

MODELBOUW EN STATISTIEK VOOR LANDBOUW EN MILIEU

Jos Jansen, Jan Oude Voshaar, Bertus Keen, Hans Heesterbeek

Samenvatting

In deze bijdrage willen we een indruk geven over het gebruik van modelbouw en statistiek door onderzoekers binnen het aandachtsgebied Landbouw en Milieu, waar onze ervaring met het toepassen en creëren van kwantitatieve methodologie zijn oorsprong vindt. We gaan daarbij in op het belang van de ontwikkeling van nieuwe methodologie en de financiering daarvan en plaatsen ook enkele kanttekeningen bij het onderwijs van modelbouw en statistiek aan (aankomende) onderzoekers. Wij zijn van mening dat de profilering van onderwijs en onderzoek in de kwantitatieve methoden gediend is met een betere aansluiting op de maatschappelijke behoefte dan tot nu toe het geval is.

DLO - Groep Landbouwwiskunde
Postbus 100,
6700 AC Wageningen
telefoon: 08370-74675
fax: 08370-11524
email: A.A.M.JANSEN@GLW.AGRO.NL

1 Inleiding

De maatschappelijke discussie over aspecten van het leefklimaat in Nederland maakt veelvuldig gebruik van kwantitatieve informatie over actuele situaties en ontwikkelingen en over de beïnvloeding daarvan door maatregelen en ingrepen. Om in de informatiebehoefte te voorzien is in toenemende mate onderzoek nodig waarin op de wiskunde gebaseerde methodologie voor het beschrijven van complexe systemen wordt toegepast. Omdat zulke beschrijvingen moeten kunnen dienen als een solide basis voor het maken van voorspellingen is het noodzakelijk dat deze ook voorzien in een indicatie van de nauwkeurigheid van de verkregen informatie en van de in de praktijk optredende variabiliteit. Dit aspect is mede bepalend voor de doelmatigheid van het onderzoek en de op basis daarvan verkregen informatie. Met name op dat terrein leveren kwantitatieve methoden onmisbare bijdragen, onder meer door het beschikbaar maken van efficiënte methoden voor het verzamelen, beschrijven en analyseren van kwantitatieve informatie.

De gewenste informatie is veelal zeer divers, mede door de vele soms tegengestelde belangen die in het spel zijn, en hetzelfde geldt voor de mogelijke inbreng vanuit de kwantitatieve methoden. Als men bijvoorbeeld denkt aan het ophogen van de rivierdijken is het iedereen duidelijk dat het gaat om het verlagen van de kans op overstroming van het door de dijken beschermde gebied. Maar daarnaast zijn zaken zoals kosten, werkgelegenheidseffecten en milieu-effect-rapportages aan de orde. Niet alleen kwantitatieve maar ook kwalitatieve aspecten, zoals de cultuurhistorische waarde van het landschap, kunnen zich lenen voor analyse met kwantitatieve methoden.

De bescherming door rivierdijken is slechts één van de maatschappelijke problemen in Nederland. Ook het aandachtsgebied van Landbouw en Milieu kent veel maatschappelijk belangrijke problemen. Daaraan wordt onder meer door de onderzoeksinstellingen van het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij gewerkt. DLO - Groep Landbouwwiskunde (GLW-DLO) is, als onderdeel van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO), belast met onderzoek en consultatie ten behoeve van onderzoeksinstituten en proefstations. Van oudsher heeft statistiek daarbij het belangrijkste accent. Expertise met betrekking tot wiskundige methodologie voor modelbouw is in opbouw. Op het terrein van operationele analyse is GLW-DLO niet actief. Waar in deze bijdrage gesproken wordt over kwantitatieve methoden wordt operationele analyse uiteraard ingesloten, maar het is mogelijk dat het gezegde niet steeds voor deze discipline actueel is.

In deze bijdrage willen we een indruk geven over het gebruik van modelbouw en statistiek door onderzoekers binnen het aandachtsgebied Landbouw en Milieu, waar onze ervaring met het toepassen en creëren van kwantitatieve methodologie zijn oorsprong vindt. We gaan daarbij in op het belang van de ontwikkeling van nieuwe methodologie en de financiering daarvan en plaatsen ook enkele kanttekeningen bij het onderwijs van modelbouw en statistiek aan (aankomende) onderzoekers. Wij zijn van mening dat de profilering van onderwijs en onderzoek in de kwantitatieve methoden gediend is met een betere aansluiting op de maatschappelijke behoefte dan tot nu toe het geval is. Opinies over hieraan gerelateerde thema's treft men ook regelmatig aan in de vakliteratuur; enkele recente verwijzingen zijn Minton (1994), Morrison (1994), Oosterhoorn (1993), Wild (1994).

