

De afvoer van de Noor (Zuid-Limburg)

Periode 1992 - 2000

R. Dijksma en H.A.J. van Lanen

Foto kapt: Het afvoermeetpunt M6 in de Noor ter hoogte van de Molenhoeve (B)

Rapport 98

Sectie Waterhuishouding
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen

ISSN 0926-230X

1615394

Verantwoording

Het rapport is opgesteld door R. Dijkma en H.A.J. van Lanen. De verwerking van de ruwe gegevens, inclusief de kwaliteitscontrole is uitgevoerd door R. Dijkma.

De auteurs willen H.F. Gertsen en W.J. Ackerman (tot sept 1999) bedanken voor hun bijdrage in het verzamelen van de ruwe gegevens.

De auteurs willen daarnaast Dhr. G. Born (Molenhoeve, Altembroek, België) bedanken voor de welwillende toestemming om de afvoer van de Noor te kunnen meten en zijn warme belangstelling voor het Noor-onderzoek. Hetzelfde geldt voor de Fam. E. Haesen te Noorbeek, die dagelijks de neerslag registreert en deze gegevens beschikbaar stelt voor het onderzoek.

Roel Dijkma
Henny A.J. van Lanen

Inhoud

1.	Inleiding	1
2.	Gebiedsbeschrijving	3
3.	Meetmethode, gegevensopslag en verwerking	5
4.	Neerslag en afvoer 1992 – 2000	9
5.	Piekafvoeren	13
6.	Conclusies	17
Bijlagen		
Bijlage 1	De afvoer van de Noor anders gezien	19
Bijlage 2	afvoer van de Noor van jaar tot jaar	21
Bijlage 3	Aan de Noor gerelateerde publicaties en scripties	25

1. Inleiding

De Provincie Limburg heeft aan de N.V. Waterleiding Maatschappij Limburg (WML) een vergunning tot grondwateronttrekking voor de winplaats De Dommel verleend. In deze waterwinvergunning is opgenomen dat de totale oppervlaktewater-afvoer van de Noor dagelijks moet worden gemeten en dat er jaarlijks moet worden gerapporteerd.

De sectie Waterhuishouding van de Wageningen Universiteit bestudeert sinds 1991 het hydrogeologische systeem van het stroomgebied van de Noor. In het kader daarvan wordt de neerslag, de stijghoogte van het grondwater en de afvoer van het oppervlaktewater op een groot aantal locaties gemeten. De afvoer van het stroomgebied van de Noor wordt ter hoogte van de Molenhoeve in België (meetpunt M6) continu gemeten. Daarnaast wordt de chemische samenstelling van het grond- en oppervlaktewater maandelijks gemeten.

In 1995 is in opdracht van de WML gerapporteerd over de effecten die de grondwaterwinning aan de westrand van het Plateau van Margraten heeft op het stroomgebied van de Noor. De resultaten van dit onderzoek zijn vastgelegd in twee rapporten, namelijk:

- H.A.J van Lanen, B. van de weerd, R. Dijkma, H.J. ten Dam en G. Bier
Hydrogeologie van het stroomgebied van de Noor en de effecten van grondwateronttrekkingen aan de westrand van het Plateau van Margraten; basisrapport.
Rapport 57 vakgroep Waterhuishouding, 202 pp., incl. bijlagen.
- H.A.J. van Lanen, R. Dijkma en B. van de Weerd
De effecten van grondwateronttrekkingen aan de westrand van het Plateau van Margraten op de hydrogeologie van het Noordal; samenvattend rapport.
Rapport 58 vakgroep Waterhuishouding, 49 pp., incl. bijlagen.

In beide rapporten is de afvoer van de Noor over de periode mei 1992 – november 1994 als daggemiddelde afvoer bij het meetput M6 (Molenhoeve) weergegeven. Eind 1997 heeft de WML de toenmalige Landbouw Universiteit Wageningen (nu Wageningen Universiteit) de opdracht gegeven om de afvoer van de Noor jaarlijks te meten en daarover te rapporteren (kenmerk 704190 / 2448 / PU). De opdracht behelsde drie fasen:

Fase 1	Rapportage met terugwerkende kracht, november 1995 t/m 1997
Fase 2	Jaarlijkse rapportage gedurende de jaren 1998 en 1999
Fase 3	Eindrapportage 1991-2000

De uitbedrijfname van de waterwinplaats De Dommel was ten tijde van de opdrachtverstrekking gepland op 1 januari 2001. De eindrapportage was daarom voorzien in april 2001.

Fase 1

De rapportage van Fase 1 heeft plaatsgevonden in april 1998 met het rapport:

R. Dijkma, H.A.J. van Lanen, W.J. Ackerman en H.F. Gertsen

De afvoer van de Noor (Zuid-Limburg); Periode 1992 – 1997.

Rapport 78, Waterhuishouding (1998), 20 pp. incl. bijlagen.

Fase 2

De jaren 1998 en 1999 zijn conform de opdracht gerapporteerd in de vorm van een grafiek met dagafvoeren en een bestand in LOTUS123 op floppy disk. Van de uitzonderlijk grote afvoeren zijn verlopen meegeleverd op basis van kwartierintervallen.

Fase 3

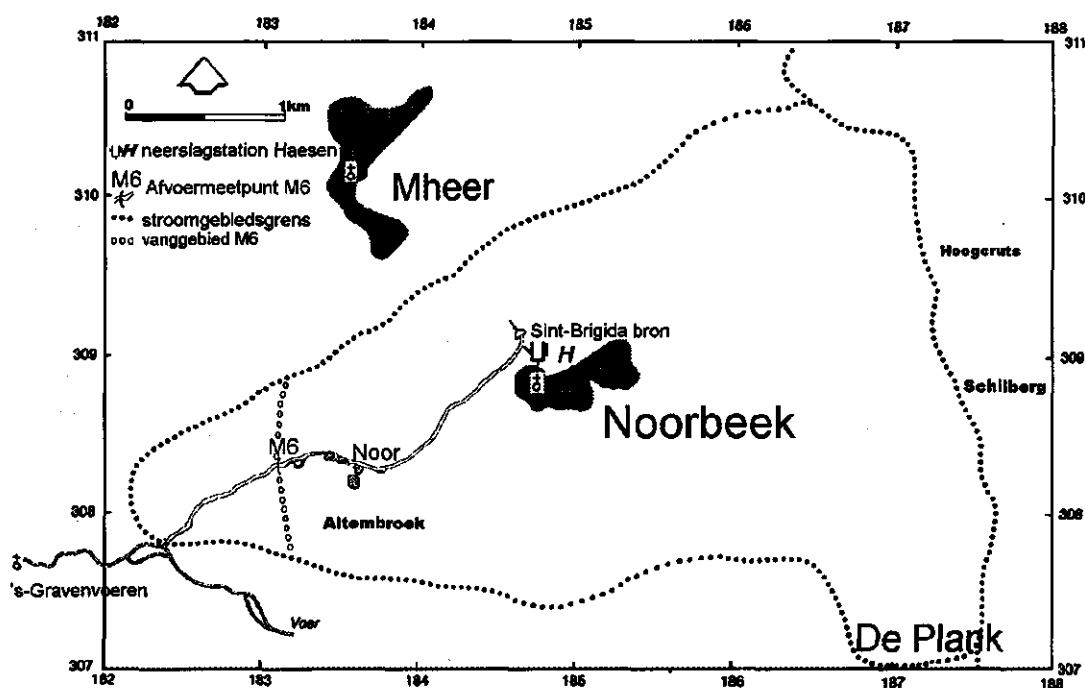
Dit rapport beschrijft de derde en laatste fase van bovengenoemd onderzoek: de rapportage van de afvoer van de Noor bij de Molenhoeve (M6) over de periode mei 1992 t/m december 2000.

Dit rapport bevat de volgende onderdelen. In hoofdstuk 2 wordt een beknopte gebiedsbeschrijving gegeven. Daarna komt in hoofdstuk 3 aan de orde hoe de afvoer is gemeten en op welke wijze de gegevens zijn verwerkt. In hoofdstuk 4 wordt ingegaan op de neerslag en afvoer in het gebied. In hoofdstuk 5 wordt een beperkt aantal afvoerpieken aan een nadere beschouwing onderworpen. In de bijlagen tot slot is de afvoer van de Noor in $m^3 \cdot d^{-1}$, de afvoer gerelateerd aan de stroomgebiedsgrootte ($mm \cdot d^{-1}$), de afvoeren van de afzonderlijke jaren en een opsomming van de recente publicaties en afstudeerrapporten opgenomen.

2. Gebiedsbeschrijving

Algemeen

De Noor is een beek in het grensgebied tussen Nederland (Zuid-Limburg) en België, in de driehoek tussen Maastricht, Aken en Luik. De beek mondt te 's-Gravenvoeren uit in de Voer. Het topografische stroomgebied van de Noor is 1056 ha groot. Het afvoermeeptpunt M6 ligt ongeveer 1 kilometer bovenstrooms van de uitmonding (bij de Molenhoeve). Daardoor is het bemeten gebied kleiner dan de genoemde 1056 ha. Figuur 1 toont het stroomgebied van de Noor.



