
De droogte van 2003 in Nederland

E. Peters

Inleiding

Zomer 2003 in Europa: meer dan 30.000 doden, schade voor de landbouw alleen al meer dan 12 miljard Euro en uitgestrekte bosbranden. Deze desastreuze gebeurtenissen waren het gevolg van een combinatie van factoren, namelijk extreme hitte en droogte. Van de dodelijke slachtoffers viel het merendeel in Frankrijk (ongeveer 15.000 (CRED, 2004)). De schatting van het aantal slachtoffers voor Nederland varieert van 1.000 tot 1.400 (CRED, 2004; Fischer e.a. 2004). Overigens lijkt niet alleen de hitte, maar ook luchtvervuiling hieraan een duidelijke bijdrage geleverd te hebben (400 tot 600 personen in Nederland volgens Fischer e.a. (2004)). Ook wat betreft de landbouwschade kwam Nederland er goed vanaf. Waar landen als Frankrijk en Italië een schade hadden van 4 à 5 miljard Euro (COPA-COGECA, 2003), bleef de geschatte opbrengstderiving in Nederland beperkt tot een kleine 1 miljard Euro (Oosterbaan, 2004), waarvan het grootste deel is betaald door de consument via hogere prijzen.

Hoewel Nederland relatief geringe schade heeft ondervonden van de droogte, zorgde die toch voor de nodige commotie, waarschijnlijk vanwege de extreme hitte, de dijkafschuiving in Wilnis en de discussie over het inlaten van zilt water. In dit artikel wordt de droogte in 2003 in Nederland besproken in drie delen. In het eerste deel wordt het fenomeen droogte in het algemeen besproken. Daarna volgt een overzicht van de neerslag, verdamping, afvoer en grondwaterstanden in Nederland gedurende 2003. Echter, neerslag, afvoer en grondwaterstanden alleen vertellen maar een deel van het verhaal. De effecten die de tekorten in neerslag en afvoer en de lage grondwaterstanden opleveren zijn zeker zo belangrijk. Dit wordt besproken in het laatste deel.

Wat is een droogte?

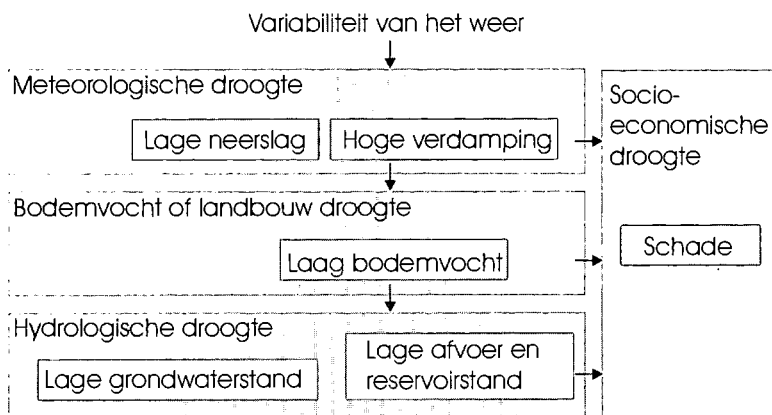
Hoewel de meeste mensen intuïtief een goed idee hebben van wat een droogte is, is het moeilijk om droogte goed te definiëren. Ofwel de definitie dekt niet alle aspecten van droogte, ofwel de definitie verzandt in vaagheid. Tot nu toe is het eigenlijk nog niet gelukt om een goede, algemene definitie van droogte te geven (Beran en Rodier, 1985; Wilhite, 1999; Hisdal e.a., 2004). Wel kan aangegeven worden wat droogte *niet* is. Allereerst is het geen trend zoals verdroging of desertificatie, maar is het een temporeel begrensd fenomeen met een begin en einde. Bovendien moet een droogte duidelijk onderscheiden worden van het klimaat. Klimaat kan bijvoorbeeld droog of aride zijn, maar droogtes kunnen in elk

E. Peters was werkzaam voor de Vakgroep Waterhuishouding, Wageningen Universiteit. Huidig adres: Looierstraat 17 bis, 3582 AP Utrecht, e-mail: lies_peters@wanadoo.nl.

klimaat voorkomen. Bijvoorbeeld in droge streken in Californië spreekt men pas van een droogte als er meerdere jaren zonder neerslag zijn (Clark, 1993). In natte streken als Noorwegen echter kan een droogte optreden, die zich met name manifesteert in geringe voorraden in de stuwmeren, terwijl er toch (voor Nederlandse begrippen veel) neerslag valt.

Een belangrijke keuze voor de definitie van droogte is of droogte gebruikt moet worden voor situaties die absoluut droog zijn of droog zijn ten opzichte van de normale seizoenssituatie. Zo zijn zomers in Nederland droger dan winters, met name door de veel hogere verdamping. Bezien binnen een jaar treedt dus elke zomer een droogte op: zomerdroogte. Een zomerdroogte levert echter pas een echte droogte (in de zin van een extreme gebeurtenis) als die droger is dan een normale zomer. Een minder natte winter dan normaal kan misschien wel een extreme of uitzonderlijke gebeurtenis zijn, maar wordt toch niet altijd een droogte genoemd. Soms spreekt men echter wel van een winterdroogte. Echter die term wordt ook gebruikt voor droogtes in met name de rivierafvoer die veroorzaakt zijn doordat water is vastgelegd in de vorm van sneeuw en ijs.

In dit artikel zal de term droogte gebruikt worden om een tijdelijke situatie te beschrijven die droger is dan de normale langjarig-gemiddelde situatie en die veroorzaakt is door de variabiliteit van de neerslag en evapotranspiratie. Verder zal ik droogtes benoemen naar dat deel van het hydrologisch systeem waarin ze voorkomen (figuur 1). Al deze typen droogtes kunnen verschillende gevolgen hebben. Zo hebben meteorologische droogtes grote invloed op bosbranden, terwijl bodemvochtdroogtes schade in de landbouw en natte ecosystemen veroorzaken. Hydrologische droogtes kunnen een heel scala aan gevolgen hebben zoals bijvoorbeeld verzilting, schade voor binnenvaart en droogvallen van waterwinputten in het grondwater.