2 Onderzoek voor landbouw en milieu

Om een indruk te geven van de diversiteit en de aard van de onderzoeksvragen binnen het aandachtsgebied van landbouw en milieu volgen hier enkele voorbeelden:

- beheersing en monitoring van positieve en negatieve kwaliteit van agrarische producten
 - * samenstelling en sensorische eigenschappen
 - . voedingswaarde
 - . smaak, geur, stevigheid
 - * uit de produktieketen of uit het milieu afkomstige contaminanten van biologische, fysische of chemische aard
 - . bacteriologische besmetting
 - . radioactieve besmetting
 - . contaminanten van bestrijdings- en geneesmiddelen
 - . ongewenst hoge nitraatgehalten
 - . aanwezigheid van ongewenste conserveringsmiddelen
- onderzoek naar doelmatige produktiesystemen
 - * maatschappelijk aanvaardbare produktiemethoden
 - . ethisch verantwoorde teelt- en vangstmethoden
 - . gebruik van natuurvriendelijke methoden voor plaagbestrijding
 - * economisch verantwoorde bedrijfsvoering
 - . minimale belasting van milieu
 - . optimale benutting van natuurlijke hulpbronnen
 - . integrale keten beheersing
- milieubeheer en milieubeheersing
 - * voorspelling en monitoring van het effect van menselijke activiteit op biodiversiteit en populatieomvang
 - . ecotoxicologische effecten van milieuvervuiling
 - . invloed van fragmentatie van het landschap op de fauna
 - * idem van beheersmaatregelen
 - . beperking van vangstquota van vis
 - . beperking van gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen
 - . beperking van grondwateronttrekking

Al deze onderwerpen raken een of meer facetten van het leefklimaat in Nederland. Als gevolg van menselijk handelen of van onbedoelde bijwerkingen daarvan verandert onze leefomgeving voortdurend. Met uit maatschappelijke prikkels geboren ingrepen of beleidsmaatregelen wordt getracht het leefklimaat op een gewenst niveau te brengen of te houden. Zulke maatregelen of ingrepen dienen doelmatig en doeltreffend te zijn. Om het effect van maatregelen te kunnen beoordelen is het gewenst dit vooraf zoveel mogelijk kwantitatief te kunnen voorspellen en achteraf te kunnen meten.

Traditioneel worden in het landbouwkundig onderzoek daarvoor experimenten uitgevoerd en metingen gedaan waaruit met statistische analyses de nodige informatie wordt gedestilleerd. Mede omdat de met statistische modellen beschreven resultaten soms onvoldoende recht doen aan de complexiteit van de bestudeerde processen worden in toenemende mate voor dit doel ook mechanistische modellen ontwikkeld en gebruikt, al dan niet ingebed in ingewikkelde simulatie- en optimaliseringsmodellen; deze modellen

zijn veelal van deterministische aard. Beide manieren van informatie-beschrijving dienen uiteindelijk hetzelfde doel: het relevante deel van het te bestuderen systeem zo goed mogelijk beschrijven met een wiskundig model om vervolgens dit model te gebruiken voor het voorspellen van de effecten van maatregelen of ingrepen in het systeem.

De maatschappelijke relevantie van toegepast onderzoek wordt in belangrijke mate bepaald door de onzekerheden in de geproduceerde resultaten en de consequenties daarvan voor de te nemen beslissingen. De resultaten van metingen, modellen en daarop gebaseerde analyseresultaten dienen een solide basis te vormen voor te nemen beslissingen. Voorspellingen op basis daarvan die onvoldoende nauwkeurig zijn, of waarvan de mate van nauwkeurigheid onbekend is, zijn van geen waarde en kunnen onverantwoorde beslissingen in de hand werken.

3 Inbreng van kwantitatieve methoden

Het ontwikkelen en toepasbaar maken van methodologie voor het werken met wiskundig geformuleerde modellen is bij uitstek het terrein waarop de kwantitatieve methoden zich bewegen. Kwantitatieve methoden kunnen daarom een belangrijke bijdrage leveren aan de doelmatigheid van het landbouwkundig onderzoek.

