

RISICO'S IN DE VOEDSELVOORZIENING IN ONTWIKKELINGSLANDEN*

Tom A.B. Snijders**

Samenvatting

Een aanzienlijk aantal ontwikkelingslanden ligt geheel of gedeeltelijk in de semi-aride klimaatzones. In deze gebieden zijn de landbouwopbrengsten in de regen-afhankelijke landbouw sterk variabel, terwijl irrigatie door economische beperkingen vaak slechts op zeer bescheiden schaal mogelijk is. De hieruit voortvloeiende risico's in de voedselvoorziening behoren tot de basisproblemen bij de pogingen om in deze landen de voedselproductie te verhogen. De interdisciplinaire onderzoeksgroep AGRISK aan de Rijksuniversiteit Groningen houdt zich bezig met deze thematiek, met name gericht op het Sahel-gebied.

Er wordt ingegaan op enkele aspecten van dit onderzoek, waarbij speciale aandacht wordt gegeven aan het schatten van de kansverdeling van gewasopbrengsten voor deze gebieden, waar betrouwbare opbrengstgegevens zeer schaars zijn.

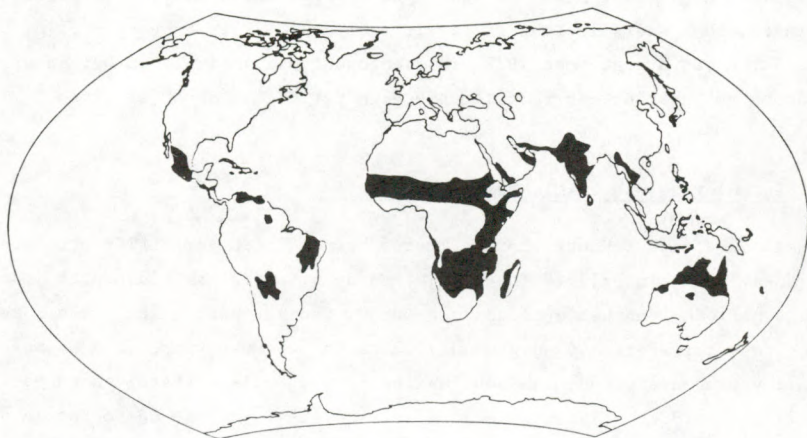
* Bewerking van een lezing voor de SOR op 24 januari 1984

** Econometrisch Instituut, Postbus 800, 9700 AV Groningen, tel. 050-116798

1. Landbouwproblemen in semi-aride tropische gebieden

Het belang van klimaat en weer voor de landbouw, en de onzekerheid die de wisselvalligheid van het weer met zich meebrengt, vormen een basisgegeven voor het leven van vrijwel de gehele aardbevolking. We worden regelmatig opgeschrikt door berichten over droogteperioden in arme landen, met rampzalige gevolgen voor de voedselvoorziening. Deze problematiek vormt een van de aanknopingspunten van het hier te beschrijven onderzoek.

De droogteproblematiek waar hieronder op in wordt gegaan speelt vooral in de zgn. semi-aride tropische klimaatzone. Het begrip "semi-aride" is een (agro-)climatologisch classificatiebegrip, dat op diverse manieren kan worden omschreven. In deze gebieden ligt de lengte van de periode, beschikbaar als groeiseizoen voor de niet-geïrrigeerde landbouw, grofweg tussen de 60 en 200 dagen per jaar; verder is de gemiddelde hoeveelheid neerslag er "tamelijk klein" ten opzichte van de waterbehoefte van het gewas (een precieze definitie wordt hier niet beoogd). Figuur 1 vertoont de semi-aride tropische zone op de wereldkaart. Het is te zien dat deze zone veel streken omvat waarvan regelmatig berichten over droogte en hongersnood komen: het Sahel-gebied, Botswana, India, N.O.-Brazilië.



Figuur 1. De semi-aride tropische gebieden aangegeven in het zwart.

Bron: Swindale, Virmani en Sivakumar (1981).