Figuur 1 Overzicht van het topografisch vanggebied van de Noor

Het droge dal van de Noor begint ter hoogte van buurtschap De Plank op een hoogte van 240 m + NAP. Het Noordal wordt watervoerend bij de Sint-Brigida bron in Noorbeek op een hoogte van 138 m + NAP. Het uitstroompunt in de Voer ligt op een hoogte van circa 89 m + NAP.

Landgebruik

Het landgebruik vertoont een directe relatie met de hellingsgraad en de waterhuishouding. Op de steile hellingen is overwegend extensief gebruikt grasland te vinden. De akkerbouw is geconcentreerd op de hogere, flauwe hellingen en op de plateaus aan de randen van het stroomgebied. In het Nederlandse deel van het stroomgebied ligt in het centrum van het stroomgebied het natte natuurterrein "De Noorbeemden", eigendom van de Vereniging Natuurmonumenten. Grasland is de belangrijkste landgebruiksvorm (62%), gevolgd door akkerbouw (32%). De categorieën "wegen en bebouwing" en "bos en natuur" nemen ieder slechts enkele procenten van het stroomgebied in beslag.

Hydrogeologie

De ondergrond in het Nederlandse deel van het stroomgebied wordt gevormd door schalie en zandsteen uit het Boven-Carboon. Op deze ondoorlatende ondergrond liggen watervoerende afzettingen uit het Boven-Krijt en wel achtereenvolgens de Formatie van Vaals (fijnkorrelige, zwak verkitte siltsteen) en de gedeeltelijk verzadigde Formatie van Gulpen (zwak verkitte, fijnkorrelige kalksteen). In het Belgische deel van het stroomgebied ontbreken de Boven-Carboon afzettingen en de Formatie van Vaals. Daardoor ligt in dat deel van het stroomgebied de kalksteen van de Formatie van Gulpen direct op de sterk verkitte, goed doorlatende kalksteen uit het Onder-Carboon. De ondoorlatende ondergrond wordt daar op vele honderden meters diepte aangetroffen.

Op de plateaus bestaat het Pleistocene dek uit löss, een zeer goedgesorteerd fijnkorrelig sediment. Op de hellingen wordt het dek gevormd door klei met stenen (vooral vuursteen). De infiltratiecapaciteit van dit dek is voldoende groot om de neerslag onder normale condities te laten infiltreren. Oppervlakte-afvoer komt daardoor betrekkelijk weinig voor. Onder natte omstandigheden kan de neerslag de infiltratiecapaciteit overschrijden, waardoor (delen van) droge dalen tijdelijk watervoerend worden. Erosiegeultjes en -geulen en met sediment bedekte percelen zijn daarvan de stille getuigen. Sinds 1999 zijn op een aantal plaatsen in het stroomgebied opvangbekkens aangelegd door het Waterschap Roer en Overmaas om de oppervlakte-afvoer te beperken.

3. Meetmethode, gegevensopslag en verwerking

Neerslag

De neerslag wordt op drie lokaties gemeten in het stroomgebied van de Noor. Voor deze rapportage is onder andere gebruik gemaakt de neerslaggegevens van het station Haesen in Noorbeek. Dit neerslagstation ligt ten zuiden van de Noor ter hoogte van de Sint Brigidabron (Fig. 1). Het betreft een conventionele regenmeter met een oppervlakte van 2 dm² en een hoogte van 0.40 m boven maaiveld. De neerslag wordt dagelijks gemeten, op formulieren genoteerd en eenmaal per maand opgestuurd naar Wageningen. De gegevens worden vervolgens ingevoerd in een LOTUS database met meteorologische gegevens van het stroomgebied van de Noor (neerslag en referentieverdamping). De gegevens worden verwerkt tot maand- en jaartotalen. Daarnaast worden histogrammen gemaakt, waarin een vergelijking wordt gemaakt met het langjarige gemiddelde. Verder wordt voor het bestuderen van langjarige reeksen ook gebruik gemaakt van de gegevens van KNMI station Beek.

Oppervlaktewater-afvoer

De afvoer van de Noor zelf, van enkele bronnen en enkele zijbeken wordt continu gemeten. Dit betreft in totaal 5 locaties. Van enkele andere bronnen en zijbeken wordt eenmaal per maand de afvoer bepaald.

De totale oppervlaktewater-afvoer van de Noor wordt gemeten ter hoogte van de Molenhoeve (Altembroek, gemeente 's-Gravenvoeren, België). Deze afvoer die bij dit meetpunt wordt gemeten is het hoofdaandachtspunt van deze rapportage. In Figuur 1 wordt de locatie van het meetpunt (code M6) gegeven.

Het meetpunt ligt ongeveer 1 kilometer bovenstrooms van de uitmonding in de Voer. Dit betekent echter niet dat een deel van de afvoer van de Noor wordt gemist. Doordat de Boven-Carboon schalies en zandsteen ontbreken in dit deel van het Noordal, waardoor de doorlatende Formatie van Gulpen direct rust op de permeabele Onder-Carboon kalksteen, verliest de Noor vanaf de Molenhoeve zijn drainerende functie. De grondwaterstand ligt vanaf dit punt (veel) lager dan het niveau van de Noor. Het debiet van de Noor zal dus vanaf het meetpunt (M6) niet verder toenemen, maar wellicht afnemen. Hoeveel het debiet zal afnemen is onbekend: de incidentele debietmetingen in het traject tussen het meetpunt M6 en het punt waar de Noor in de Voer uitmondt gaven geen eenduidig beeld te zien. Wel kan worden gesteld dat het waterverlies in dit traject marginaal is.

Direct bovenstrooms van afvoermeetpunt M6 bevinden zich een aantal vijvers op het landgoed Altembroek. Een deel van het water in de Noor wordt door de vijvers geleid om voor continue verversing zorg te dragen. De rest van het water wordt om de vijvers heen gevoerd. Beide stromen komen direct benedenstrooms van de vijvers weer samen. Als het debiet van de beek constant is, dan zullen de vijvers geen invloed hebben op de afvoer (de berging in de vijvers is dan constant). Bij piekafvoeren zal, als het peil in de vijvers stijgt, een deel van het water geborgen worden in deze vijvers. Dit betekent dat de piek, die gemeten wordt bij M6, lager is dan zonder de vijvers. Als het peil in de vijvers na de piek daalt, dan zal dat tijdelijk een verhoogde afvoer bij M6 tot gevolg hebben. Hoe groot dit effect van de vijvers is, is sterk afhankelijk van de instelling van het verdeelwerk (bovenstrooms van de vijvers).

De afvoer wordt gemeten met een rechthoekige, vlakke overlaat (Rossum-type), waarvan de bodem en de zijkanten halfcircelvormig zijn in dwarsdoorsnede. Voor de halfcircelvormige vorm is gekozen om drijvend vuil gemakkelijk af te voeren. De meetstuw is van aluminium en is met boutverbindingen bevestigd aan een reeds aanwezige, houten bodemval. De breedte en de hoogte van de meetstuw bedragen respectievelijk 1.0 en 0.32 m. Voor de meetstuw geldt de volgende afvoer-relatie, indien de beek direct bovenstrooms van de meetstuw vrij wordt gehouden van begroeiing en sediment:

$$Q = 2.37h^{1.54}$$

waarin:

Q : afvoer ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
 h : overstorthoogte (m)

Het meetbereik van de stuw voor bovenstaande relatie is:

$$0.05 \text{ m} < h < 0.32 \text{ m}$$

$$0.023 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} < Q < 0.410 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Met de meetstuw worden de lage en middelgrote debieten redelijk nauwkeurig gemeten (meetfout ca. 5%). Bij hoge afvoeren bestaat de kans dat het water over de vleugels van de meetstuw zal stromen ($h > 0.32 \text{ m}$). De afvoerrelatie voor deze hoge afvoeren is bij benadering:

$$Q = 2.37h^{1.54} + 2 \times 2.37 \times (h - 0.32)^{1.54}$$

De overstorthoogte h wordt gemeten in een buis (stilling well) waarin zich een vlotter bevindt. De buis bevindt zich in het talud op ca. 4 m bovenstrooms van de stuw en is met een verbindingsbuisje verbonden met de Noor. De stand van de vlotter wordt elke 15 minuten opgeslagen in een datalogger (de nauwkeurigheid is ca. 1 mm). Minimaal eenmaal per maand wordt de datalogger uitgelezen (maandfiles). Tijdens het uitlezen van de datalogger wordt de peilschaal afgelezen en wordt de overstorthoogte ook nog met een meethaak bij de stuw geijkt. De door de datalogger geregistreerde overstorthoogte wordt zonodig aangepast (nulpuntsverschuiving). Verder wordt het sediment voor de meetstuw verwijderd, alsmede eventuele begroeiing. De buis en het verbindingsbuisje worden doorgespoeld om sediment te verwijderen en eventuele verstopping van het buisje weer op te heffen. Regelmatig wordt door middel van waterpassing de hoogte van de meetstuw en de peilschaal ingemeten om eventuele verzakkingen te kunnen constateren.

