

y_n]

Wiskunde en maatschappij. I

H. J. M. BOS
Rijksuniversiteit Utrecht

In september 1975 heb ik aan het Mathematisch Instituut van de Universiteit van Amsterdam drie colleges gegeven onder de titel *Wiskunde en maatschappij*. Zij vormen de inleiding voor een serie werkgroepactiviteiten en colleges over dit thema. De redactie van *Wiskunde en Onderwijs* was bereid de tekst van deze colleges in drie afleveringen van de jaargang 1980 van het tijdschrift op te nemen.

In deze colleges benader ik het onderwerp vanuit mijn eigen vakgebied, *de geschiedenis van de wiskunde*. Het eerste college begint dan ook met twee historische verhalen die mij dierbaar zijn. Het is getiteld

Mathematisering en maatschappij, of,
hoe loopt een success-story af ?

Het eerste verhaal gaat over Nicolo TARTAGLIA (zijn naam betekent : de stotteraar), een Italiaans wiskundige uit de zestiende eeuw. Het verhaal vertelt hij zelf in zijn boek *Nova Scientia* - de nieuwe wetenschap - dat hij in 1537 publiceerde. Hij schrijft daar dat hij in 1531 bevriend was met een kanonnier van het oude kasteel te Verona. Vaak discussieerden zij over de kunst van het schieten met kanonnen, in het bijzonder over de

hoek waaronder men een kogel moet wegschieten om de grootste reikwijdte te verkrijgen. Door deze discussies geïnspireerd, werkte TARTAGLIA een theorie over kogelbanen uit. Hij vatte de kogelbaan op als samengesteld uit drie delen ; een recht deel waar de "violente" beweging, die het kruit aan het projectiel heeft gegeven, overheerst, een cirkelvormig deel waar de "violente" en de "natuurlijke" beweging zich mengen, en een loodrecht gedeelte waar de "natuurlijke" beweging van de kogel overheerst. Hij berekende de relatie tussen de elevatie en de schootsafstand bij vaste hoeveelheid kruit - althans dat zegt hij in zijn boek. Toen stond hij voor de vraag of hij deze theorie zou publiceren ; eerst dacht hij, ja...

Maar later, toen ik er op een dag zelf dieper over nadacht, leek het me een laakbare zaak, schandelijk en barbaars, voor God en de mensen streng strarbaar, om zich toe te willen leggen op de vervolmaking van een kunst die de naaste schaadte en gericht is op de ondergang van de menselijke soort, christenen in het bijzonder, in de oorlogen die zij voortdurend onderling voeren.

Dus schreef hij zijn theorie niet op, hij studeerde er niet verder over, ja zelfs hij verbrandde zijn papieren en besloot niets erover te vertellen, hoezeer men hem er ook om vragen zou. Maar hij bleef toch niet bij die mening - anders hadden we dit verhaal niet in zijn boek kunnen lezen. Hij vertelt verder :

Maar heden ten dag, oog in oog met de woeste wolf die zich opmaakt zich op onze kudde te werpen... (die woeste wolf, dat waren de Turken die in 1529 al het eerste beleg voor Wenen sloegen en nu werkelijk gevaarlijk werden ook voor Noord-Italië), ziende ook dat onze herders nu eensgezind zich inzetten voor de gezamenlijke verdediging, lijkt het me niet meer geoorloofd deze dingen nog langer verborgen te houden, en ik heb besloten om ze openbaar te maken, deels in geschrifte, deels door mondelinge mededeling, ten voordele van iedere christen, zodat op die manier eenieder beter in staat is, òfwel om de gezamenlijke vijand aan te vallen, òfwel om zich tegen hem te verdedigen.

(naar de Franse vertaling van gedeelten uit de *Nova Scientia* in P. CHARBONNIER, *Essais sur l'Histoire de la Ballistique*, Paris 1928, p. 17).

De relatie tussen elevatiehoek en reikwijdte, het kernstuk van zijn theorie, heeft hij overigens niet in zijn boeken op schrift gesteld en of hij dit resultaat mondeling heeft meegedeeld is niet bekend. In elk geval weten we niet welke relatie hij op het oog had ; zelfs weten we niet zeker of hij er werkelijk wel een gehad heeft. Een mooi en leerzaam verhaal over de gewetensnood van wetenschappers, ik kom er straks nog op terug, eerst het andere verhaal.