De semi-aride gebieden vormen als het ware de zone waar sedentaire landbouw nog net mogelijk is. In bijv. Mattei (1979) en Swindale, Virmani en Sivakumar (1981) staan landbouwproblemen van deze klimaatzone beschreven. De

regenval in deze gebieden is zeer variabel. De variatiecoëfficiënt van het jaarlijkse neerslagtotaal bedraagt 20-30%, en belangrijker nog dan deze variabiliteit is het frequent optreden van droogteperioden tijdens het groeiseizoen. Verder zijn de economische omstandigheden in veel van de semi-aride tropische gebieden van dien aard, dat voorzieningen die de landbouw minder afhankelijk maken van weersomstandigheden, zoals irrigatie, slechts op zeer kleine schaal kunnen worden toegepast. Kort samengevat: de variabiliteit van de regenval is zeer groot, en de vigerende landbouwmethoden zijn zeer gevoelig voor weersfluctuaties. Dit leidt tot onzekerheid in de gewasopbrengsten, en tot risico's die kleven aan beslissingen omtrent landbouwmethoden en landbouwpolitiek.

De samenlevingen in deze gebieden hebben zich uiteraard aangepast aan deze moeilijkheden. Bijvoorbeeld worden traditioneel de risico's gespreid door het zaaien van verschillende variëteiten van hetzelfde gewas, met verschillende responsiekenmerken op de optredende weerspatronen; en worden de risico's ten dele opgevangen door voedseloverschotten en kenmerken van de sociale structuren (zie bijv. Oguntuyinbo en Odingo (1979)). Deze traditionele aanpassingen zijn niet overal (meer) geheel adequaat, o.a. door de grote landbouwkundige, demografische, sociale en economische veranderingen tijdens en na de koloniale periode. Verder treden er, los van deze veranderingen, soms weersfluctuaties op die zeer moeilijk op te vangen zijn, zoals de jaren van droogte met 1973 als dieptepunt die in India en het Sahelgebied hebben geheerst na een relatief gunstige periode in de 60'er jaren.

2. Formulering van enkele beslissingsproblemen

Veel zaken zijn schaars voor de kleine boeren in de semi-aride tropische gebieden. Dat zijn bijv. (afhankelijk van de situatie) arbeidskracht in sommige perioden van het groeiseizoen (bijv. wanneer het zaaien, wieden en/of oogsten door weersomstandigheden slechts in een korte periode goed mogelijk is); vruchtbare grond; landbouwkundige inputs zoals meststoffen en bestrijdingsmiddelen. Sommige belangrijke beslissingen die de boeren in deze omstandigheden moeten nemen kunnen worden opgevat als de allocatie van schaarse middelen aan diverse activiteiten. Deze beslissingen kunnen soms worden voorgesteld door stochastische programmeringsproblemen. De stochastiek komt daarbij voor een belangrijk gedeelte voort uit het toevalskarakter van de regenval. Een programmeringsmodel levert uiteraard een heel verengd beeld van het beslissingsprobleem waar de boer voor staat, en over de specificatie ervan zal men altijd kunnen twisten. Het kan worden opgemerkt dat,

vanwege de situatie van de betreffende boeren op de rand van het bestaan, als doelstelling iets in de trant van het minimaliseren van de kans op een voedseltekort, of van de verwachte ernst van een eventueel voedseltekort, relevanter lijkt dan het maximaliseren van een verwachte productie of winst. Om een indruk te geven volgen hier twee geschematiseerde voorbeelden. (Steeds zullen variabelen die als stochastisch worden beschouwd, aangegeven worden met een hoofdletter.)

Keuze van te bebouwen oppervlakte

Veronderstel dat voor een boerenfamilie (of -dorp) één gewas, bijv. maïs, het voornaamste voedsel is. De jaarlijks minimaal benodigde hoeveelheid is r kg.; veronderstel dat er geen reservevoorraad is, en geen geld om maïs te kopen. Laat de te bebouwen oppervlakte x ha. bedragen, en de opbrengst Y kg./ha. Neem aan (als een benadering), dat de kansverdeling van Y niet afhangt van x . Er wordt gevraagd om x zo klein mogelijk te kiezen, onder de voorwaarde dat de kans op een tekort niet groter is dan een gekozen risico α :

$$\min x: P\{xY < r\} \leq \alpha.$$

De optimale keuze van x kan eenvoudig worden afgeleid uit het α -kwantiel van de verdeling van Y ; als deze bekend is!