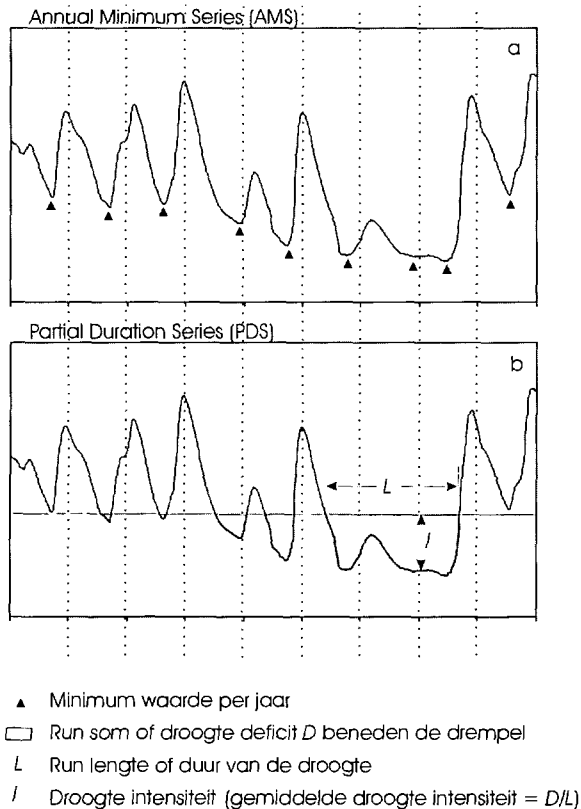
Figuur 1: Overzicht van de naamgeving van droogtes.

Naast de conceptuele definitie van een droogte die hierboven gegeven is, is vaak ook nog een definitie nodig om individuele droogtes te selecteren uit een tijdreeks van een relevante hydrologische variabele, zoals bijvoorbeeld afvoer. De variatie in dit soort definities is enorm en de definitie kan sterk afhangen van de variabele waarin men geïnteresseerd is. Het voert te ver om hierop in detail in te gaan. Voor een recent overzicht zie Hisdal en Tallaksen (2000) of Hisdal e.a. (2004). De definitie van de droogte kan van groot belang zijn voor het schatten van herhalingscycli of overschrijdingskansen (zie kader). Hieronder

volgt een kort overzicht, beginnend met een generieke definitie van droogtes en daarna een bespreking voor individuele variabelen.

Algemene definitie van droogtes in een tijdserie

Er zijn twee basis methoden om droogtes in een tijdreeks te definiëren. Bij de eerste methode wordt per periode (vaak een jaar) het minimum bepaald (figuur 2a). Deze methode wordt Block Maxima (BM) genoemd. Als de periode 1 jaar is en dan spreekt men van een Annual Minimum Series (AMS). Bij de tweede methode wordt aangenomen dat zodra de afvoer beneden een van tevoren bepaalde drempel komt, er sprake is van een droogte (figuur 2b). Dit heet de Partial Duration Series (PDS) en is gebaseerd op de run-theorie (Hisdal e.a., 2004). De drempel in deze methode kan constant zijn zoals in figuur 2b of variëren gedurende het jaar, om rekening te houden met het verloop van de seizoenen. Deze twee methoden worden ook vaak gecombineerd door eerst de PDS te bepalen en dan per jaar het grootste deficit te selecteren.



Figuur 2: Illustratie van de definitie van droogte met a) Annual Minimum Series en b) Partial Duration Series.

Meteorologische droogte

Een veelgebruikte definitie voor een meteorologische droogte is een bepaald aantal dagen waarin de neerslag beneden een gegeven drempel blijft. Dergelijke definities zijn zeer lokaal geldig. Een meer generieke definitie is de SPI (Standardised Precipitation Index) waar de overschrijdingskansen van de neerslaghoeveelheden ten opzicht van normaal bijgehouden worden op verschillende tijdschalen (McKee e.a., 1993). In Nederland is het gebruikelijk om het doorlopend potentieel neerslagtekort (in mm) dat opgebouwd wordt vanaf 1 april als maat voor de meteorologische droogte te gebruiken. Het neerslagtekort wordt berekend als het cumulatieve verschil tussen neerslag en referentiegewasverdamming (potentiële verdamping van voldoende water voorzien kort gras) in de periode 1 april tot 1 oktober.

Bodemvochtdroogte / landbouwdroogte

Bodemvochtdroogtes worden over het algemeen geanalyseerd via samengestelde indices die neerslag en verdamping meenemen via een waterbalans. De meest bekende hiervan is ongetwijfeld Palmer's drought index (Heim, 2002). Deze definities lijken op het in Nederland gebruikelijke doorlopend neerslagtekort. Recentelijk worden ook AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) satellietdata succesvol gebruikt om de 'gezondheid' van vegetatie via de temperatuur te meten (Kogan, 2002) en daarmee indirect de status van het bodemvocht af te leiden.

Hydrologische droogte: afvoer

Voor afvoeren worden beide generieke methoden (BM en PDS, figuur 2) vaak gebruikt. Om het effect van snelle variaties te verminderen wordt in plaats van het minimum van de daggemiddelde afvoer, vaak het minimum van een voortschrijdend gemiddelde van meerdere dagen (bijvoorbeeld 7 of 30) gebruikt. In Nederland wordt de droogte in de afvoer vaak gedefinieerd als het totale deficit beneden een drempel (1800 m³/s voor de Rijn) gedurende de periode 1 april tot 1 oktober (Beersma en Buishand, ingestuurd) omdat dit voor de landbouw de meest belangrijke periode is. Deze definitie wordt onder andere in de Droogtestudie gebruikt, een studie naar de effecten en noodzakelijke maatregelen wat betreft droogte in Nederland die gecoördineerd wordt door RIZA (www.droogtestudie.nl).

Hydrologische droogte: grondwaterstanden

Grondwaterstanden worden veel minder vaak gebruikt voor droogteanalyses dan afvoer. De meest gebruikelijke manier om de droogtesituatie van grondwater te bepalen is door de gemeten grondwaterstand te vergelijken met eerder gemeten waarden van dezelfde periode (zie voorbeelden figuur 8). Voorbeelden hiervan zijn te vinden op de website van TNO onder actuele grondwaterstanden in het grondwaterportaal, voor de provincie Gelderland bij grondwaterstand.nl, voor de VS en het Verenigd Koninkrijk op de droughtwatch webpagina's van respectievelijk USGS en CEH. De generieke droogte-definities kunnen in

principe ook gebruikt worden voor de grondwaterstand. Daarbij zijn echter wel een paar kanttekeningen te plaatsen. In langzaam reagerende grondwatersystemen is het aan te bevelen om de periode van de BM-methode langer dan 1 jaar te nemen. Verder is de grondwaterstand een toestandsvariabele, met als gevolg dat het deficit beneden een drempel niet geïnterpreteerd kan worden als een volume. Een derde punt van aandacht is de vergelijking van droogtedeficiten op verschillende locaties moeilijk is, door de lokale omstandigheden zoals grondwaterstroming en menselijke beïnvloeding. Meer informatie over de definitie van droogte in grondwater is te vinden in Peters (2003) en Peters e.a. (ingestuurd).