Dat tweede verhaal gaat over Petrus PLANCIUS, onze vaderlandse dominee die in de tijd van de jonge republiek vooral bekend was door zijn cartografische en zeevaartkundige studies. Het schijnt zelfs dat hij de zeevaart ook zo vaak in zijn preken betrok dat bij hem de kerk vaak leek op een dependance van zijn school voor zeelieden. Het grootste zeevaartkundige probleem in PLANCIUS' dagen was de positiebepaling op zee. Het

probleem staat ook bekend als het lengteprobleem. Men kan namelijk op zee de geografische breedte, d.w.z. de hoekafstand tot de equator, bepalen (men doet dat bijvoorbeeld door de positie van de poolster te bepalen, poolshoogte nemen heet dat). Maar men kan niet rechtstreeks van de hemel de geografische lengte aflezen, d.w.z. de hoekafstand tot een vaste meridiaan, laten we zeggen de meridiaan door Amsterdam. De aarde draait namelijk ten opzichte van de hemel (of de hemel ten opzichte van de aarde), zodat de stand der sterren telkens wisselt - je kunt dus de lengtepositie niet rechtstreeks bepalen. Dat dat een groot probleem was, speciaal voor het zeevarende Holland, is duidelijk. Nu had men ontdekt dat de kompassen niet overal precies naar het noorden wijzen, maar een afwijking vertonen. Deze afwijking, of miswijzing zoals men het noemde, is plaatsafhankelijk. Verscheidene zeevaartkundigen vóór PLANCIUS hadden al gesuggereerd dat deze miswijzing benut kan worden bij de plaatsbepaling op zee. PLANCIUS zelf propageerde dit idee sterk. Kent men, zo redeneerde hij, de waarde van deze miswijzing op de verschillende plaatsen op aarde, dan heeft men een soort tweede coördinaat, die samen met de geografische breedte plaatsbepaling op zee mogelijk maakt. Uitgaande van de schaarse toen bekende gegevens ontwikkelde PLANCIUS een theorie over het verband tussen de geografische positie en de miswijzing. Het was een theorie die, gezien het belang voor de scheepvaart, om verdere "research and development" vroeg, en de Hollandse Koopvaart, met name de Verenigde Oostindische Compagnie voelde daar wel voor. Dus werden de schippers en stuurman geïnstrueerd overal gegevens te verzamelen over de miswijzing van het kompas, en deze gegevens bij thuiskomst in te leveren bij Petrus PLANCIUS, de hoofdzeevaartkundige van de Compagnie. Dat deden deze schippers en stuurman echter niet gaarne ; er was tegenstand tegen de kamergeleerde, die nooit de zee had gezien en die met zijn wetenschap en met hulp van de hoge heren wilde ingrijpen in het beroep van de zeelui. Een illustratie van deze weerstand neem ik uit een polemisch geschrift tegen PLANCIUS uit 1600. De schrijver van dat geschrift maakt er zich druk over dat PLANCIUS wordt geëerd voor het verzamelen van al die gegevens en vertelt even hoe dat werkelijk ging :

Dit selfde is aldus te weghe ghebraght : Als dese Stuerluyden, daer dit voornoemde werck van ghesocht is, alsulcke verre ende periculose reysen nae Oost-Indien, ende op ander plaetsen bestaen, ende met groote gevaer van haer leven volbroght hadden, so dat die eerste Oost-Indische vaerders van 250. man die zy uyt voerden, door quade ordinantie, daer zy mede af ghestuert waren, niet meer als 60. personen, so krancken als ghesonden, wederom te rugghe en broghen, die alle door toevallende swarigheyt omghecomen waren, ende die overghebleven, waren soo veer ghecomen dat zijt gheen 14.daghen langher in Zee soude ghehardt hebben, of zy souden met die schepen van elende hebben moeten vergaen, als haere eygen boecken die daer van ghedruckt zijn, uyt wysen.

Ende als zy uyt alsulcken perykel, Schip, en goet in een behouden haven (te weten in Tessel) manlick ghebrocht hadden, doen hebben zy haere kisten moeten openen, om dat men dese voornoemde Auctuer, oft zynen aenhanck, haer vergaderde schriften, ende kunst overantwoorden soude, die daer even soo veel verstandts van hadden, als die blinde van die verruwe doet, als die vergaderde Naeldt-wysinghe wel mede brenght. Ende dese Stuerluyden, hier van te voren wel verwitticht zijnde, hebben haere schriften en kund die zy met alsulcke groote perykel gehaelt hadden niet willen