Keuze tussen voedsel- en handelsgewas

Hierbij gaat het om de allocatie van bouwland en arbeidskracht aan (voor de eenvoud) één handelsgewas: bijv. katoen, en één voedingsgewas: bijv. sorghum. Het groeiseizoen wordt verdeeld gedacht in T perioden, overeenkomstig de uit te voeren werkzaamheden. Definieer

- $x_s [x_k]$ oppervlakte waarop sorghum [katoen] wordt verbouwd.
- $Y_s [Y_k]$ opbrengst van sorghum [katoen] in kg./ha.
- A totaal beschikbare landbouwgrond.
- $l_{st} [l_{kt}]$ benodigde arbeidskracht per ha. voor sorghum [katoen] in periode t ($t = 1, \dots, T$).
- L aantal beschikbare arbeiders (constant in t verondersteld).
- r voor consumptie benodigde hoeveelheid sorghum.
- $p_s [p_k]$ productiekosten per ha. van sorghum [katoen].
- c_s inkoopprijs van sorghum.
- S_k verkoopprijs van katoen.

Neem aan dat een eventueel tekort aan sorghum kan worden aangekocht, maar

dat een eventueel teveel niet kan of zal worden verkocht. Het tekort aan sorghum bedraagt

$$(r - x_s Y_s)^+ = \max\{r - x_s Y_s, 0\}$$

en het inkomen van de boerenfamilie uit de verbouw van sorghum en katoen, en uit de consumptie van sorghum, bedraagt

$$Z = x_k (S_k Y_k - p_k) - x_s p_s - c_s (r - x_s Y_s)^+.$$

Een negatief inkomen wordt voorgesteld door $Z^- = \max\{-Z, 0\}$.

Voor de keuze van x_k en x_s kan men bijv. het beslissingsprobleem formuleren

$$\begin{aligned} \min EZ^- : x_s + x_k &\leq A \\ l_{st} x_s + l_{kt} x_k &\leq L \quad (t = 1, \dots, T) \\ x_s &\geq 0, x_k &\geq 0. \end{aligned}$$

Merk op dat de stochastische variabelen Y_s , Y_k en S_k gewoonlijk niet onafhankelijk zullen zijn.

Deze en andere (stochastische) programmeringsproblemen, die een weerspiegeling vormen van enkele door boeren in deze omstandigheden te nemen beslissingen, worden verder uitgewerkt in Schweigman, Snijders en Hagenzieker (1981) en in Schweigman (1984). Andere beslissingen waarbij men dergelijke modellen zou kunnen formuleren, zijn bijv. het gebruik van kunstmest en bestrijdingsmiddelen door de boer; en de voorraadpolitiek van de overheid. Het zal duidelijk zijn dat de specificatie van dergelijke beslissingsmodellen zeer moeilijk en onzeker is, mede door het gebrek aan kwantitatieve gegevens; dat een belangrijke inbreng van landbouwkunde en statistiek nodig is om tot een specificatie te komen; en dat uitkomsten van deze beslissingsmodellen moeten worden gehanteerd met veel inzicht in niet in het model opgenomen aspecten, en met voldoende kennis van de onbetrouwbaarheidsmarges.

Dat de waarde van een aantal parameters in deze programmeringsproblemen onbekend is, bijv. de kansverdeling van de oogsten en de prijs van sorghum en katoen, zou ook expliciet in het model kunnen worden opgenomen: dit leidt tot een model met een schattingsaspect en een programmeringsaspect. De optimale oplossing moet a.h.w. geschat worden. Voor een ander voorbeeld wordt dit uitgewerkt in Schweigman (1984).

3. Het onderzoeksprogramma AGRISK

Sinds 1981 werkt bij de Rijksuniversiteit Groningen een interdisciplinaire onderzoeksgroep met de naam AGRISK ("Appraisal of Risks in Agriculture in Developing Countries"), die, in samenwerking met locale instanties in ontwikkelingslanden, deze problematiek onderzoekt. Het initiatief komt uit de vakgroep Operationeel Onderzoek van de Interfaculteit Econometrie, mede geleid door overwegingen in de geest van het hierboven beschrevene. Vanaf het eerste begin is inbreng vanuit andere gebieden in deze onderzoeksgroep essentieel geweest: landbouwkunde, culture anthropologie, economie, statistiek, het Bureau Buitenland. De aandacht wordt op dit moment vooral gericht op de Sahellanden, in het bijzonder Boven-Volta, vanwege de ernst van de voedselproblematiek daar en vanwege bestaande contacten tussen de RUG en de Universiteit van Ouagadougou.