Schatting van herhalingsstijden

De herhalingsstijd van een droogte is de tijdsperiode waarin *gemiddeld* precies 1 droogte van een die omvang of ernstiger optreedt (Tallaksen e.a., 2004). De herhalingsstijd T van een droogte met omvang x wordt berekend met:

$$T = \frac{1}{\lambda[1 - H(x)]}$$

waarbij het gemiddelde aantal droogtes per jaar en $H(x) = P(X \leq x)$. Deze vergelijking geldt voor maximale waarden, bijvoorbeeld deficiten. Voor minima moet $H(x)$ in plaats van $(1 - H(x))$ gebruikt worden. Indien kan worden aangenomen dat de droogtes onafhankelijk zijn, kan $H(x)$ geschat worden uit de rang $r(x)$ van de in afnemende grootte gesorteerde droogtes. In dit artikel heb ik hiervoor gebruikt gemaakt van de Gringorten-formule, waarbij de overschrijdingskansen berekend worden met (Tallaksen e.a., 2004):

$$1 - H(x) = \frac{r(x) - 0.44}{n + 1 - 0.88}$$

waar n het aantal droogtes in de meetreeks is. In de literatuur worden vele andere mogelijkheden gegeven om $H(x)$ te benaderen (Stedinger e.a., 1993). Met name voor de grote herhalingsstijden heeft deze keuze veel invloed op de uiteindelijke herhalingsstijden.

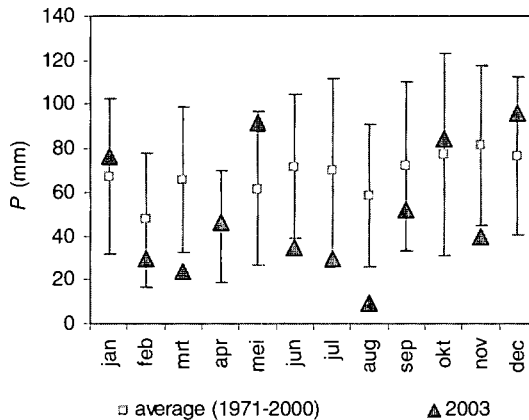
Om herhalingsstijden te schatten voor willekeurige waarden, is het gebruikelijk om een kansverdeling te fitten door de gemeten waarden. In het vervolg van dit artikel zijn hiervan meerdere voorbeelden gegeven. Voor de minima in de afvoer van de Rijn en de Maas is de Weibull-verdeling gebruikt, omdat deze een ondergrens heeft (Tallaksen e.a., 2004). Voor grondwaterstanden is de Gumbel-verdeling gebruikt. Voor de droogte-deficiten is zowel de Generalised Pareto-verdeling gebruikt, nadat de kleine droogtes via censoring verwijderd waren.

De parameters van de Gumbel-verdeling zijn met de Maximum Likelihood methode geschat (Tallaksen e.a., 2004). De andere verdelingen zijn op het oog gefit. Alle verdelingen zijn geplot op Gumbel waarschijnlijkheidspapier, zodat droogtes die volgens de Gumbel-verdeling verdeeld zijn, een rechte lijn opleveren.

Droogte in neerslag, afvoer en grondwaterstand

Neerslag en verdamping

Figuur 3 geeft de maandelijkse neerslag in De Bilt. Hierin is te zien dat de maanden maart, juni, juli, augustus en november in de Bilt relatief droog waren, mei daarentegen was tamelijk nat. Er waren wel duidelijke variaties binnen Nederland. Het westen van het land was droger dan het oosten.

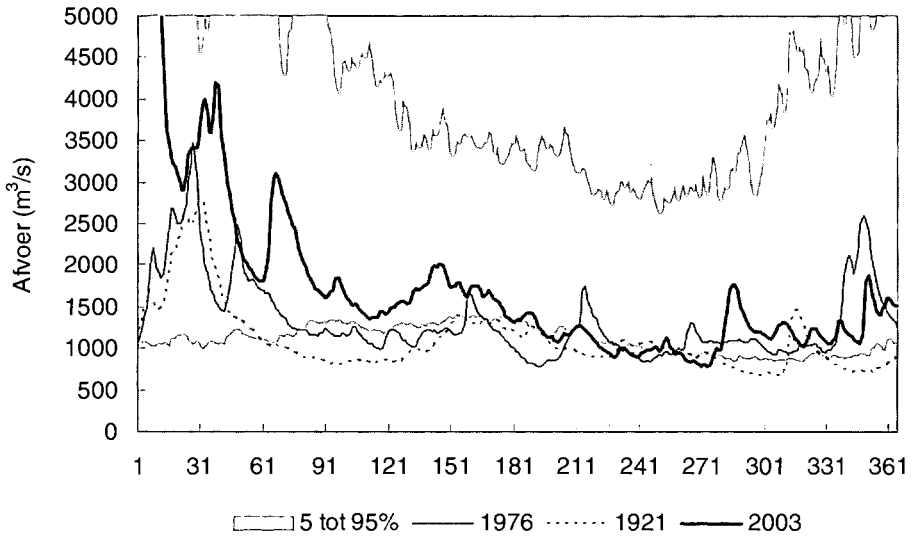


Figuur 3: Gemiddelde \pm 1 standaarddeviatie van de maandneerslag P bij De Bilt over de periode 1971-2000 en de maandwaarden van 2003.