Statistiek speelt onder meer een rol bij het schatten van modelparameters (kalibreren) op basis van experimenteel of observationeel verkregen onderzoeksresultaten en bij het kiezen uit alternatieve modellen (selectie van predictoren of modelstructuur). Ook is statistische expertise van belang bij het efficiënt opzetten van onderzoek en bij het opnemen van de stochastische componenten in het model die van belang zijn voor de precisie van te maken voorspellingen. De laatste jaren komt validatie van modellen als een belangrijk onderwerp naar voren. Methodologie voor onzekerheids- en gevoeligheidsanalyse van veelal complexe modellen is onderontwikkeld en verdient in de toekomst veel aandacht. Een doelmatige onzekerheidsanalyse is uiteraard van belang als men enige greep wil krijgen op de voorspelkwaliteit van het model. Gevoeligheidsanalyse hangt hiermee samen, maar is ook van belang als eerste stap in een zinvolle modelvereenvoudiging. Vanuit de toegepaste wiskunde kunnen de nodige impulsen worden gegeven aan het vinden van een optimale modelstructuur. Waar de probleemstelling gericht is op het beheersen van ingewikkelde (productie-) systemen en het vinden van optimale oplossingen levert operationele analyse, al dan niet in combinatie met statistiek, daarvoor onmisbare methodologie. Modelbouw, statistiek en operationele analyse zijn derhalve belangrijke instrumenten in toegepast onderzoek voor een precieze formulering en oplossing van onderzoeksvragen. Deze instrumenten, die zich in het landbouwkundig onderzoek lange tijd onafhankelijk van elkaar hebben ontwikkeld, moeten meer en meer in samenhang met elkaar, maar ook gebruikmakend van moderne communicatie- en presentatie-mogelijkheden worden toegepast. De doelmatigheid van de toepassing van kwantitatieve methoden in het aandachtsgebied van landbouw en milieu moet worden afgemeten aan de mate waarin deze er in slagen bij te dragen aan de beheersing van de aan de orde zijnde maatschappelijke problemen.

Kwantitatief en kwalitatief is de inbreng vanuit de kwantitatieve methoden nog lang niet altijd zo groot en goed als die moeten zijn. Voor een belangrijk gedeelte kan dit worden toegeschreven aan een bij de snelle evolutie van de mogelijkheden achterlopende

kennisontwikkeling, zowel aan de vraagzijde als aan de aanbodzijde. De volgende stellingen brengen de situatie enigszins in beeld:

- Er zijn veel onderzoekers die van kwantitatieve methoden gebruik maken voor het analyseren van gegevens of voor het modelmatig beschrijven van een systeem om daarmee voorspellingen te maken. Er zijn maar weinig onderzoekers die deze toepassingen van de wiskunde in zodanige mate beheersen dat zij integratie van bijvoorbeeld modelbouw en statistiek in hun onderzoek gestalte weten te geven.
- Veel bouwers van mechanistische of simulatie-modellen komen niet toe aan afdoende kalibratie en validatie daarvan of aan kwantificeren van de onzekerheden in de met dat model te maken voorspellingen. Als een model niet bevredigend werkt moet een afweging worden gemaakt tussen compliceren van het model en het zoeken naar alternatieve, soms meer robuuste, systeembeschrijvingen. De in de praktijk meestal negatieve relatie tussen complexiteit van modellen en de voorspelkwaliteit krijgt daarbij veelal te weinig aandacht.
- Veel gebruikers van statistiek beperken zich tot data analyse en komen niet toe aan het helpen bouwen en evalueren van modellen die niet alleen in beschrijvende zin maar ook in mechanistische zin bevredigend zijn voor het kwantificeren van onderzoeksresultaten. Eenvoudige mechanistische modellen kunnen een belangrijk hulpmiddel zijn bij het richting geven aan experimenten of steekproefonderzoek, of kunnen zelfs een alternatief zijn voor experimenteel onderzoek dat te duur is, een te onzeker perspectief heeft of waarvan de uitvoering onethisch geacht wordt. Simulatieresultaten van complexe modellen en analytische inzichten in het gedrag van eenvoudige modellen voor soortgelijke problemen (of van vereenvoudigde versies van het complexe model) kunnen elkaar goed aanvullen.
- Voor onderzoekers in de toepassingsgebieden, maar ook voor gebruikers van onderzoeksresultaten, is het voor de formulering van hun vraagstellingen, alsmede voor de communicatie daarover met anderen, van groot belang dat in het onderwijs een vak wiskundige onderzoeksmethodologie wordt aangeboden, waarin de beginselen van modelbouw, statistiek en operationele analyse in relatie met toepassingen en zonodig in onderlinge samenhang aan de orde komen.
- Het onderzoek van de experts op het terrein van de kwantitatieve methoden, die zich bezig houden met opleiding en ondersteuning van onderzoekers op de toepassingsgebieden, dient gericht te zijn op het oplossen van onderzoeksproblemen uit die toepassingsgebieden. De relevantie van de bijdrage van de kwantitatieve methoden dient te worden afgemeten aan het kwantitatieve en kwalitatieve effect van die bijdrage. Theoretisch wiskundige of statistische onderwerpen zullen daaraan ondergeschikt blijven, maar voor ontwikkelingen die pas op langere termijn tot toepassingen voeren dient voldoende strategische ruimte aanwezig te zijn. Een toepassingsgericht echelon is, ook in dat opzicht, onmisbaar voor het in stand houden van doelmatige communicatie tussen wetenschapsgebieden die kwantitatieve methoden als gereedschap nodig hebben en het fundamentele onderzoek op het gebied van de kwantitatieve methoden.