In de semi-aride zone in West-Afrika vormen de granen gierst en sorghum de belangrijkste voedingsgewassen. Het onderdeel van de groep AGRISK is dan ook gericht op de risico's in de voedselvoorziening wat betreft deze twee gewassen. De doelstelling is het vergroten van inzicht in de effecten van maatregelen ter vermindering van deze risico's. Belangrijke componenten van het onderzoek zijn de hoogte en variabiliteit van de opbrengsten; economische en sociale determinanten bij de keuze van gewasvariëteiten en landbouwmethoden, bij de (gedeeltelijke) verkoop van de productie (nodig om te voorzien in diverse andere behoeften) en bij het kopen van voedsel; besluitvormingsprocessen en risico-perceptie; voorraadstrategieën; enz. Wat betreft de gewasopbrengsten zijn bodemvruchtbaarheid en het gebruik van modernere landbouwmethoden (kunstmest, nieuwe gewasvariëteiten, enz.) zeer belangrijke factoren naast de beschikbare hoeveelheid water (die behalve door de regenval ook wordt bepaald door de infiltratie van de regen in de grond).

In de volgende twee paragrafen wordt een schets gegeven van enkele statistische vragen die een rol spelen in het AGRISK-onderzoek.

4. Het schatten van de kansverdeling van de oogst met behulp van gewasgroeimodellen

Een van de centrale problemen bij het AGRISK-onderzoek is het schatten van de kansverdeling van de oogst (= productie per eenheid van oppervlak) van sorghum en gierst zoals die wordt behaald door boeren in Boven-Volta en andere Sahellanden. Bij het spreken over de kansverdeling van de oogst moet het duidelijk zijn wat de bedoelde populatie (of referentieverzameling) van

oogsten is; in het bijzonder, welke factoren worden opgevat als toevalsinvloeden en welke als vast veronderstelde parameters. Ter gedeeltelijke definiëring van de populatie zouden we bijv. kunnen veronderstellen, dat de te schatten kansverdeling betrekking heeft op de oogst van een aselekt gekozen boerenveld van gemiddelde grootte, gelegen buiten het dorp, bebouwd met een bepaalde variëteit sorghum volgens de gebruikelijke methoden, zonder moderne landbouw-inputs. Dit zou betekenen dat de bodemeigenschappen van het veld, de weersomstandigheden (m.n. regen) en de variaties die bestaan binnen de "gebruikelijke" landbouwmethoden allen worden gemodelleerd als toevalsinvloeden. Voor het precies definiëren van deze populatie en voor het ontwikkelen van schattingsmethoden voor deze kansverdeling vormt de beschikbaarheid van data (uiteraard) een overheersende factor. Er zijn weinig historische gegevens beschikbaar over productie en bebouwde oppervlakte van voedingsgewassen (die merendeels voor eigen consumptie worden verbouwd) in deze landen, en de gegevens die er zijn, zijn van twijfelachtige kwaliteit. Verder zijn de opbrengsten onderhevig aan veranderende omstandigheden, zoals de stapsgewijze invoering van modernere landbouwmethoden en het meer in gebruik nemen van marginale landbouwgronden. Het is dus onmogelijk om deze kansverdeling te schatten op de "gebruikelijke" manier, d.w.z. op grond van een aselekte steekproef getrokken uit deze kansverdeling.

Vanwege dit gebrek aan voldoende lange reeksen van betrouwbare oogstgegevens is gekozen voor een benadering via gewasgroeimodellen. Dit zijn modellen die, door middel van een simulatie van het groeiproces van de plant, een voorspelling geven van de oogst als functie van een aantal factoren zoals kenmerken van het gewas, beschikbaarheid van water en voedingsstoffen, klimaat en weersomstandigheden (temperatuur, straling, enz.). Dergelijke modellen bestaan in een scala van zeer eenvoudig (zoals bijv. het model van Frère en Popov (1979) dat door de FAO wordt gebruikt bij haar "Early Warning and Forecasting Systems", en dat alleen een grove benadering levert van de invloed van een tekort of teveel aan water) tot zeer complex (zie bijv. Penning de Vries en Van Laar (1982)). Het voordeel van het gebruik van zo'n model is enerzijds, dat voor bijv. de regenval vaak meer gegevens beschikbaar zijn dan voor de oogst zelf; en dat de wijze waarop de kansverdeling van de oogst afhangt van verschillende omstandigheden (bijv. landbouwmethoden) beter kan worden bestudeerd. De constructie en ijking van een gewasgroeimodel dat bruikbaar is voor plattelandsomstandigheden in de derde wereld zal overigens nog het nodige onderzoek vereisen.