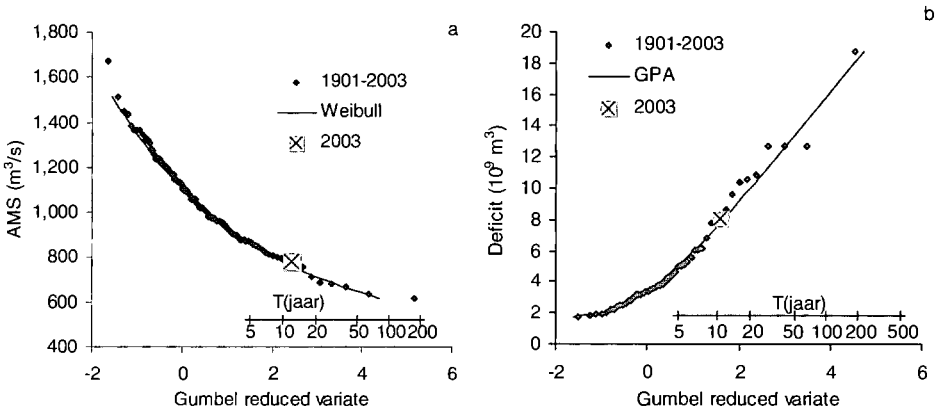
Het maximale neerslagtekort van 2003 was 230 mm (V&W, 2004). Aan de hand van de kansverdeling van het neerslagtekort in Beersma e.a. (2004) kan de herhalingstijd van het neerslagtekort van 2003 geschat worden op ongeveer 10 jaar. Voor de Droogtestudie (Beersma en Buishand, ingestuurd) is de herhalingstijd van de droogte in het neerslagtekort in combinatie met het deficit van 1 april tot 1 oktober in de afvoer van de Rijn bij Lobith berekend. Deze was 12 à 13 jaar. Overigens treedt de minimale afvoer op de Rijn vaak later in het jaar op dan het maximum van het neerslagtekort.

Afvoer Rijn en Maas

De minimale daggemiddelde afvoer van de Rijn bij Lobith was $788 \text{ m}^3/\text{s}$ (figuur 4) wat overeen komt met een herhalingstijd van ongeveer 11 jaar op basis van data van 1901 tot 2003 (Figuur 5a). Het aantal dagen dat de afvoer beneden de kritische grens van $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ kwam was 48 (De Wit, 2003). In het extreem droge jaar 1921 was dat 202 dagen. Het is overigens niet goed bekend in hoeverre het totaal aan veranderingen in het stroomgebied van de Rijn over de afgelopen eeuw (stuwmeren, wateronttrekkingen) de minimale afvoer hebben beïnvloed. De herhalingstijd van het droogtedeficit beneden een drempel zoals in figuur 2b is ook ongeveer 11 jaar (figuur 5b). Als drempel is de afvoer die 70% van de tijd overschreden wordt (Q_{70}) gebruikt. Om het aantal zeer kleine droogtes en de afhankelijkheid tussen de droogtes te verminderen worden de droogtes bepaald met een Moving Aver-



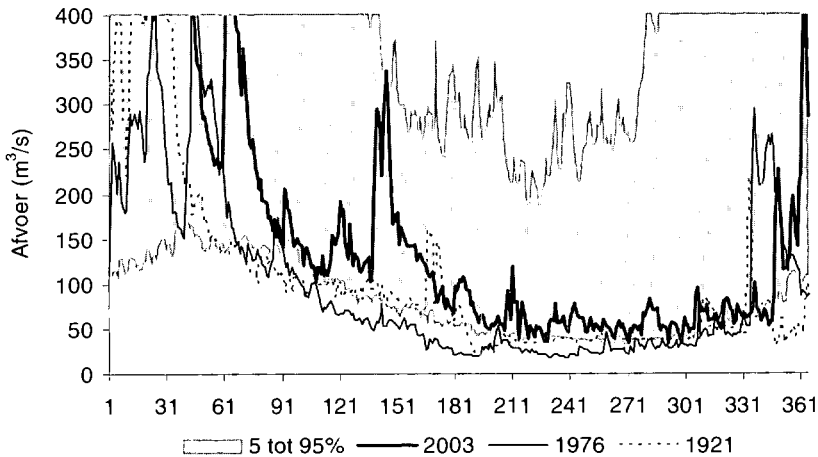
Figuur 4: Gemiddelde verloop van de afvoer van de Rijn bij Lobith (1901-2003) en de afvoer in een aantal droge jaren, waaronder 2003.



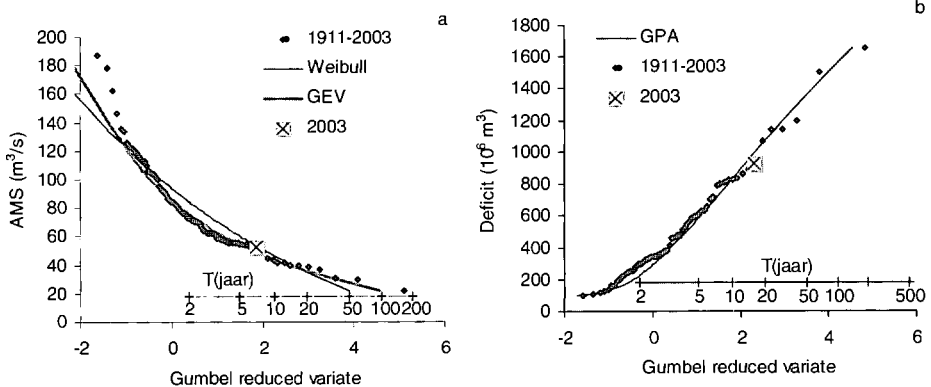
Figuur 5: a) Geordende jaarlijkse minimum waarden (AMS, 1901-2003) en Weibull-verdeling en **b)** droogte-deficiten (drempel Q_{70}) en de Generalised Pareto-verdeling (GPA) voor de afvoer van de Rijn bij Lobith.

age van 30 dagen (MA_{30}). De in de droogtestudie gebruikte definitie van afvoer deficit geeft voor 2003 een gemiddelde herhalingsstijd van ongeveer 22 jaar (Beersma e.a., 2004).

Hoewel de afvoer niet extreem laag was, gold dat wel voor de waterstand. Eind september werd in de Rijn bij Lobith de laagste waterstand ooit gemeten; 6,91 m +NAP. Dit record geeft echter een vertekend beeld. De rivierbodembij Lobith is de afgelopen decennia gedaald met zo'n twee à drie centimeter per jaar. Deze daling wordt veroorzaakt door erosie welke wordt versterkt door het normaliseren van de rivier gedurende de afgelopen eeuw (De Wit, 2003). Voor sommige gebieden (bijvoorbeeld de waterschappen Groot Sal land en Rivierenland) brachten ook die lage waterstanden problemen met zich



Figuur 6: Gemiddelde verloop van de afvoer van de Maas bij Monsin¹ (1911-2003) en de afvoer in een aantal droge jaren, waaronder 2003 (voorlopige data).