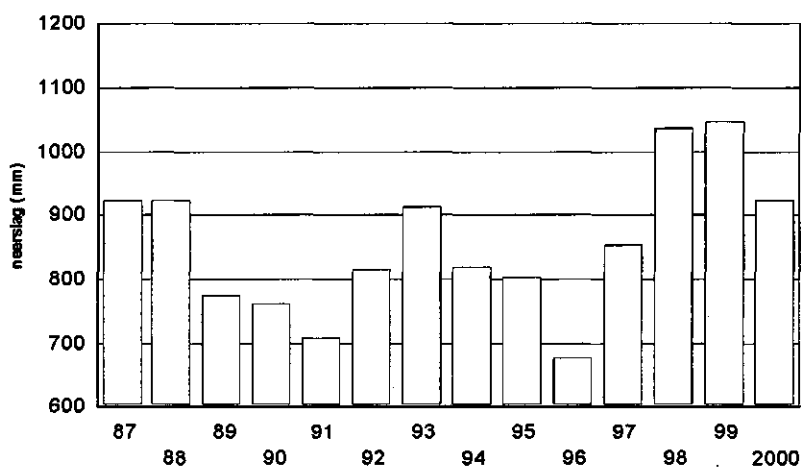
De ruwe gegevens uit de datalogger worden in Wageningen opgeslagen. Verder worden de waarnemingen bij de stuw ingevoerd in een database met handwaarnemingen. Na verloop van tijd worden de maandfiles met ruwe gegevens verwerkt. De geregistreerde overstorthoogte wordt zonodig aangepast als het nulpunt is verschoven (lineaire vereffening). Ontbrekende waarden door logger-uitval of verstopping van het verbindingsbuisje worden aangevuld, indien het om een korte periode gaat. Hierbij wordt ook gebruik gemaakt van neerslaggegevens. Tenslotte

wordt de overstorthoogte omgezet in een afvoer per 15 minuten. Uiteindelijk is voor dit rapport de afvoer gesommeerd tot dagafvoeren. De verwerking van de gegevens wordt voor een deel uitgevoerd met specifieke software (vereffening, kwaliteitscontrole). De uiteindelijke visuele controle en presentatie gebeurt met LOTUS. In dit format worden de gecontroleerde gegevens uiteindelijk ook opgeslagen.

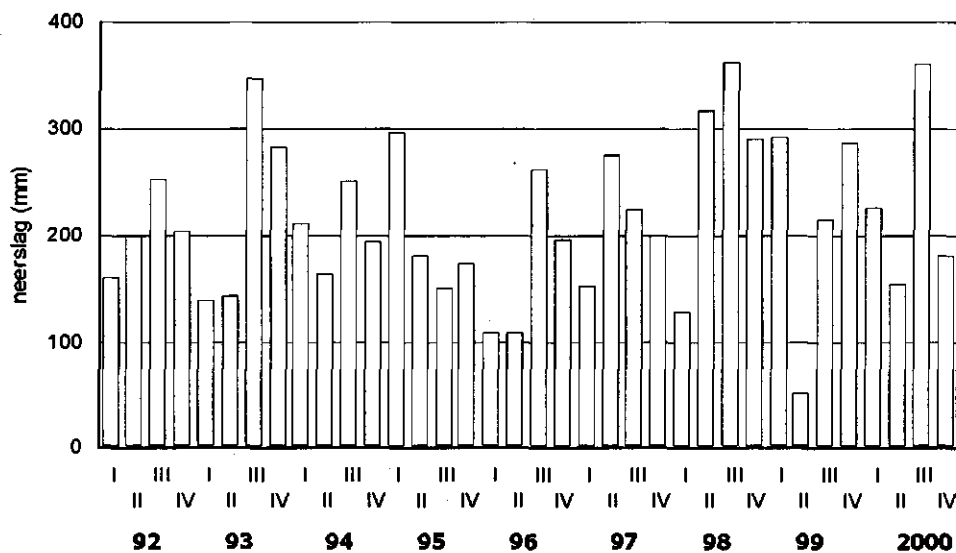
4. Neerslag en afvoer 1992- 2000

Neerslag

Voor deze rapportage is onder andere gebruik gemaakt van de neerslagreeks van station Haesen. De neerslag is in dit rapport opgenomen om de temporele variatie in de neerslag en de daaraan gekoppelde grondwataanvulling en afvoer te kunnen laten zien. In Figuur 2 worden de jaarneerslagen over de periode 1987 – 2000 getoond. Enkele jaren voorafgaand aan 1992 zijn ook in de figuur opgenomen. De jaarlijkse variatie in neerslaghoeveelheden is daardoor makkelijker te duiden. In figuur 3 worden de kwartaalsommen van de neerslag getoond.



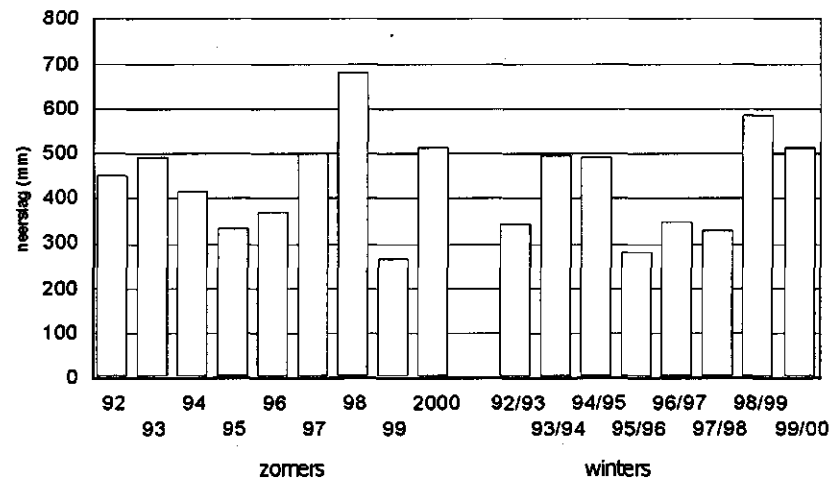
Figuur 2 Jaarsommen van neerslagstation Haesen (Noorbeek)



Figuur 3 Neerslag-kwartaalsommen van station Haesen (Noorbeek)

Met name de winterneerslag is van groot belang voor de grondwataanvulling, omdat de verdamping dan gering is. Op de seizoenschaal vindt gemiddeld genomen de omslag van een potentieel neerslagoverschot naar een potentieel neerslagtekort plaats in april.

De omslag van een potentieel neerslagtekort naar een potentieel neerslagoverschot valt gemiddeld in september. De winterperiode is daarom gedefinieerd van oktober tot en met maart. Figuur 4 toont de neerslag in de hydrologische zomer- en winterhalfjaren.



Figuur 4 Neerslagsommen in de hydrologische zomers en winters over de periode 1992-2000 (station Haesen)

De winterperioden 98/99 en 99/00, maar ook 93/94 en 94/95 waren natter dan gemiddeld. Het 9-jarig wintergemiddelde bedraagt 460 mm. Met name de periode 1998-1999 wordt gekenmerkt door veel neerslag, zowel op jaarbasis, als op halfjaar en kwartaalbasis. In september 1998 viel meer dan 220 mm neerslag.

De grondwateraanvulling is berekend met behulp van de neerslag van station Beek, de Makkink evapotranspiratie, eveneens van station Beek, het landgebruik en bodemgegevens. Bij de rapportage in 1997 is uitgegaan van neerslagstation Haesen. Hierdoor treden (kleine) verschillen op ten opzichte van die rapportage. In tabel 1 worden de jaarsommen van de grondwateraanvulling getoond. De jaren zijn in deze tabel als hydrologische jaren gedefinieerd, dat wil zeggen dat het jaar loopt van 1 april van het desbetreffende jaar tot aan 31 maart van het daaropvolgende jaar.