De voorspelde oogst kan schematisch worden weergegeven als

$$Z = \Gamma(R, \theta)$$

waarbij Z de voorspelde oogst is en Γ het beschouwde model; de in het model benodigde gegevens zijn gepartitioneerd in een vector θ van constant veronderstelde omstandigheden (betreffende bijv. het verbouwde gewas, bodemeigenschappen, het klimaat en landbouwmethoden) en een vector R van omstandigheden die als toevalsinvloeden worden gemodelleerd (met name de regenval). Voor de hieronder beschreven benaderingswijze moet worden verondersteld dat de waarde van θ kan worden waargenomen en niet afhankelijk is van toevalsinvloeden, terwijl de simultane kansverdeling van R kan worden geschat, bijv. op grond van historische gegevens. Praktisch gesproken impliceert dit dat het model niet te ingewikkeld kan zijn.

De gerealiseerde oogst Y zal gewoonlijk niet gelijk zijn aan de voorspelde oogst Z . Over de vorm van de stochastische afhankelijkheid van Y en Z valt op dit moment, vanwege het vooralsnog ontbreken van gegevens, niets te zeggen. De volgende benadering zal worden gevolgd om de kansverdeling van Y te schatten. In een klein aantal jaren worden op een aantal velden waarnemingen gedaan van de echte oogst y_i en de door het model voorspelde oogst z_i ; deze worden opgevat als realisaties van stochastische variabelen Y_i en Z_i . Neem voor het gemak aan, dat alle waarnemingen uit verschillende dorpen afkomstig zijn; dat sluit afhankelijkheid ten gevolge van gemeenschappelijke locale omstandigheden uit. Indien het model $Z = \Gamma(R, \theta)$ "goed genoeg" is, en alle invloeden (van bijv. het weer en, voor wie dat noodzakelijk vindt, de politiek) die de verschillende velden in een jaar gemeenschappelijk beïnvloeden in het model verwerkt zijn, dan lijkt het niet onredelijk om te veronderstellen dat de voorwaardelijke kansverdelingen van Y_i , gegeven $Z_i = z_i$, voor de verschillende i onafhankelijk zijn en constant over de jaren. (Dit sluit niet uit dat Z een systematische fout bevat als voorspeller voor Y .) Naarmate het model $Z = \Gamma(R, \theta)$ beter is zal enerzijds de voorwaardelijke kansverdeling van Y , gegeven Z , een kleinere spreiding hebben (de oogst wordt beter voorspeld), anderzijds zal deze voorwaardelijke kansverdeling constant mogen worden verondersteld over een grotere populatie van landbouwtechnische en agroclimatologische omstandigheden (verschillen wat betreft deze omstandigheden worden meer gerepresenteerd in verschillen wat betreft de waarde van R en θ , en minder in verschillen wat betreft deze voorwaardelijke kansverdeling). De kansverdeling van $Z = \Gamma(R, \theta)$ kan, evenals die van R , uit historische gegevens (m.n. regenvalgegevens) worden geschat. Een geschatte kansverdeling van Y kan dan worden afgeleid uit het combineren van de geschatte (marginale) verdeling

van Z en de geschatte voorwaardelijke verdeling van Y, gegeven Z. In Snijders (1984b) wordt nader op deze schattingsmethode ingegaan.

5. Over de regenval in Boven-Volta

De vector van "toevalsinvloeden" R uit §4 bestaat met name uit hoeveelheden regenval. De kansverdeling van het regenval-proces (gedefinieerd als het stochastisch proces van de hoeveelheid regen die valt gedurende elke dag van het jaar, of van het groeiseizoen) in Boven-Volta wordt geschat in het kader van het AGRISK-onderzoek, om dan weer gebruikt te worden als "input" in het gewasgroeimodel $Z = \Gamma(R, \theta)$. Als eerste stap is de stationariteit van het regenval-proces over de jaren onderzocht; hiervan worden in deze paragraaf enkele resultaten vermeld.