- Hiernaast blijft fundamenteel grensverleggend onderzoek op het gebied van de kwantitatieve methoden noodzakelijk voor de ontwikkeling van basistheorie.

4 Onderzoeksfinanciering

De methodologie van de kwantitatieve methoden heeft een aantal universele aspecten, die voor vele disciplines van belang zijn. Onderzoekers beheersen deze methodologie zelf meestal slechts ten dele; het ontbreekt hen ook aan de tijd en de middelen om deze op voldoende niveau te onderhouden en te ontwikkelen. Intensieve samenwerking met experts is daarom van grote betekenis, zowel voor het doelmatige gebruik van de methodologie als voor de ontwikkeling daarvan. Modelbouw, statistiek en operationele analyse zullen zich dus autonoom moeten blijven ontwikkelen op basis van de wiskunde. Tegelijkertijd is die ontwikkeling in een onderlinge wisselwerking met andere disciplines van strategisch belang voor kwantitatief toegepast onderzoek in die andere gebieden. Zonder de stimulansen vanuit die andere disciplines kunnen de kwantitatieve methoden zich niet adequaat ontwikkelen als hulpwetenschappen voor de toepassingsgebieden.

Het vrijwel universele strategische belang van doelmatige toepassing van kwantitatieve methoden zou onderzoek financierende en bij de toepassingen belang hebbende instanties aanleiding moeten geven om fondsen beschikbaar te stellen voor de ontwikkeling van deze basiswetenschappen. De praktijk blijkt vaak anders, niet alleen in Nederland. Onderzoeksprojecten die gericht zijn op het ontwikkelen of verbeteren van wiskundige of statistische methodologie komen meestal als zodanig niet in aanmerking voor financiering uit fondsen voor toegepast onderzoek. Men kan zich afvragen of dat terecht is. Op basis van het potentiële belang daarvan zou het antwoord 'nee' moeten zijn. Maar als deze afwegingen anders uitvallen moeten de beoefenaren van kwantitatieve methoden ook de hand in eigen boezem steken en zich afvragen of zij hun disciplines wel op adequate wijze hebben geprofileerd. Het blijkt veelal mogelijk methodologisch onderzoek uit te voeren onder de vlag van een maatschappelijk relevante toepassing. Het belang dat die toepassing daarbij heeft is dan wel bepalend voor toekenning van fondsen. Dit is op zichzelf een beperking op de mogelijkheden voor strategische expertise-ontwikkeling. Tegelijkertijd is het een groot voordeel dat de inspanningen vanuit kwantitatieve methoden op die wijze direct gericht zijn op het bijdragen aan de beheersing van maatschappelijke problemen. Het is aan de beoefenaren van de kwantitatieve methoden om op overtuigende wijze te laten zien wat zij daarbij aan doelmatigheid en doeltreffendheid hebben bij te dragen. Naar de mate waarin zij daarin slagen zullen zij aan gezag winnen en zal ook de toegankelijkheid van bronnen voor strategische financiering toenemen.

5 Onderwijs

Bij onderwijs en onderzoek in de kwantitatieve methoden dient naar onze mening expliciet onderscheid te worden gemaakt tussen drie groepen (toekomstige) belanghebbenden met onderling fundamenteel verschillende, maar wel op elkaar af te stemmen, opleidingsbehoeften:

- * gebruikers van kwantitatieve methoden, die vooral moeten worden geschoold in begrijpen en gebruiken van modellen voor de formulering van onderzoeksvragen, in het doelmatige gebruik van software voor de oplossing daarvan, en in het op de juiste

wijze interpreteren en hanteren van kwantitatieve informatie.