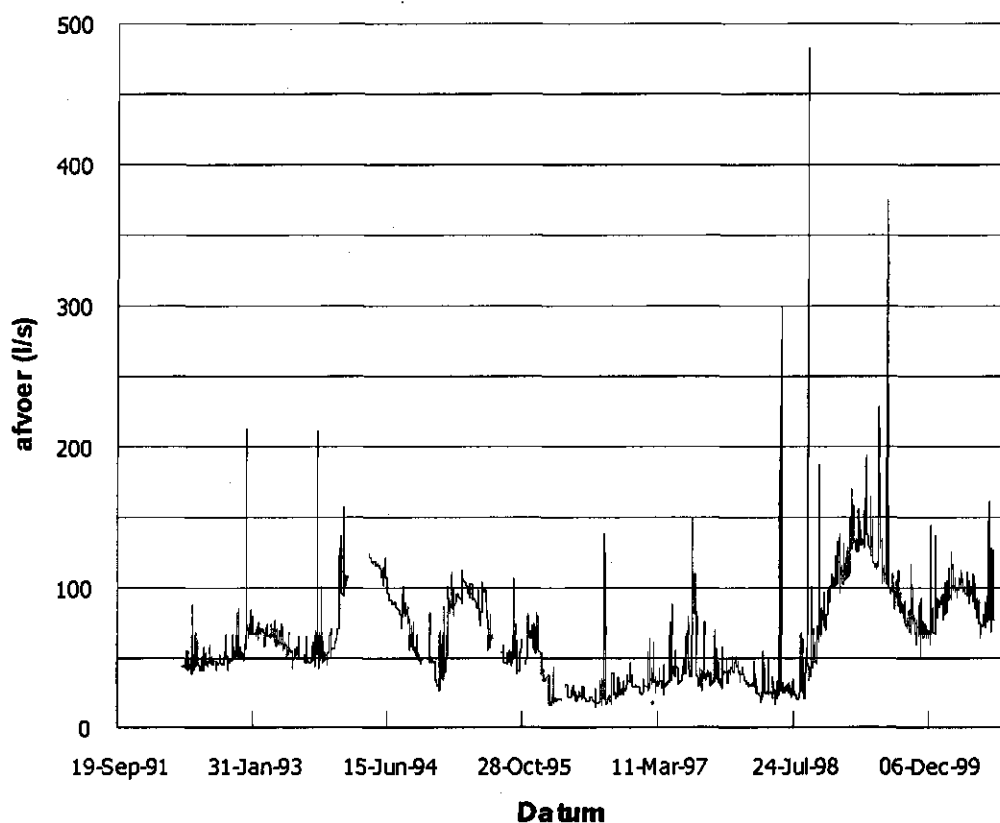
Tabel 1 Hydrologische jaarsommen van de neerslag en de grondwateraanvulling (mm) in het stroomgebied van de Noor.

Jaar	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	gem.
neerslag	750	929	880	530	756	734	1028	784	799
grondwateraanvulling	242	396	388	64	248	175	539	268	290

De grondwateraanvulling in hydrologisch jaar 1998 was maar liefst meer dan 8 maal groter dan die van 1995. De grote variatie in neerslagoverschot en daarmee grondwateraanvulling veroorzaakt een behoorlijk grote grondwaterstandsfluctuatie. Onder het plateau kan de variatie oplopen tot vele meters. Uiteindelijk voedt het grondwater de Sint-Brigida bron in Noorbeek en verder talloze kleinere bronnen en de kwelzone in het natuurgebied de Noorbeemden.

Afvoer

De resultaten van de afvoermetingen bij de Molenhoeve zijn, als dagsommen omgerekend naar liters per seconde, te zien in Figuur 5. In bijlage 1 is de afvoer als $\text{m}^3 \cdot \text{dag}^{-1}$ en als $\text{mm} \cdot \text{dag}^{-1}$ opgenomen. In bijlage 2 staan de afvoeren van jaar tot jaar.



Figuur 5 De gemiddelde dagafvoer van de Noor bij de Molenhoeve (M6)

De afvoer kenmerkt zich door een uitgesproken reactie op relatief langdurige natte en droge perioden. Met name de natte winters van de hydrologische jaren 1993, 1994, 1998 en 1999 laten een sterke toename van de afvoer zien. In het voorjaar van deze jaren lag de oppervlaktewater-afvoer op $100 \text{ l} \cdot \text{sec}^{-1}$ of hoger, terwijl deze in het droge winterhalfjaar 1995-1996 niet meer dan zo'n $30 \text{ l} \cdot \text{sec}^{-1}$ bedroeg. De afvoer kwam daarmee in laatstgenoemde periode redelijk overeen met de lage afvoer van begin jaren negentig.

Het piekerige verloop in de afvoer wordt veroorzaakt door oppervlakte-afvoer en heeft deels een kunstmatige oorzaak. De oppervlakte-afvoer vindt incidenteel plaats door de droge dalen, tijdens hoge neerslagintensiteiten. Het natte natuurterrein "De Noorbemmede" zal bij vrijwel elke bui een geringe hoeveelheid oppervlaktewater afvoer genereren. De waterstromen over de oppervlakte kunnen onder extreme omstandigheden aanleiding geven voor wateroverlast. Daarom zijn voorzieningen getroffen in de vorm van opvangbekkens in de droge dalen om deze overlast te voorkomen. Een deel van het gebied (zo'n 2%) wordt ingenomen door verhard

oppervlak, met name in het dorp Noorbeek. Bij grotere neerslaghoeveelheden wordt neerslagwater uit het riool in de Noor geloosd (riool-overstort). Onder natuurlijke omstandigheden zou dit neerslagwater minder snel tot afvoer zijn gekomen. In het volgende hoofdstuk zullen enkele fvoerpieken als voorbeeld worden getoond.

Uit bijlage 1 valt af te leiden dat de gemiddelde dagafvoer van de Noor varieert van 2500-12.000 m³·dag⁻¹. Als de afvoer wordt gerelateerd aan het totale topografische vanggebied van de Noor, dan varieert de afvoer van 0.25 tot 1.2 mm·dag⁻¹. Over lange perioden wijkt de afvoer af van de gemiddelde grondwateraanvulling (0.8 mm·dag⁻¹; tabel 1). Zeer waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door het niet samenvallen van de hydrologische en topografische waterscheiding, zoals dat met zekerheid het geval is in het westelijk deel van het stroomgebied. De grondwaterstand ligt daar beneden het beekniveau.

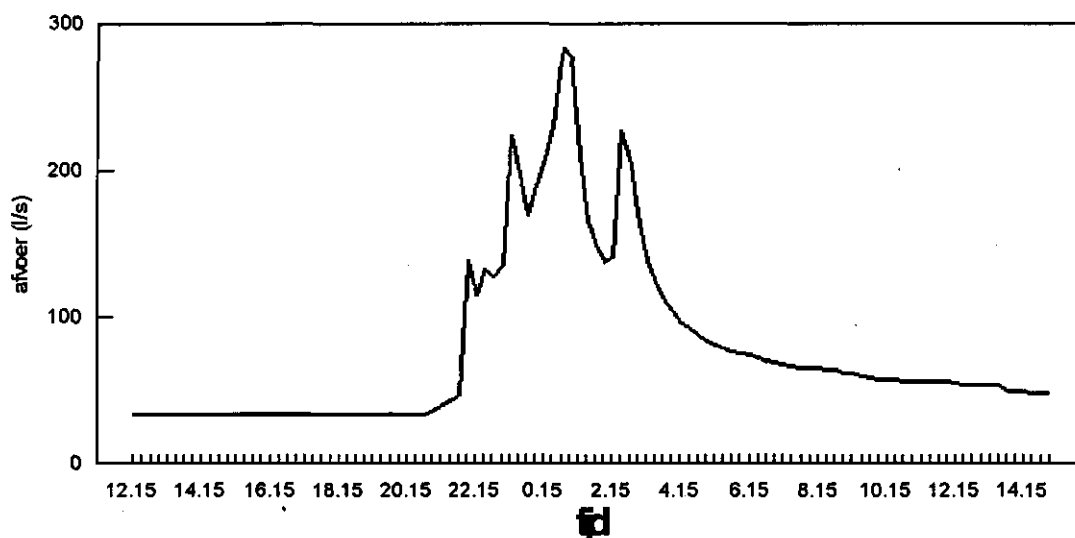
5. Piekafvoeren

Kalkstroomgebieden met diepe grondwaterspiegels, zoals het Noordal, kenmerken zich doorgaans door een sterk vertraagde en gedempte reactie op neerslag. De Noor beantwoordt in hoofdlijnen aan dit beeld. De afvoer van de Noor kan worden verdeeld in vier componenten, namelijk de bronafvoer, de diffuse drainage (kwelgebieden), de natuurlijke oppervlakte-afvoer en de kunstmatige oppervlakte-afvoer via de riooloverstort.

Het overgrote deel van de afvoer wordt ingenomen door de bronafvoer en de diffuse drainage, respectievelijk circa 60% en 40%. Tijdens piekneerslagen kan oppervlakte-afvoer optreden. Oppervlakte-afvoer ontstaat als in de natte Noorbeemden, op het verhard oppervlak en/of op de steile hellingen water over maaiveld tot afstroming komt. Tijdens hoge neerslag-intensiteiten kan dit verschijnsel zich plaatselijk voordoen. Een groot deel van het water dat over het maaiveld afstroomt, infiltreert echter daarna echter in lagergelegen delen. Het draagt dan niet bij aan afvoerpieken. In het stroomgebied van de Noor wordt de oppervlakte-afvoer gevormd door de afstroming over het verhard oppervlak van Bergenhuizen naar de wasplaats bij de Sint-Brigidabron, de riool-overstort bij Noorbeek en de afstroming in het natte natuurterrein. Daar bereikt het water wel de beek en kan dus voor afvoerpieken zorgen.

Piekafvoer september 1997

Om een idee te krijgen van de afvoerhoeveelheden onder extreme regen, is de reactie van de afvoer op de neerslag van 2 september 1997 uitgewerkt. Het resultaat daarvan is te zien in Figuur 6.



