.00938 * (N_{T+3})^2 - 0.31766 * 4N_{gem7} + \\ 0.06395 * (4N_{gem7})^2 - 1.46275$$

Mits: $Q_{t+1}, Q_{t+2}, Q_{t+3}, Q_{t+4} > 7,94 \text{ m}^3/\text{s}$

De neerslag-afvoer relaties voor de **Dommel** zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.953944 * Q_T + 1.172451 * N_{T+1} - 0.38119 * N_{T-1} + \\ 0.272141 * N_T - 0.01342 * (N_{T+1})^2 + 0.00661 * (N_{T-1})^2 \\ - 0.55279 * 1N_{gem7} - 0.39128$$

$$Q_{t+2} = 0.850932 * Q_T + 1.571852 * N_{T+1} + 1.13638 * N_{T+2} + \\ 0.11141 * (2N_{gem7})^2 - 0.01803 * (N_{T+1})^2 - 0.0123 * (N_{T+2})^2 + \\ 1.31786 * maand - 2.24549 * 2N_{gem7} - 3.14538$$

$$Q_{t+3} = 16.89122 * maand - 2.08307 * maand^2 + 0.257879 * N_{T+1} + \\ 0.715814 * N_{T+2} + 0.654202 * N_{T+3} - 0.00859 * (N_{T+1})^2 + \\ 1.964078 * 3N_{gem7} - 16.9558$$



$$Q_{t+4} = 16.89122 * maand - 2.08307 * maand^2 + 0.257879 * N_{T+2} + \\ 0.715814 * N_{T+3} + 0.654202 * N_{T+4} - 0.00859 * (N_{T+2})^2 + \\ 1.964078 * 4N_{gem7} - 16.9558$$

Mits: Q_{t+1} OF Q_{t+2} OF Q_{t+3} OF $Q_{t+4} > 14,95 \text{ m}^3/\text{s}$

De neerslag-afvoer relaties voor de **Aa** zien er als volgt uit:

$$Q_{t+1} = 0.868586 * QT + 1.0302 * N_{T+1} - 0.15999 * NT - 0.30692 * N_T - \\ 0.00651 * (N_{T+1})^2 + 0.569795 * maand - 1.73083$$

$$Q_{t+2} = 0.721814 * QT + 0.90498 * N_{T+2} + 0.640807 * N_{T+1} - 0.44076 * N_T - \\ 0.00903 * (N_{T+1})^2 + 1.19021 * maand - 3.52265$$

$$Q_{t+3} = 0.789139 * N_{T+3} + 0.246287 * N_{T+2} + 7.076325 * maand - \\ 0.66317 * maand^2 + 0.138521 * (3N_{gem7})^2 - 6.95552$$

$$Q_{t+4} = 0.789139 * N_{T+4} + 0.246287 * N_{T+3} + 7.076325 * maand - \\ 0.66317 * maand^2 + 0.138521 * (4N_{gem7})^2 - 6.95552$$

Mits: Q_{t+1} OF Q_{t+2} OF Q_{t+3} OF $Q_{t+4} > 8,93 \text{ m}^3/\text{s}$

AN ORIGINAL BINDOMATIC DFS COVER
Classic 12 mm for 91-120 sheets