- * specialisten voor toepassingsgerichte ondersteuning en onderzoek, die behalve over een uitstekende wiskundige achtergrond moeten beschikken over vaardigheid in het oplossen van praktijkproblemen; deze specialisten kunnen, met de nodige aanvullende training, afkomstig zijn uit wiskundige studierichtingen als ook uit studierichtingen waarin toepassing van kwantitatieve methoden belangrijk is.
- * specialisten voor fundamenteel onderzoek naar de theoretisch wiskundige onderbouwing van de methodologie van de kwantitatieve methoden.

De eerste groep is verreweg het grootst in aantal, maar juist deze groep wordt tot nu toe bij het onderwijs niet duidelijk als een aparte doelgroep onderkend. Het onderwijs voor die groep op het gebied van de kwantitatieve methoden was en is lang niet altijd voldoende gericht op eindgebruik; dit geldt zeker ook voor de opleiding bij de hogescholen. Dit wordt mede in de hand gewerkt doordat onderwijsgevendens zelf niet altijd beschikken over relevante ervaring met praktische toepassingen. Bij de universiteiten wordt voor wat betreft het wiskundige niveau wellicht te veel afgestemd op eisen die voor toelating tot de tweede groep zouden kunnen dienen en te weinig op het begrijpen en leren hanteren van kwantitatieve methoden als gereedschap voor communiceren over de formulering van problemen en de beschrijving van kwantitatieve informatie. Dat is een gemiste kans, want het is juist de eerste groep die uiteindelijk bepalend is voor het prestige van de kwantitatieve methoden bij managers van onderzoek. Hiermee wil overigens niet gezegd zijn dat het doelmatig inrichten van het onderwijs voor deze doelgroep een eenvoudige zaak is. Kant en klare oplossingen zijn niet voorhanden: er zal veel energie nodig zijn om een doelmatige mix van theorie en praktijk aan te bieden binnen de beperkingen die aan onderwijsprogramma's worden gesteld en gebruikmakend van de uitdagende moderne mogelijkheden van computerondersteund onderwijs. Daarbij zou enige inspiratie kunnen worden geput uit inmiddels verschenen goed bruikbare Nederlandstalige studieboeken: Banens *et al.* (1994), Oude Voshaar (1994), Van Houwelingen *et al.* (1993). Op het raakvlak van modelbouw en statistiek zijn nauwelijks studieboeken beschikbaar. Een eenvoudige inleiding is bijvoorbeeld Doucet en Sloep (1992).

Doelgerichte opleidingen voor de middengroep komen in Nederland pas de laatste jaren van de grond; het grootste deel van deze beroepsgroep heeft vanuit een wiskundige, theoretisch statistische opleiding, of vanuit een toepassingsgebied, de noodzakelijke kennis door zelfstudie en ervaring verworven.

6 Conclusie

Een belangrijke conclusie is dat het wenselijk is de inrichting van onderwijs en onderzoek in de kwantitatieve methoden kritisch te bezien. Hiervoor is nodig dat alle betrokkenen kennis nemen van elkaars inzichten en ervaringen, en samenwerken bij het vinden van wegen om de kwantitatieve methoden beter te profileren als onmisbare disciplines voor het inbrengen van doelmatige methoden bij het oplossen van maatschappelijke problemen.

Referenties

- Banens, P.J.A., R.J.M.M. Does e.a. (1994): Industriële statistiek en kwaliteit. Kluwer, Deventer.
- Doucet, P. en P.B. Sloep (1992): Mathematical modeling in the life sciences. Ellis Horwood, Chichester.
- Houwelingen, H. van, Th. Stijnen, R. van Strik (1993): Inleiding tot de medische statistiek. Bunge, Utrecht.
- Minton, P.D. (1994): Outreach, the profession, and certification. Amstat News, november 1994, p.8.
- Morrison, J. (1994): Acceptability, or the quality of statistics. RSS News 21(8) p.3.
- Oosterhoorn, A. (1993): Het belang van de eerste indruk. Kwantitatieve Methoden 14, 5-8.
- Oude Voshaar, J.H. (1994): Statistiek voor onderzoekers; met voorbeelden uit landbouw- en milieuwetenschappen. Wageningen Pers, Wageningen.
- Wild, C.J. (1994): Embracing the "wider view" of statistics. The American Statistician 48, 163-171.