Figuur 6 De Noorafvoer tijdens een dag met een grote neerslaghoeveelheid (2 en 3 september 1997)

De dagen voorafgaand aan de neerslag van 2 september waren relatief droog. De afvoer van de Noor lag op het niveau van de basis-afvoer, getuige de constante afvoer van $35 \text{ l}\cdot\text{sec}^{-1}$ voorafgaand aan de afvoerpiek. Vervolgens is in korte tijd 33.9 mm

neerslag gevallen. De Noor reageerde op deze neerslag met een afvoerpiek waarbij het debiet opliep tot $280 \text{ l}\cdot\text{sec}^{-1}$. Het totale volume water dat werd afgevoerd boven de basisafvoer, bedroeg die dag z'n 4400 m^3 , wat neerkomt op $0,4 \text{ mm}$. Globaal 1% van een dergelijke grote neerslag komt dus versneld tot afvoer. De analyse van deze bui bevestigt het eerder gevormde beeld dat slechts kleine hoeveelheden van de neerslag snel tot afvoer komen.

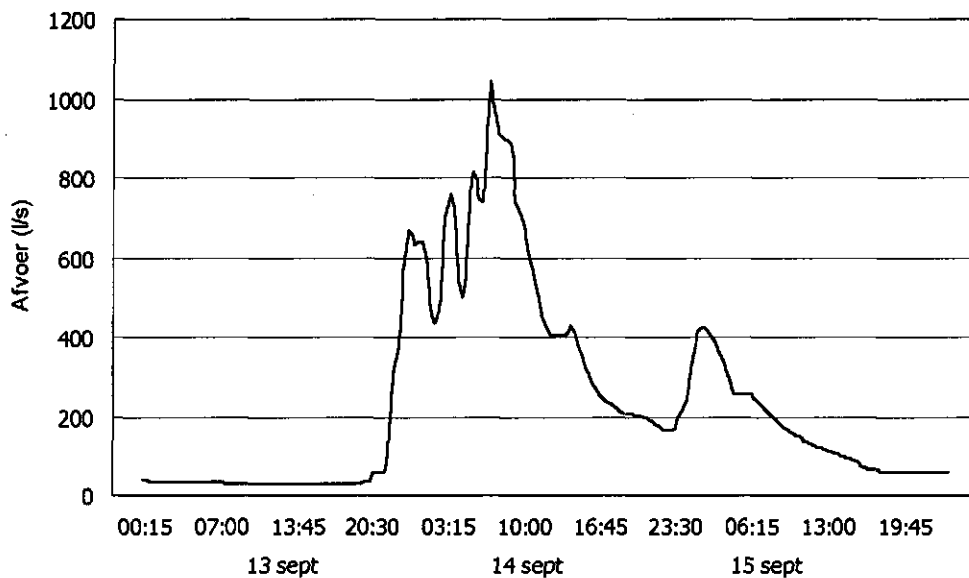
Piekafvoer september 1998

De reactie op de neerslag in september 1998 was nog extremer. De neerslag van die periode staat in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2 De neerslag midden september 1998

Datum	10	11	12	13	14	15	16	17
neerslag (mm)	1	5	18.5	7.5	67.8	28.3	3.6	5.3

Voor de extreme neerslag, dus voor 14 september, lag de beek-afvoer op het niveau van het basisdebiet ($35 \text{ l}\cdot\text{sec}^{-1}$). De neerslag gedurende de twee voorafgaande dagen leverde geen noemenswaardige verhoging van de afvoer op (Fig. 7), maar werd geborgen in het stroomgebied. De neerslag op 14 september was hoog (67.8 mm), met wisselende intensiteiten. Dit komt tot uiting in de afvoer van de Noor. Duidelijk herkenbaar is een grote afvoerpiek die is te verdelen in 4 deelpieken. Iedere deelpiek is hoger dan de voorgaande, doordat steeds minder buffercapaciteit in de toplaag en de vijvers beschikbaar is. Uiteindelijk werd een maximum groter dan $1 \text{ m}^3\cdot\text{sec}^{-1}$ gemeten. De neerslag van de daaropvolgende dag (15 september; 28.3 mm) haalde niet de hoeveelheid die in september 1997 werd gemeten (33.9 mm). Toch was de gemeten afvoer significant hoger ($> 400 \text{ l}\cdot\text{sec}^{-1}$).



Figuur 7 De Noor tijdens de extreme neerslag op 14 en 15 september 1998

De totale afvoer vanaf 13 september 22:15 uur tot aan 15 september 22:00 uur bedroeg maar liefst 59.500 m^3 . Uitgaande van een basisafvoer van $35 \text{ l}\cdot\text{sec}^{-1}$ zou zonder

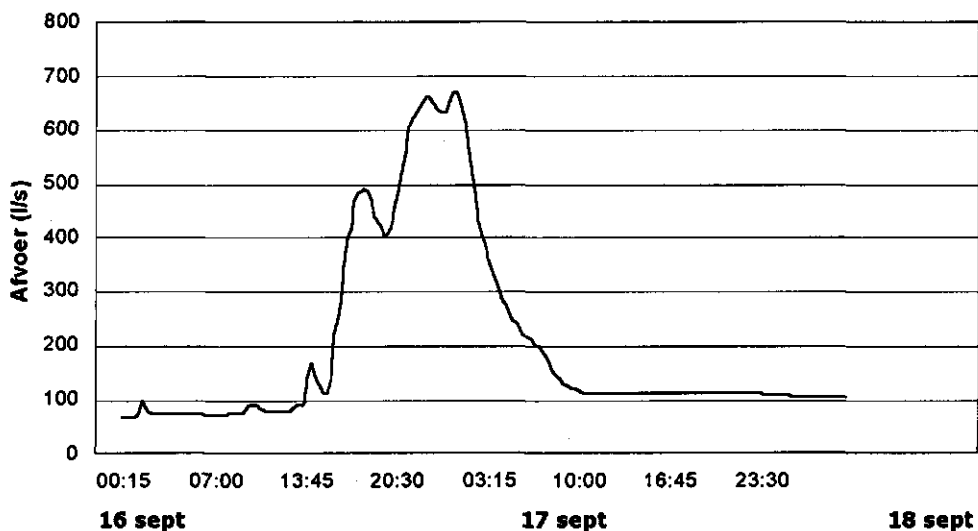
de extreme neerslag 7000 m³ afgevoerd worden. Het totale volume water dat werd afgevoerd boven de basisafvoer, bedroeg die twee dagen zo'n 52.500 m³. Dit komt neer op 5,0 mm, ofwel zo'n 5% van de neerslaghoeveelheid.

Piekafvoer september 2000

Ook in september 2000 kreeg het gebied een forse neerslag te verduren, zie Tabel 3.

Tabel 3 De neerslag midden september 2000

Datum	13	14	15	16	17	18	19	20
neerslag (mm)	0	0	0	9.2	64.8	3.7	0	0.2



Figuur 8 De Noor tijdens de extreme neerslag op 17 september 2000

Deze neerslaggebeurtenis ligt qua karakteristiek tussen die van 1997 en 1998 in. Ook toen lag de afvoerhoeveelheid op het niveau van basis-afvoer, weliswaar hoger dan de voorgaande jaren (75 l·sec⁻¹), zie Figuur 5. De intensiteit is beduidend hoger dan die van september 1997 (64.8 mm tegen 33.9 mm), maar vergelijkbaar met die van september 1998 (64.8 mm tegen 67.8 mm). Het neerslagpatroon in de dagen voorafgaand aan de piekneerslag en de dagen direct daarna is juist sterker gecorreleerd met de neerslag van september 1997.

Gedurende een etmaal (16 en 17 september) is 29.000 m³ afgevoerd. De basisafvoer over die periode bedroeg 7200 m³·dag. In totaal is dus zo'n 21.800 m³ versneld tot afvoer gekomen, ofwel 2,0 mm. Dit komt neer op circa 3% van de regen van 17 september. Tabel 4 geeft de kenmerken van de getoonde piekneerslagen nogmaals op een rijtje.

Tabel 4 Karakteristieken van enkele piekneerslagen en -afvoeren.