Figuur 7: a) Geordende jaarlijkse minimum waarden (maandgemiddelden) AMS (1911-2003) en Weibull- en GEV-verdeling en b) droogte deficiten (drempel Q_{TD}) en de Generalised Pareto-verdeling (GPA) voor de afvoer van de Maas bij Monsin.

mee (Oosterbaan, 2004).

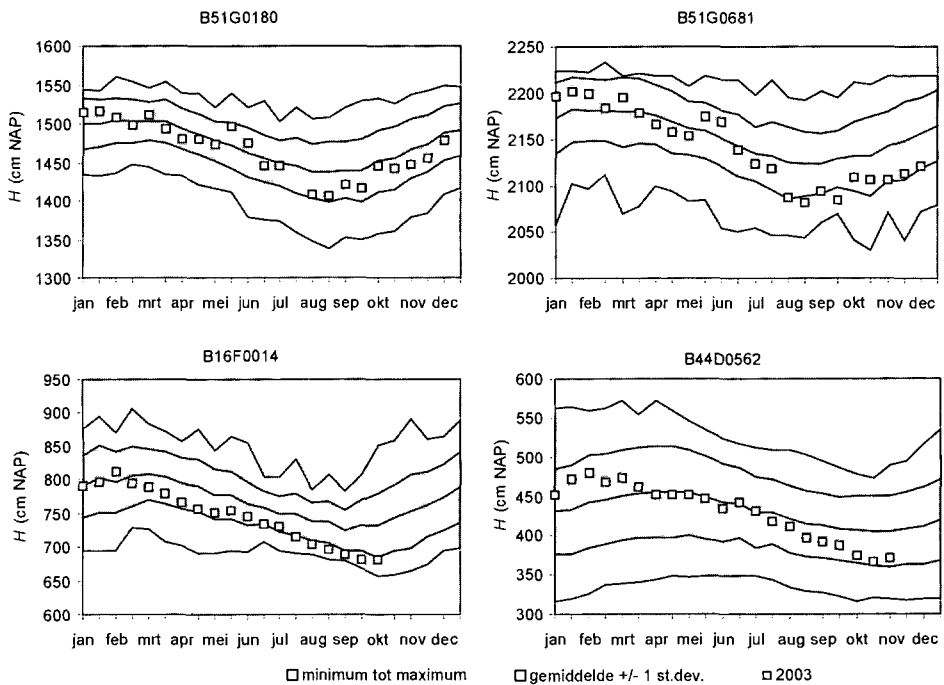
De (maandgemiddelde) minimale afvoer van de Maas (bij Monsin) was rond $50 \text{ m}^3/\text{s}$ (figuur 6) en kwam op de 13^e plaats wat betreft extreme afvoeren over de periode 1911–2003 wat overeen komt met herhalingstijd van een kleine 7 jaar (figuur 7a). Bij de Maas is het maandgemiddelde gebruikt om het effect van stuwen te verminderen (De Wit, 2003). Overigens wordt dit debiet nog verdeeld over de Grensmaas, Albert-kanaal, Zuid-Willemsvaart en Kempische kanalen. Voor het deficit van de droogte (zelfde definitie als bij de

¹ De afvoerreeks van de ongedeelde Maas bij Luik is berekend op basis van de afvoerreeks van Borgharen (vanaf 1911) met een correctie voor de wateronttrekking door de kanalen tussen Luik en Borgharen. Omdat deze onttrekkingen gedurende de vorige eeuw stapsgewijs zijn toegenomen geeft deze afgeleide reeks een beter beeld van de hydrologische condities in het Maasstroomgebied dan de Borgharen reeks.

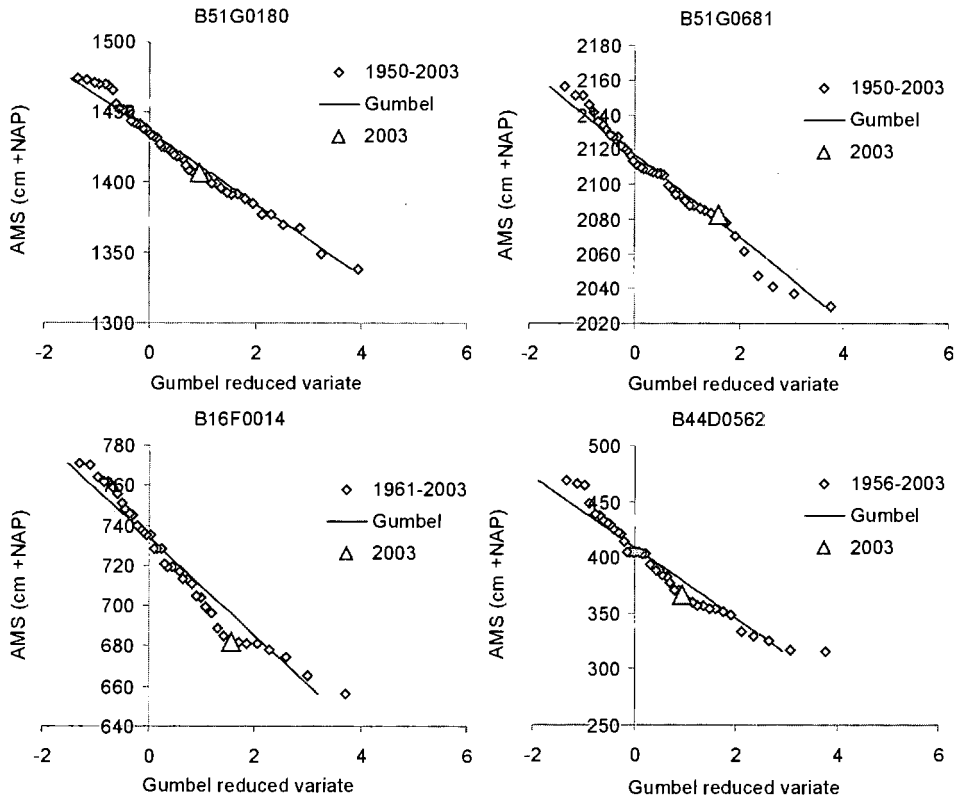
Rijn: MA_{30} en Q_{70}) is de herhalingstijd aanmerkelijk hoger (figuur 7b), namelijk ongeveer 13 jaar. Dit is waarschijnlijk veroorzaakt doordat de droge periode nog tot lang in de herfst geduurd heeft.