overgheven ; maar hebben alsulcke schriften in haer kisten ghelaten die zy wel hebben willen missen, jae daer zijn sommighe die haer wel doruen beroemen, dat zy dese haere Leerreesters recht contrary overgegeven hebben als zy dat wel bevonden hadden. Alsoo nootd somtijts die Vos die Kraen te gast, als men bedrogh met bedrogh betaelt, daermen in die Fabulen AEsopi van lesen. Want die stuerluden seggen, met seer goede reden, sullen zy ons leeren ende van ons haelen, ende vergaderen daer zy haer hiernaemede soecken te behelpen, dat is ons ongeleghen, want een stuerman is zijn kunt, kunst, ende besochtheyt zijn eyghen rijckdom, ja zijn acker ende zijn ploegh, daer hy hem mede soeckt te behelpen, oft te ernerren...
(geciteerd in BURGER (jr.) *Amsterdamsche Rekenmeesters en Zeevaartkundigen in de zestiende eeuw*, Amsterdam 1908, pp. 50-51)

Harde woorden : de zeelui worden met "quade ordinantie" op reis gestuurd, met slechts instructies dus, zonder twijfel van kamergeleerden als PLANCIUS, ze komen terug, tenminste voor zover ze niet onderweg bezweken zijn, en moeten dan hun "vergaderde schriften ende kunst" overhandigen, kortom de schriftelijke neerslag van hun vakmanschap, waar PLANCIUS evenveel van begrijpt als de blinde van verf. Nu - dat staat ze niet aan, ze weigeren of saboteren.- Een verhaal dus van tegenwerking en sabotage van wetenschappelijk onderzoek waarvan men schade vreest voor de eigen positie als zelfstandig vakman.

Waarom zijn deze twee verhalen mij dierbaar ? Het zijn tenslotte niet zulke vrolijke verhalen. Ze gaan over pogingen om door de wetenschap veroorzaakte ontwikkelingen tegen te houden. De ene poging kwam vanuit die wetenschap zelf. Een wetenschapper TARTAGLIA, trachtte door geheimhouding, een toepassing te voorkomen die hij niet verantwoord vond. Het is dus een poging om gestalte te geven aan de eigen verantwoordelijkheid van de wetenschapper - hoewel een beetje een halfslachtige poging. In het andere geval verzette zich een beroepsgroep, de zeelui, tegen de invoering van wetenschappelijke methoden in hun beroepspraktijk, omdat zij vreesden daardoor een stuk zelfstandigheid en zekerheid te verliezen (de zeeman zijn kunst is zijn rijkdom, zijn akker en zijn ploeg, die mag je hem niet ontnemen). Dit soort dingen komt vandaag de dag ook voor en dat is zorgelijk genoeg. Toch heb je het idee dat het in deze verhalen nog niet zo zorgelijk was als nu. De verhalen, zeker het verhaal over TARTAGLIA, komt eigenlijk als een beetje aandoenlijk en futiel over. Hoe komt dat ? Dat komt omdat in die tijd de wetenschap waartegen men zich verzette nog niet zo erg effectief was. Geheim of niet geheim, TARTAGLIA's theorie heeft geen merkbare invloed gehad op de effectiviteit van de toenmalige artillerie, en PLANCIUS' theorie is later niet houdbaar en niet bruikbaar gebleken voor de zeevaart. Kortom, de wetenschap was toen nog niet zo succesrijk als zij nu is. Op het ogenblik zijn dit soort problemen van verantwoordelijkheid zo moeilijk juist omdat men zich zo machteloos voelt tegenover de ontwikkeling van wetenschap en technologie. De ontwikkeling van nieuw wapentuig, de automatisering van arbeidsprocessen waarin voorheen geschoolde, zelfstandig werkende mensen betrokken waren, deze zaken lijken nu vaak niet meer tegen te houden door simpele persoonlijke actie of door simpele tegenstand. Waarom niet ? Omdat wetenschap en techniek zo succesvol zijn gebleken.

Vanwege dat succes zijn ze begerenswaard geworden en daardoor verbonden met geld en macht. Wetenschap en techniek zijn een overal ingrijpende factor geworden die de maatschappelijke veranderingen intensiveert en versnelt. En omdat wetenschap en techniek overal ingrijpen lijken de veroorzaakte processen zo onbeïnvloedbaar door enkelingen. Deze ervaring van onmacht als enkeling tegenover door wetenschap en techniek veroorzaakte of geïntensiveerde maatschappelijke veranderingen is algemeen. Of men de veranderingen als vooruitgang of als bedreiging ziet, of men ze ervaart als ongestuurd, op eigen kracht over ons komend, of men meent de machthebbers te kunnen aanwijzen die de veranderingen teweegbrengen in hun eigen voordeel, het gevoel van machteloosheid blijft. Succes van de wetenschap. Hoe is dat zo gekomen ? Hoe is die success-story van wetenschap en technologie verlopen ? Met die vraag houden zich de historici der wetenschap bezig en het is een zeer ingewikkelde affaire. Maar ik wil toch proberen om er iets naders over te zeggen en het lijkt me het beste om dat te doen door zeer globaal de vervolgh verhalen op de twee eerste verhalen te vertellen.