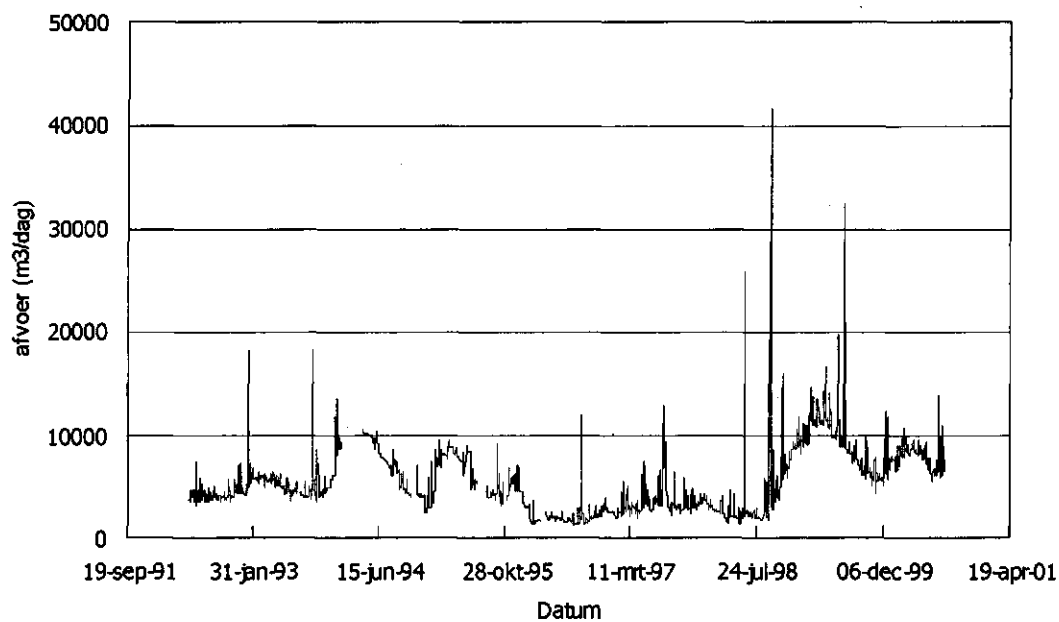
Jaar	1997	1998	2000
max. neerslag op 1 dag (mm)	33,9	67,8	64,8
voorafgaande dagen nat	nee	ja	nee
volgende dagen nat	nee	ja	nee
Basisafvoer (l-sec ⁻¹)	35	35	75
max. afvoer (l-sec ⁻¹)	280	1030	670
oppervlakte afvoer (m ³)	4.400	52.500	21.800
oppervlakte afvoer (mm)	0,4	5,0	2,0
oppervlakte afvoer in % van bui	1	5	3

Het hoge debiet tijdens een piekafvoer heeft een grote invloed op de eroderende werking van de beek, doordat hoge stroomsnelheden worden bereikt. De beek zal daardoor grote hoeveelheden sediment afvoeren, wat een versterkte insnijding tot gevoelig heeft. Het is niet bekend wat het aandeel is van deze erosie tijdens piekafvoeren ten opzichte van erosie tijdens basis-afvoer condities. Het vermoeden bestaat evenwel dat de erosie vooral tijdens de piekafvoeren plaatsvindt.

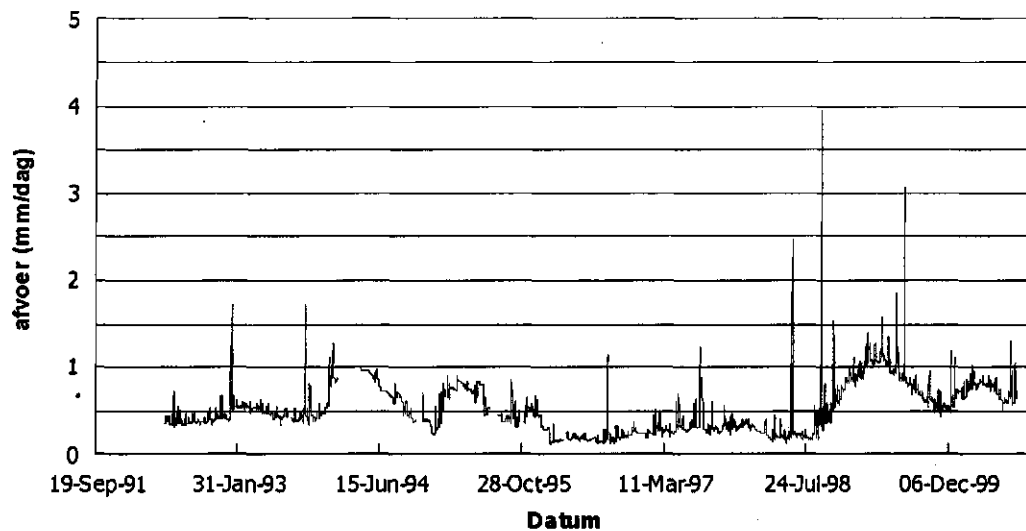
5. Conclusies

- De jaarlijkse grondwateraanvulling wordt gekenmerkt door een grote temporele variatie. Uitersten zijn de hydrologische jaren 1995 (64 mm) en 1998 (539 mm), met een gemiddelde van 290 mm over de jaren 1992-1999. De variatie heeft een duidelijke weerslag op de Noorafvoer.
- De gemiddelde dagafvoer varieerde van ca 30-500 l·sec⁻¹. Eerstgenoemde afvoer treedt op na droge winterhalfjaren (1994-1995) en de laatstgenoemde tijdens piekafvoeren.
- De afvoer van de Noor kan worden verdeeld in vier componenten, de bron-afvoer en de diffuse drainage, de oppervlakte-afvoer en water uit de riool-overstort.
- De basis-afvoer, die opgebouwd is uit bron-afvoer en diffuse drainage (kwelgebieden), neemt het overgrote deel van de afvoer voor zijn rekening (>99%).
- De oppervlakte-afvoer en de riool-overstort kunnen incidenteel een zeer sterke toename van de Noor-afvoer veroorzaken. Deze pieken zijn gesuperponeerd op de basis-afvoer van de Noor. Het debiet kan dan oplopen tot zo'n 1000 l·s⁻¹. Deze afvoerpieken leveren echter in absolute zin een bescheiden aandeel (tot zo'n 5%) in de afvoer van zelfs een grote hoeveelheid neerslag.
- De piek-afvoeren hebben, door de grote stroomsnelheden die dan worden bereikt, een grote erosieve kracht. Dit heeft een versterkte insnijding van de beek tot gevolg.

Bijlage 1 De afvoer van de Noor anders gezien

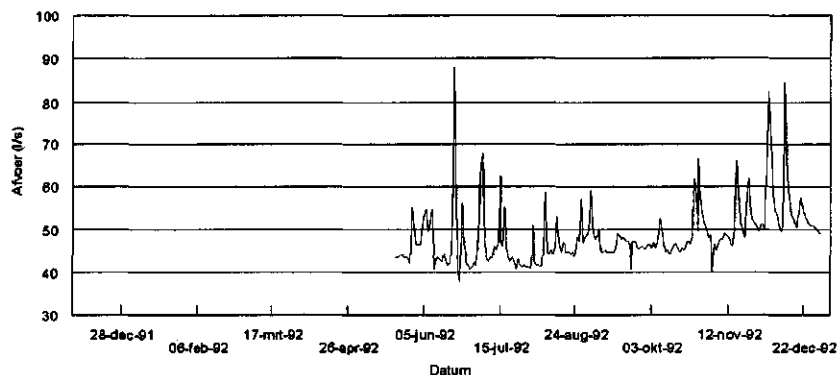


Figuur 9 De gemiddelde dagafvoer van de Noor in $\text{m}^3 \cdot \text{dag}^{-1}$

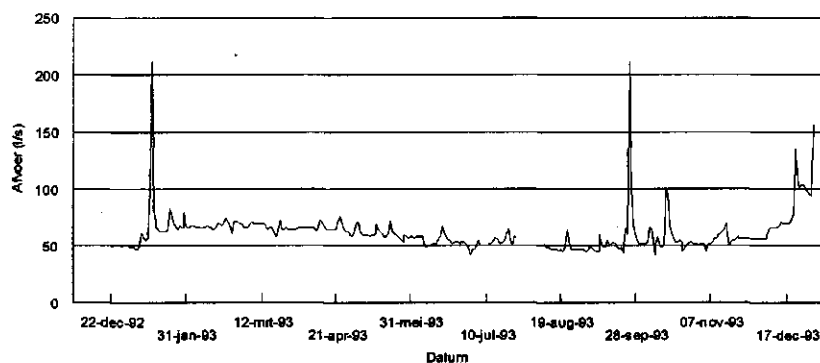


Bijlage 2 De afvoer van de Noor van jaar tot jaar

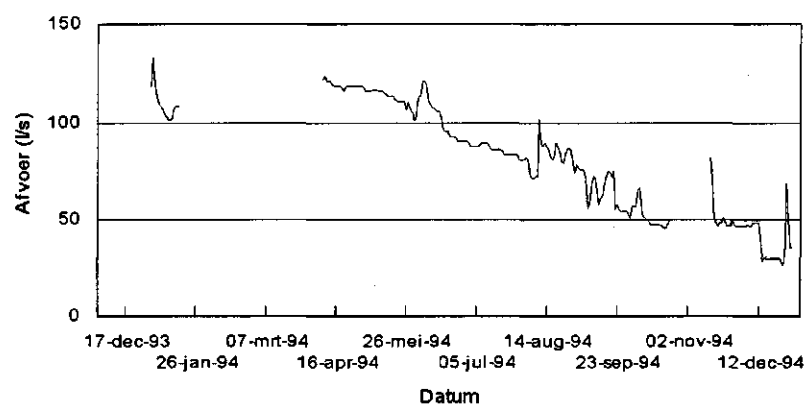
Hieronder staan de afvoeren van jaar tot jaar weergegeven. Er is voor gekozen om de verticale schaal te laten variëren door de jaren heen. Daarmee is de variatie binnen een jaar beter zichtbaar gemaakt.