Grondwaterstanden

In figuur 8 staan 4 voorbeelden van het verloop van de grondwaterstand in 2003 in Nederland. Ter vergelijk zijn het gemiddelde, de standaarddeviatie, het minimum en het maximum aangegeven (vergelijk figuur 3). Het zijn alle freatische grondwaterstandsbuizen in Hoog-Nederland (maaiveld boven NAP). De diepte van de filters varieert van enkele meters (B44D0562) tot 40 m (B51G0180). De herhalingstijden zijn geschat met behulp van een Annual Minimum Series en houden dus geen rekening met de duur van droogte. De putten B51G0180 en B51G0681 liggen niet ver uit elkaar en het verloop van de grondwaterstand begin 2003 vertoont grote overeenkomsten. De impact van de droogte verschilt echter tamelijk veel. De herhalingstijd voor B51G0681 is ongeveer 5 jaar, terwijl die voor B51G0180 slechts op 3,5 jaar is geschat (figuur 9). De herhalingstijd is geschat met behulp van een Annual Minimum Series en houdt dus geen rekening met de duur van droogte. De diepste peilbuis geeft de kleinste herhalingstijd. Dit zou aan kunnen duiden dat de droogte daar het meest gedempt is. De grootste impact had de droogte in B16F0014, waar de herhalingstijd geschat wordt op 9 jaar op basis van de Gumbel-verdeling en 5,2 jaar op basis



Figuur 8: Voorbeelden van de droogte van 2003 in de grondwaterstand H . B51G0681 en B51G0180 liggen in oostelijk Noord-Brabant, B160014 ligt in Steenwijk bij Drenthe, en B44D0562 ten noorden van Breda.



Figuur 9: Schatting van de herhalingsstijden met Gumbel-vergelijking voor dezelfde putten als in figuur 8.

van de empirische verdeling. Het is niet duidelijk in hoeverre deze resultaten representatief zijn voor heel Nederland, omdat droogtes in het grondwater niet alleen afhangen van de lokale grondwateraanvulling, maar ook van de afstand tot de ontwateringsmiddelen en de diepte van de peilbuis (Peters e.a., ingestuurd).

De gevolgen van de droogte

Vergeleken met de situatie in het extreem droge jaar 1976 is Nederland beter voorbereid op droogtes. De eerste stap is dat bij een lage afvoer van de Rijn de LCW (Landelijke Coördinatie Waterverdeling) bij elkaar komt. Het bepalende niveau van de Rijnafvoer hangt af van de tijd van het jaar en daalt van 1400 m³/s in april en mei naar 1000 m³/s in september. In 2003 kwam de LCW voor het eerst bij elkaar op 17 juli. Bij de kritische grens van 1100 m³/s van de Rijn bij Lobith wordt het water zoveel mogelijk vastgehouden, onder andere door het peil van het IJsselmeer en het Volkerakzoommeer op te zetten. Dit is gebeurd op 5 augustus. Verder is vanaf begin augustus voor het hele land een oproep gedaan om de beregening zoveel mogelijk te beperken. Op dat moment waren er al verboden voor delen van Overijssel en het zuiden van het land.

Ondanks de genomen maatregelen en de betrekkelijk geringe ernst van de droogte waren er duidelijke gevolgen. Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste punten, waarvan er twee verder zijn uitgewerkt.

- De schade voor de landbouwsector in Nederland was zeer beperkt, doordat sommige gewassen een goede opbrengt hadden en door hogere prijzen. De graanoogst in Nederland was zelfs zeer goed, zowel wat betreft hoeveelheid als kwaliteit (Bont en Knijf, 2003). De maïsoogst en aardappeloogst daarentegen waren slecht.
- De tekorten in (voldoende koel) koelwater waren meer het effect van hoge temperaturen dan van de lage afvoeren. Gelukkig viel het minimum in de afvoer (eind september) niet samen met de hoogste temperatuur (augustus). Echter het reservevermogen van de elektriciteitsproductie kwam zeer dicht bij het kritisch minimum en tijdelijke ontheffingen om warmer koelwater te lozen lagen al klaar.
- Overlast voor de binnenvaart leidde tot meerkosten in de orde van 200 miljoen Euro door een te geringe vaardiepte, oplopende wachttijden bij sluizen en vaarverboden op sommige trajecten.
- De schade aan de natuur is moeilijk te kwantificeren. Waarschijnlijk door de hoge watertemperaturen in combinatie met lage waterstand, trad extra vissterfte (bijvoorbeeld aal op de Rijn), sterfte van zoetwatermosselen, bloei van blauwwieren en botulisme op (Oosterbaan, 2004). Door gebrek aan monitoring is het niet duidelijk hoeveel erger deze zaken waren. Verder was er een verhoogd brandgevaar op de Veluwe en een afname van de habitat van grutto's in veenweidegebieden (Kabat, 2003). Nachtzwaluwen (Natuurnet.nl) en sommige vlinders (zoals koninginpage) (Kabat, 2003) hebben het juist goed gedaan door de warme zomer.

Problemen veenkades

Het volgende is voornamelijk gebaseerd op Geodelft (2004), dossier Wilnis op de website van hoogheemraadschap van Amstel, Gooi en Vecht en Het Waterschap van 21 november 2003.

Bij verre de meest onverwachte gebeurtenis tijdens de droogte van 2003 was de afschuiving van de kade van de Ringvaart (Polder Groot-Mijdrecht) bij Wilnis in de nacht van 25 op 26 augustus. Enkele dagen later, in de middag van zondag 31 augustus, gebeurde een soortgelijk incident in Terbregge aan de Rotte bij Rotterdam. De schade bij Wilnis was relatief groot doordat er een woonwijk was gebouwd in de polder. Bij Terbregge bestond het gevaar dat de stabiliteit van de Rottekade zou afnemen.