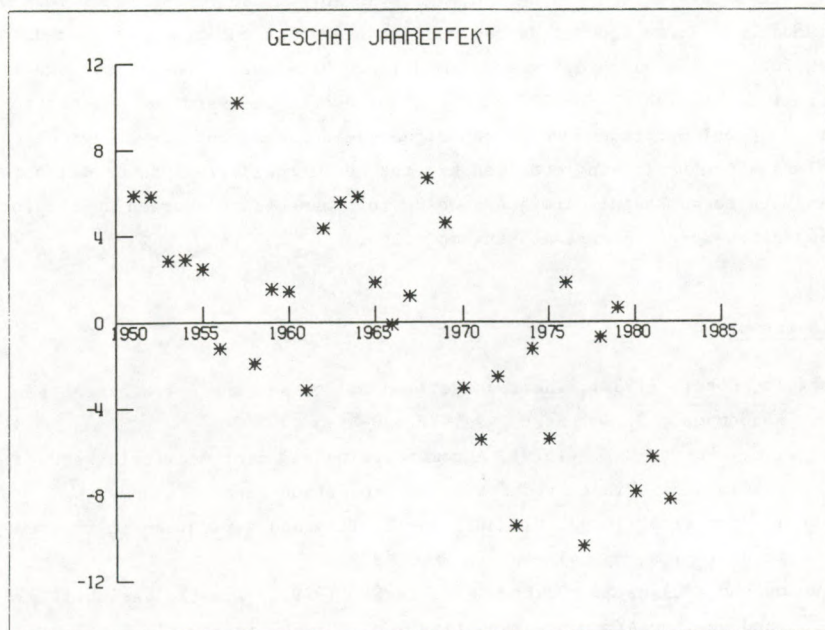
De gemiddelde jaarlijkse regenval in Boven-Volta varieert van ongeveer 400 mm. in het uiterste noorden tot ongeveer 1200 mm. in het uiterste zuiden van het land. (Ter vergelijking: in Nederland is dit ongeveer 750 mm.) Het gemiddeld aantal dagen per jaar met regen varieert van ongeveer 50 in het noorden tot ongeveer 85 in het zuiden. De regenval heeft een moesson-karakter, en is vrijwel geheel beperkt tot de maanden mei - oktober. Bij het onderzoeken van de stationariteit van het regenval-proces doet zich de vraag voor, op welke variabelen een stationariteitstoets goed zou kunnen worden uitgevoerd: om een hoog onderscheidingsvermogen te krijgen, moeten zowel de dagen van het groeiseizoen als de verschillende meetstations waarvan gegevens beschikbaar zijn op een goede manier worden gecombineerd. In Snijders (1983) worden enkele functies van het regenval-proces, waaronder het jaartotaal en het aantal dagen waarop het regent (het aantal "natte dagen") beschouwd als regen-indicatoren voor het hele jaar. Het blijkt dat het aantal natte dagen beter dan het jaartotaal verschillen tussen de jaren aangeeft die voor diverse meetstations gemeenschappelijk optreden. De correlaties tussen de meeste meetstations zijn hoger voor het aantal natte dagen dan voor het jaartotaal. Ook is de landbouwkundige betekenis van het aantal natte dagen hoger dan die van het jaartotaal, omdat dat laatste gedomineerd wordt door enkele zeer hevige buien waarvan het water grotendeels wegstroomt zonder de landbouwopbrengst gunstig te beïnvloeden. Daarom is de stationariteitstoets gebaseerd op het aantal natte dagen.

Laat N_{ij} het aantal natte dagen zijn in de periode april - oktober voor station i in jaar j ; er is een verzameling van 20 regenval-stations onderzocht waar de waarnemingsreeksen begonnen in 1907 (voor het oudste) tot 1948 (voor het meest recent geopende station). Vanaf 1951 zijn de gegevens redelijk

volledig, hoewel er veel "missing data" blijven bestaan. Het aantal "missing data" wordt nog verhoogd door het uitsluiten van een aantal gegevens waarvan wordt vermoed dat ze onbetrouwbaar zijn. Er zijn gegevens t/m 1982 in het onderzoek betrokken. Om de gegevens N_{ij} voor de verschillende meetstations i te combineren op een manier die met de vele "missing data" rekening houdt, is een additief model

$$N_{ij} = \alpha_i + \beta_j + \text{verstoring}$$

aangepast (zonder dat dit een oordeel inhoudt over de juistheid van een dergelijk model). De toetsen op stationariteit zijn uitgevoerd op de "geschatte jaareffecten" $\hat{\beta}_j$ voor de periode 1951-1982. Onder de nulhypothese dat de simultane verdeling van het regenval-proces in de 20 beschouwde stations voor de verschillende jaren onafhankelijk en identiek verdeeld is, en dat het patroon van missing data aselekt is, is de kansverdeling der $\hat{\beta}_j$ invariant onder permutaties; deze nulhypothese kan dus getoetst worden door een rangtoets voor randomness op de $\hat{\beta}_j$. Zowel de rang-versie van



Figuur 2. Geschatte jaareffecten $\hat{\beta}_j$, berekend als in Snijders (1983).