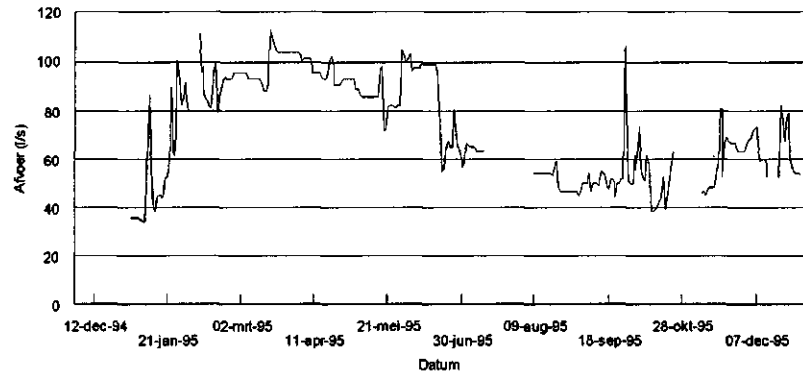
Figuur 11 De afvoer in 1992



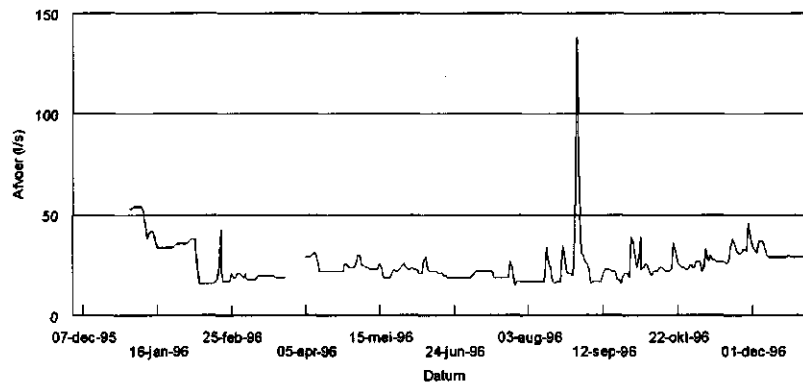
Figuur 12 De afvoer in 1993



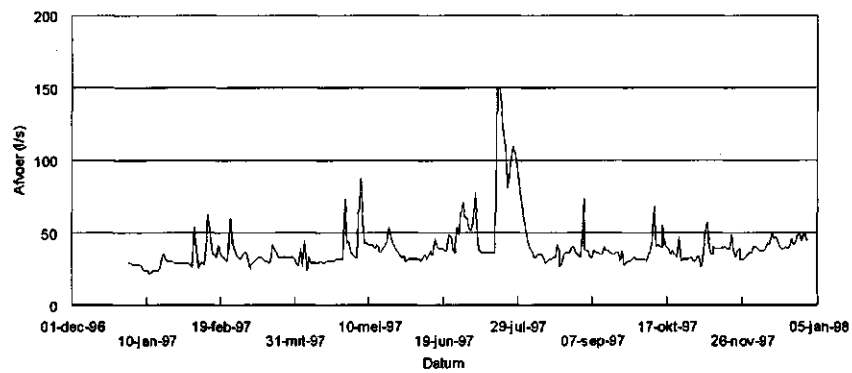
Figuur 13 De afvoer in 1994



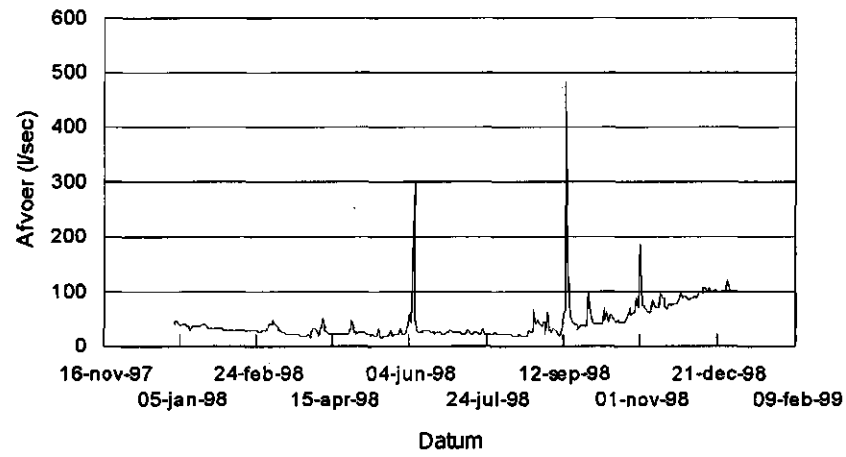
Figuur 14 De afvoer in 1995



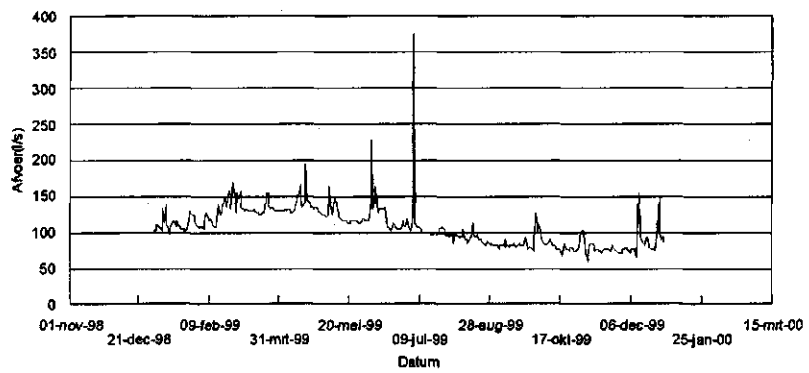
Figuur 16 De afvoer in 1996



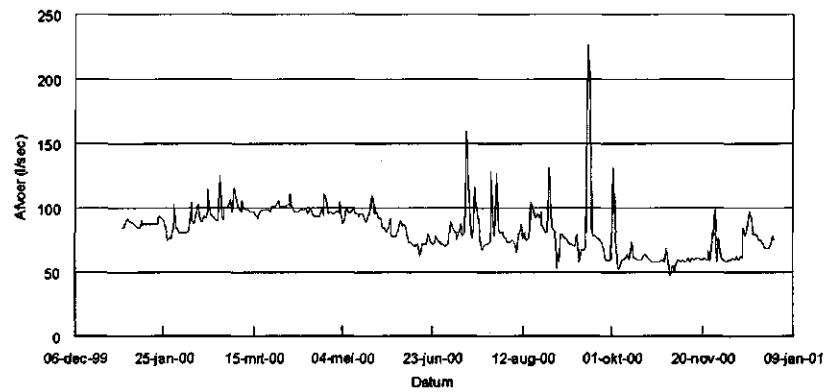
Figuur 17 De afvoer in 1997



Figuur 18 De afvoer in 1998



Figuur 19 De afvoer in 1999



Figuur 20 De afvoer in 2000

Bijlage 2 Aan de Noor gerelateerde publicaties en scripties

Publicaties waar meetgegevens van de Noor zijn gebruikt of die gerelateerd zijn aan het Nooronderzoek.

Lanen, H.A.J. van & B. van de Weerd (1993).

Groundwater flow from a Cretaceous Chalk Plateau: Impact of groundwater recharge and abstraction.

In: A. Hermann (Ed.), 2nd Int. Conf. on FRIEND, Flow Regimes from International Experimental and Network Data, Extended Abstracts. Landschaftsökologie und Umweltforschung, Heft 22, Braunschweig, pp. 49-52, and In: P. Seuna, A. Gustard, N.W. Arnell & G.A. Cole (Eds.), FRIEND, Flow Regimes from International Experimental and Network Data, IAHS Publication No. 221, pp. 87-94.

Lanen, H.A.J. van, B. Clausen & L. Kašpárek (1993).

Interaction between low flows and hydrogeology.

In: A. Gustard (Ed.), Flow Regimes from International Experimental and Network Data (FRIEND). Vol. I Hydrological Studies, Wallingford, pp. 21-56.

Lanen, H.A.J. van, B. van de Weerd, R. Dijkma, H.J. ten Dam & G. Bier (1995).
Hydrogeologie van het stroomgebied van de Noor en de effecten van grondwateronttrekkingen aan de westkant van het Plateau van Margraten. Basisrapport.

Rapport 57, Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen, 152 pg.

Lanen, H.A.J. van, R. Dijkma & B. van de Weerd (1995).

De effecten van grondwateronttrekkingen aan de westkant van het Plateau van Margraten op de hydrogeologie van het Noordal. Samenvattend rapport.

Rapport 58, Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen, 37 pg.

Lanen, H.A.J. van, M. Heijnen, T. De Jong & B. van de Weerd (1993).

Nitrate concentrations in the Gulp catchment: some spatial and temporal considerations.