Tot september 2003 was de algemene wijsheid dat veenkades instabiel worden na langdurige natte periodes of bij zware regenval na een droge periode zoals was opgetreden in de zomer van 1976. De stabiliteit van dijken wordt dan ook alleen gecontroleerd voor zeer natte situaties. De kade bij Wilnis was stabiel volgens de geldende normen. Bovendien was de afschuiving anders dan men gewend was: de kade was in zijn geheel weggedrukt. Voor zover nu bekend was de aanleiding het lichter worden van de veendijk door de sterke verdamping. Hierdoor ontstond een groter gebied dan normaal aan de teen van de dijk waar de neerwaartse druk als gevolg van het gewicht van de dijk kleiner was dan de opwaartse druk van het water in de onderliggende zandlaag. Echter de specifieke situatie van de dijk droeg bij aan het instabiel worden van de dijk. Aan de boezemzijde van de dijk was een beschoeiing aangebracht met planken tot 5 m diepte. Langs deze beschoeiing ontstond een

spleet die er voor zorgde dat er gemakkelijker water kon stromen naar diepere lagen, zodat daar de waterdruk toenam. Het is op het moment nog niet duidelijk of andere factoren zoals gasvorming een rol gespeeld hebben. Ook bij de kade Rottekade bleek een combinatie van droogte en lokale omstandigheden de oorzaak van het falen.

Om in kaart te brengen of deze problemen ook op andere plaatsen te verwachten waren, is er gewerkt aan kaarten met 'aandachtsgebieden veenkades', naast visuele inspecties door de waterschappen. Dit is gebeurd aan de hand van de historische ontwikkeling van veenkades, bodemopbouw (met name aanwezigheid veen), waterspanning in de ondergrond en ondiepe voorkomens van zand. Verder onderzoek richt zich ook op alternatieven voor de visuele inspectiemethoden en op de langzame herbevochtiging van dijken vanwege het waterafstotende karakter van veen bij uitdroging. De langzame herbevochtiging maakt ook dat de kades nog maanden kwetsbaar zullen blijven.

Saliniteit

Verzilting is een bekend probleem in Nederland. Ook tijdens de droogte van 1976 en voor het laatst in 1991 traden er problemen op doordat er te weinig aanvoer van zoet water was. Na de droogte in 1976 is er voor dit soort situaties een plan gekomen, namelijk de KWA (Kleinschalige Water Aanvoervoorzieningen); waarmee water aangevoerd kan worden uit het Amsterdam-Rijnkanaal naar de hoogheemraadschappen (HHS) van Rijnland, Delfland, Schieland en de Stichtse Rijnlanden via de gekanaliseerde Hollandse IJssel en de Leidse/Oude Rijn. Op 9 augustus werd het eerste deel van de KWA operationeel.

Vanwege de aanhoudende droogte bleek al snel dat deze aanvoer niet voldoende was. Het chloridegehalte van de Hollandsche IJssel bij Gouda liep op en was vanaf 15 augustus zo hoog dat de inname van het HHS van Rijnland boven de limiet van 250 mg/l uitkwam. In overeenstemming met de verdringingsreeks (een overzicht dat bepaald hoe het beschikbare water verdeeld wordt in tijden van watertekort) werd besloten door te gaan met de inname van water, aangezien het op peil houden van het waterpeil belangrijker werd geacht dan het tegengaan van verzilting, met name om stabiliteit van dijken en kaden te waarborgen en ook om versnelde klink tegen te gaan. HHS van Rijnland kondigde het inlaten van dit zilte water aan met een persconferentie. In de media (o.a. Nova uitzending op 15 augustus) werd hier relatief veel aandacht aan gegeven, mede door gebrek aan ander nieuws en werd tamelijk misleidend gesproken over het aanvoeren van zout water om de grondwaterstand te verhogen en paalrot tegen te gaan. Hierop volgden zeer sterke reacties waarin de effectiviteit van deze maatregelen in twijfel werd getrokken. Uiteindelijk leidde dit zelfs tot kamervragen.

Nog extra aangespoord door de maatschappelijke opwindning werd er verder gezocht naar alternatieve aanvoer van zoet water. Uiteindelijk is op 22 augustus besloten om water uit het IJmeer aan te voeren via de Tolhuissluis (Kruiningen, 2004). De eerste aanvoer vond uiteindelijk plaats op 26 augustus. Eerst moest een prop verzilt water (chloridegehalte circa 850 mg/l) in het gebied van HHS van Amstel, Gooi en Vecht afgevoerd worden. Een nadeel van de Tolhuissluisroute is dat hij een vaste capaciteit heeft die moeilijk gestuurd kan worden (10–13 m³/s). Op 12 september werd de aanvoer van water via deze route stopgezet vanwege de plotseling dreiging van hoogwater in het beheersgebied van HHS van Amstel, Gooi en Vecht door problemen bij de spuissluis in IJmuiden.

De discussie over de afweging van het inlaten van zilt water is nog zeker niet afgesloten. Op basis van de geldende verdringingsreeks was het duidelijk de juiste beslissing. De huidige vernieuwing van de verdringingsreeks, de nadere regionale invulling ervan (zie www.droogtestudie.nl) en analyses in de Droogtestudie moeten duidelijk maken of in de toekomst dezelfde keuzes gemaakt zullen worden. Recente onderzoeken naar de effecten van peilverhoging in het oppervlaktewater op de grondwaterstand geven geen eenduidig beeld. Bij tamelijk ondoorlatende afzettingen lijkt peilverhoging in het oppervlaktewater de grondwaterstand op korte termijn (weken) nauwelijks te beïnvloeden (Montfoort e.a., 2004). Andere onderzoeken met een beter doorlatende bodem en langere perioden van het opzetten van het peil geven echter wel een significante infiltratie (De Vos e.a., 2004). Verder is nog niet duidelijk wat de totale kosten-batenanalyse van de aanvoer van water via de Tolhuissluisroute zijn. De directe kosten zijn bekend (€ 750.000), maar de reductie van schade door verzilting, de schade voor scheepvaart en recreatie en de mogelijke risico's zijn nog onduidelijk.