Von Neumann's ratio (Bartels (1982)) als de verander-punt toets van Pettitt (Pettitt (1979), Snijders (1984a)) leiden hier tot een zeer significant resultaat, zoals beschreven in Snijders (1983). In Figuur 2 worden de geschatte jaareffecten $\hat{\beta}_j$ weergegeven. Het is duidelijk te zien dat de droogte, die in het begin van de 70-er jaren is ingezet, nog steeds voortduurt. Dit impliceert dat bij het schatten van de kansverdeling van het regenval-proces rekening zal moeten worden gehouden met niet-stationariteit.

6. De rol van OR bij dit onderzoek

Ook al komt het initiatief voor dit onderzoek uit de hoek van de OR en is het (voor dit publiek) vanuit deze hoek toegelicht, de plaats van de OR is een nevensgeschikte naast de andere genoemde disciplines. De rol van bijv. stochastische programmeringsmodellen zoals aangegeven in §2 is zeer beperkt, en oplossingen ervan zijn op dit moment nog niet aan de orde, doordat voor de specificatie ervan nog zeer veel onderzoek moet worden verricht (bijv. naar de kansverdeling van de opbrengst van sorghum en gierst onder deze omstandigheden), en doordat de bedoelde problematiek zo ingewikkeld is dat een formulering als programmeringsmodel een vrij ver gaande abstractie is. Vanuit de invalshoek der OR worden wel bijdragen geleverd tot de analyse van de problematiek en van de benodigde deelonderzoeken; ook draagt de formulering van beslissingsmodellen bij tot een verheldering van de vraagstelling. De toekomst zal uitwijzen, welke rol gespeeld zal worden door oplossingen van dergelijke beslissingsmodellen.

Literatuur

- Bartels, Robert (1982), The rank version of von Neumann's ratio test for randomness, J. Am. Stat. Ass. 77, 40-46.
- Frère, M., Popov, G.F. (1979), Agrometeorological crop monitoring and forecasting, FAO Plant Production and Protection Paper 17, Rome.
- Mattei, Francesco (1979), Climatic variability and agriculture in the semi-arid tropics, pp. 475-509 in WMO (1979).
- Oguntinyinbo, Julius A., Odingo, Richard S. (1979), Climatic variability and land use: an African perspective, pp. 552-580 in WMO (1979).
- Penning de Vries, F.W.T., Van Laar, H.H. (eds.) (1982), Simulation of plant growth and crop production, Simulation Monographs, Pudoc, Wageningen.
- Pettitt, A.N. (1979), A non-parametric approach to the change-point problem, Appl. Statist. 28, 126-135.

- Schweigman, C. (1984), Operations Research problems in agriculture in developing countries, te verschijnen.
- Schweigman, C., Snijders, T.A.B. en Hagenzieker, F. (1981), Risks in agriculture in developing countries caused by rainfall variability: introduction to risk computations, Bureau Buitenland, Rijksuniversiteit Groningen.
- Snijders, T.A.B. (1983), A study of the variability in space and time of Upper Volta rainfall, pp. 3.5.1-7 in Proc. 2nd Int. Meeting Statist. Climatology, Lisbon, September 26-30, 1983.
- Snijders, T.A.B. (1984a), The use of antithetic variates for Monte Carlo estimation of probabilities, *Statistica Neerlandica*.
- Snijders, T.A.B. (1984b), On the estimation of probability distributions of crop yields using weather-yield models, in voorbereiding.
- Swindale, L.D., Virmani, S.M. en Sivakumar, M.V.K. (1981), Climatic variability and crop yields in the semi-arid tropics, pp. 139-166 in W. Bach et al. (eds.), *Food-climate interactions*, Reidel, Dordrecht.
- WMO (1979), Proceedings of the World Climate Conference, Geneva, 12-23 february 1979, WMO no. 537, Genève.

Ontvangen: 13-3-84