Acta Geologica Hispanica 28 (2/3): 65-73 (published in 1996).

Lanen, H.A.J. van, R. Dijkma & B. van de Weerd (1996).

Impact of climate and groundwater abstraction on the hydrogeological system of a chalk system.

Abstract Conference on 'Prediction in Geology', 21-24 February 1996, Amsterdam. Terra Nostra, Schriften der Alfred-Wegener-Stiftung 96/1, pp. 33

Lanen, H.A.J. van, R. Dijkma & B. van de Weerd (1996).

Groundwater flow and nitrate concentrations in a small chalk catchment.

Abstract European Geophysical Society, Annales Geophysicae, Part II: Hydrology, Oceans, Atmosphere & Nonlinear Geophysics, Supplement II to Volume 14, pp. C 378.

Lanen, H.A.J. van, A.H. Weerts, T. Kroon & R. Dijkma (1996).

Estimation of groundwater recharge in areas with deep groundwater tables using transient groundwater flow modelling.

Proc. Int. Conf. on 'Calibration and Reliability of Groundwater Modelling', September 1996, Golden, USA, pp. 307-316.

Lanen, H.A.J. van (1996).

Groundwater monitoring and modelling studies: Netherlands' contribution to IHP. In: Symposium on Hydrological Research Proceedings, Report 96.1 Netherlands National Committee for IHP-OHP, pp. 19-28.

Lanen, H.A.J. van & H.F. Gertsen (1997).

Inventory of FRIEND Research Basins.

Report 97.1 Netherlands National Committee for IHP-OHP, De Bilt, 113 pg.

Querner, E.P., L.M. Tallaksen, L. Kašpárek & H.A.J. van Lanen (1997).

Impact of land-use, climate change and groundwater abstraction on streamflow droughts basin using physically-based models.

In: A. Gustard *et al.* (Eds.), FRIEND'97-Regional Hydrology: Concepts and Models for Sustainable Water Resource Management. IAHS Publ. No. 246, pp. 171-179.

Novický, O., A. Gustard, S. Demuth, L. Tallaksen, H. van Lanen, B. Clausen, L. Kašpárek, P. Miklánek, O. Majercáková, M. Fendeková, E. Kupczyk, L. Radczuk & W. Czamara (1997).

Low Flows.

In: A. Gustard & G. Cole (Eds.). *Advances in Regional Hydrology through East-European Cooperation*, Institute of Hydrology, Wallingford, UK, pp. 9-19.

Gustard, A., O. Novický, S. Demuth, L. Tallaksen, H. van Lanen, B. Clausen, L. Kašpárek, P. Miklánek, O. Majercáková, M. Fendeková, E. Kupczyk, L. Radczuk & W. Czamara (1997).

Low Flows and Droughts in Northern Europe. In: G. Oberlin & E. Desbos (Eds.), FRIEND Flow Regimes from International Experimental and Network Data, Third Report: 1994-1997, Cemagref Lyon, France, pp. 132-148

Dijkma, R., H.A.J. van Lanen & B. van de Weerd (1997).

Water pathways and streamflow generation in the Noor catchment.

Proc. 6th ERB Conference, Strasbourg (France), 24-26 September 1996. D. Viville & I.G. Littlewood (Eds.), *Ecohydrological processes in small basins*. IHP-V Technical Documents in Hydrology No. 14, UNESCO Paris, pp. 105-109.

Dijkma, R. & H.A.J. van Lanen (1998).

Monitoring and modelling of springflow in the Noor catchment (The Netherlands).

Proc. Int. conf. on Catchment Hydrological and Biochemical Processes in Changing Environment (ERB), (UNESCO), Liblice, Czech Republic, pp 31-36

Lanen, H.A.J. van & R Dijkma (1999).

Water flow and nitrate transport to a groundwater-fed stream in the Belgian-Dutch chalk region.

J. of Hydrological Processes 13 (1999) 295-307

Lanen, H.A.J. van, S. Demuth, A. Gustard & L. Tallaksen (1999).
Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe (ARIDE).
University of Freiburg, Freiburg, Germany, 142 pp.

Lanen, H.A.J. van & E. Peters (2000).
Definition, effects and assessment of groundwater droughts.
In: Drought and Drought Mitigation in Europe. Advances in Natural and technological Hazards Research; J.V. Vogt and F. Somna (eds.), Kluwer Academic Publishers, The Netherlands 49-61.

Dijkema R., H.A.J. van Lanen & M. Klonowski (2000).
Groundwater flow and nitrate migration: future developments.
Proc. ERB conf. on Monitoring and Modelling Catchment Water Quantity and Quality, Gent, Belgium, pp. 141-145.

Peters E.P., H.A.J. van Lanen, J. Alvarez-Rodriguez, M. Zaidman, A. Gustard & R.B. Bradford (2001).
Droughts derived from groundwater recharge.
In: Demuth, S.D. & K. Stahl (Eds.), Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe (ARIDE), Freiburg, Germany, pp. 26-34.

Peters E.P., H.A.J. van Lanen, R.B. Bradford, J. Cruces & L. Martinez Cortina (2001).
Droughts derived from groundwater heads and groundwater discharge.
In: Demuth, S.D. & K. Stahl (Eds.), Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe (ARIDE), Freiburg, Germany, pp. 35-39.

Peters E.P. and H.A.J. van Lanen (2001).
Environmental impact.
In: Demuth, S.D. & K. Stahl (Eds.), Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe (ARIDE), Freiburg, Germany, pp. 40-45.

Scripties na maart 1995

Aanvulling op het overzicht van de scripties die betrekking hebben op hydrogeologisch onderzoek in het Noordal in de periode 1991-1994, zoals weergegeven in bijlage XX van het Rapport. "Hydrogeologie van stroomgebied van de Noor en de effecten van grondwateronttrekkingen aan de westrand van het Plateau van Margraten; Basisrapport", maart 1995.

S. Smets, 1995. *Vergelijking van de verzadigde grondwaterstromingspakketten Modflow en Microfem (stroomgebied van de Noor)*. Scriptie HG151, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.

J. Kroon, 1995. *Nitraat in het stroomgebied van de Noor. Ruimtelijke verspreiding van de concentratie in het grond- en oppervlaktewater*. Scriptie HG153, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.

- A.J. Ellen & E.J. Gerritse, 1996. *Hydrogeologie van het benedenstroomse deel van het Voerdal. Een verkennend grondwaterstromingsmodel met MODFLOW*. Scriptie HG155, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.
- E Hermans & S. Rienks, 1996. *Ruimtelijke en temporele variatie van nitraat in het stroomgebied van de Noor*. Scriptie HG157, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.
- S.A.H. Gloudemans & W.A. Rienks, 1996. *De Poel als Bron. Hydrogeologisch onderzoek in natuurgebied "De Noorbeemden" in Zuid-Limburg*. Scriptie HG161, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.
- J.C.H.M. Kessels, 1997. *Stijghoogteverdeling in enkele dwarsdoorsneden in het stroomgebied van de Noor*. Scriptie HG169, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.
- F.B.T.M. Kortstee, 1997. *Ruimtelijke verspreiding en temporele variatie van nitraat. Een onderzoek in het stroomgebied van de Noor*. Scriptie HG170, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.
- M. Klonowski, 1997. *Waterflow and Migration of Nitrate in the Chalk Catchment of the Noor Brook and Impact on the Noorbeemden Nature Reserve*. Scriptie HG171, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.
- M.V.M. te Vaarwerk, 1997. *Ruimtelijke en temporele grondwateraanvulling in het stroomgebied van de Noor. Een analyse met verschillende onverzadigde en verzadigde grondwatermodellen*. Scriptie HG172, Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.
- H.M.G. Mulder, 1998. *Een verkennende studie naar het afvoerregime van de St. Brigidabron. Een onderzoek naar de factoren die de afvoer van de St. Brigidabron bepalen*. Scriptie HG173, Sectie Waterhuishouding, Wageningen Universiteit.
- E. Peters, 1998. *Simulatie van de grondwaterstroming in het stroomgebied van de Noor, gebruikmakend van de automatische parameterschattingsmethode PEST*. Scriptie HG175, Sectie Waterhuishouding, Wageningen Universiteit.
- A. Fermont & J.A. Jung, 1998. *Relatie tussen waterhuishouding en verdroging in het natte dal van de Noor. Een studie naar de mogelijkheden van beekherstellende maatregelen*. Scriptie HG176, Sectie Waterhuishouding, Wageningen Universiteit.
- J. Kordik, 1998. *Waterflow and nitrate transport in the Belgian-Dutch chalk region. Exploration of consequences to the environment for the Noor brook catchment*. Scriptie HG178, Sectie Waterhuishouding, Wageningen Universiteit.

A.J. Teuling, 2000. *Een studie naar de afvoercharacteristieken van de Sint-Brigidabron en de invloed van tektoniek op de hydrogeologie van het Nederlandse deel van het stroomgebied van de Noor met behulp van MODFLOW*. Scriptie HG187, Sectie Waterhuishouding, Wageningen Universiteit.