Afsluiting

De droogte van 2003 was niet extreem, maar illustreert duidelijk de karakteristieken van een droogte: een complex fenomeen dat in alle delen van het hydrologisch systeem optreedt en een veelheid aan, soms onverwachte, gevolgen kan hebben. Schade is verspreid over vele sectoren en wordt bovendien via prijselasticiteit gedeeltelijk afgewenteld op de gehele maatschappij. Dit maakt de geleden schade ondoorzichtig en moeilijk te berekenen en draagt er vermoedelijk aan bij dat droogtebestrijding beduidend minder aandacht krijgt dan de bestrijding van wateroverlast. De lange hersteltijden na een droogte maken bovendien een lange adem noodzakelijk. Doordat mei 2004 een periode van ruim drie weken met vrijwel geen neerslag kende, nam de bezorgdheid over de veendijken bijvoorbeeld al weer toe.

Dankwoord

Voor hun hulp met het verzamelen van de benodigde informatie wil ik de volgende personen heel hartelijk bedanken: Jules Beersma, Hans Gehrels, Timo Kroon, Roelof Stuurman, Henk Weerts en Marcel de Wit. Jules Beersma, Henny van Lanen en Marcel de Wit wil ik verder hartelijk bedanken voor hun commentaar op eerdere versies van dit document. Verder wil ik de volgende organisaties bedanken voor het ter beschikking stellen van gegevens: KNMI voor neerslaggegevens van De Bilt, TNO-NITG voor de grondwaterstandsgegevens via DINOloket en RIZA voor de afvoer van de Rijn en de Maas via Marcel de Wit.

Referenties

- Beersma, J.J. en T.A. Buishand (ingezonden)** The joint probability of precipitation and discharge deficits in the Netherlands; in: *Water Resources Research*.
- Beersma, J.J., T.A. Buishand en H. Buiteveld (2004)** Droog, droger, droogst; KNMI/RIZA bijdrage aan de tweede fase van de Droogtestudie Nederland, KNMI-publi-

- catie 199-II, KNMI, De Bilt.
- Beran, M. en J.A. Rodier (1985)** Hydrological aspects of drought; Studies and reports in hydrology 39, UNESCO-WMO, Paris, France.
- Bont C.J.A.M. de en A. van der Knijf (2003)** Actuele ontwikkeling van bedrijfsresultaten inkomens in 2003; Landbouw Economisch Instituut, Den Haag, rapport 1.03.05.
- Clark, C. (1993)** How dry is a drought? in: *Crossosoma* 19(2): pag 37–48.
- COPA-COGECA (2003)** Assessment of the impact of the heat wave and drought of the summer 2003 on agriculture and forestry.
- CRED (2004)** Center for Research on the Epidemiology of Disasters; EM-DAT: the OFDA/CRED International Disasters Data Base, <http://www.cred.be/cred1/index.htm>.
- Fischer, P.H., B. Brunekreef en E. Lebrecht (2004)** Air pollution related deaths during the 2003 heat wave in the Netherlands; in: *Atmospheric Environment*, 38(8), pag 1083–1085, Doi:10.1016/j.atmosenv.2003.11.010.
- Heim Jr., R.R. (2002)** A review of twentieth-century drought indices used in the United States; in: *BAMS* (Bulletin of the American Meteorological Society) 83(8), pag 1149–1165.
- Hisdal, H., B. Clausen, A. Gustard, E. Peters en L.M. Tallaksen (2004)** Chapter 5: Event definitions and indices; in: L.M. Tallaksen en H.A.J. van Lanen (red) *Hydrological drought: Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*; Developments in water science 48, Elsevier Science, Amsterdam.
- Hisdal H. en L.M. Tallaksen (red) (2000)** Drought event definition; ARIDE technical report no. 6, University of Oslo, Oslo, Norway.
- Kabat, P. (2003)** Presentatie voor Platform Communication on Climate Change. Klimaat: de gevolgen, omgaan met risico's; 7 oktober 2003.
- Kogan, F. (2002)** World droughts in the New Millennium from AVHRR-based vegetation health indices; in: *EOS* 83(48).
- Kruiningen, F. van (2004)** Verzilting Midden-Holland zomer 2003; in: *H₂O*, nr 2, pag 17–21.
- McKee, T.B., N.J. Doesken en J. Kleist (1993)** The relationship between drought frequency and time scales, 9th conference on applied climatology, 17–20 January, Dallas, TX, pag 233-236.
- Montfoort, R. van, Y. van der Velde en R. Stuurman (2004)** Oppervlaktewaterbeheer in droge tijden – Hoe beïnvloedbaar is de grondwaterstand? TNO-NITG Informatie, mei 2004. pag 17–20.
- Oosterbaan, L. (2004)** Verslag rondetafelbijeenkomst Oost Nederland, 10 februari 2004; Droogtestudie Nederland fase 2, RIZA, Lelystad.
- Peters E. (2003)** Propagation of drought through groundwater systems – Illustrated in the Pang (UK) and Upper-Guadiana (ES) catchments; PhD-thesis Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Peters, E., G. Bier, H.A.J. van Lanen en P.J.J.F. Torfs (ingestuurd)** Propagation and spatial distribution of drought in a groundwater catchment; in: *Journal of Hydrology*.
- Schär, C., P.L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M.A. Liniger en C. Appenzeller (2004)** The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves; in: *Nature* 427, doi: 10.1038/nature02300, pag 332–336.
- Stedinger, J.R., R.M. Vogel en E. Foufoula-Georgiou (1993)** Frequency analysis of extreme events; in: D.R. Maidment (red) *Handbook of hydrology*, McGraw-Hill.
- Tallaksen, L.M., H. Madsen en H. Hisdal (2004)** Chapter 6 Frequency Analysis; in:

- L.M. Tallaksen en H.A.J. van Lanen (red) *Hydrological drought: Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*; Developments in water science 48, Elsevier Science, Amsterdam.
- V&W (Ministerie van Verkeer en Waterstaat) (2004)** Evaluatienota Waterbeheer aanhoudende droogte 2003; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat Generaal Water.
- Vos, J.A. de, I.E. Hoving, P.J.T. van Bakel, J. Wolf, J.G. Conijn en G. Holshof (2004)** *Effecten van peilbeheer in de polders Zegveld en Oud-Kamerik op de nat- en droogteschade in de landbouw*; Alterra-raport 987, Alterra, Wageningen.
- Wilhite, D.A. (red) (1999)** Droughts, a global assessment; Routledge, New York, 784 pag.
- Wit, M. de (2004)** Hoe laag was het laagwater van 2003? in: *H₂O*, jrg 37, nr 3, pag 15–17.