TARTAGLIA's boek geldt als het begin van de theoretische *uitwendige ballistiek*, dat wil zeggen de leer van de beweging van projectielen na het verlaten van het geschut (wat er binnen het geschut gebeurt valt onder inwendige ballistiek). De volgende stap in de geschiedenis van de uitwendige ballistiek was GALILEI's ontdekking dat, in vacuo, projectielen paraboolbanen beschrijven. Op deze ontdekking werd een artillerietheorie opgebouwd, de zogenaamde parabolische theorie, die meer dan anderhalve eeuw op artilleriescholen onderwezen is en die even lang door de artilleristen zelf zeer terecht werd gewantwoord. Projectielen bewegen zich namelijk niet in vacuo maar in de lucht, en zij ondervinden daar weerstand. De theorie van beweging in een medium met weerstand is moeilijk - daar komen differentiaalvergelijkingen bij kijken. Die theorie is geleidelijk ontwikkeld na GALILEI. Christiaan HUYGENS heeft er aan gewerkt ; evenals NEWTON, BERNOULLI en EULER. Tot in de 19e eeuw bleef deze ballistische theorie een theoretische aangelegenheid. Men leerde voor simpele weerstandsfuncties de bijbehorende differentiaalvergelijkingen opstellen en numeriek, of met andere benaderingsmethoden oplossen, waardoor men tabellen kon berekenen. Maar die tabellen waren niet erg effectief omdat men de werkelijke weerstandsfunctie niet kende en omdat bij het toenmalige geschut nog veel teveel andere complicaties optraden.

Zo lag het probleem in de 19e eeuw : men moest proberen de werkelijke weerstandsfuncties te bepalen en de bijbehorende differentiaalvergelijkingen numeriek of anders op te lossen om tabellen te berekenen. Zo'n probleemstelling is alleen zinvol als men geschut heeft dat een beetje regelmatig schiet, de kogels moeten steeds de loop met dezelfde snelheid verlaten en dezelfde luchtweerstand ondervinden. In de 19e eeuw ontstond zulk geschut - geschut dus waarop een mathematische theorie toepasbaar was - door de invoering van lopen met spiraalgroeven, en door de invoering van cilindervormige projectielen. Daarvoor schoot men met echte kogels, d.w.z. bolvormige projectielen.

De projectielen en de geschutstypen werden gestandaardiseerd en men bepaalde experimenteel, met meer of minder succes, de weerstandsfuncties.

In de 20e eeuw wijzigde zich de probleemstelling voor de ballistiek, met name door de

opkomst van lucht- en lange afstandsgeschut. Men kon daardoor bepaalde, tot nu toe gebruikelijke benaderingsmethoden bij het oplossen van de differentiaalvergelijkingen niet meer toepassen. Ook had men veel meer, en onderling verschillende geschutstabellen nodig. Dit leidde ertoe dat men op grote schaal met behulp van numerieke integratie tabellen ging berekenen. Enorme groepen ballistische rekenaars werkten daaraan, met eerst niet veel meer mechanische hulpmiddelen dan tafelrekenmachines. Tussen de wereldoorlogen, en vooral in de tweede wereldoorlog deed zich steeds meer de noodzaak voelen voor mechanisering en automatisering van dit werk, en deze noodzaak vormde de belangrijkste reden voor de ontwikkeling van de *computer*. Van de 13 bekendste computers die in de jaren 1937 tot 1948 werden ontwikkeld dienden er minstens negen primair voor ballistische berekeningen.

Verdere automatisering van de artillerie ontstond doordat men de computers niet meer eerst schiettabellen liet berekenen maar ze rechtstreeks met het geschut verbond en zo programmeerde dat ze direct het geschut de gewenste stand gaven.

Zo vinden we een der belangrijkste zaken in de huidige wiskunde, de computer, aan het einde staan van een ontwikkeling die bij TARTAGLIA begon. Een ontwikkeling die de artillerie tot een hoog wetenschappelijk-technologisch, ver geautomatiseerd en zeer effectief bedrijf maakte - een success-story dus van wetenschap en in het bijzonder van de wiskunde.

Ook bij het verhaal over PLANCIUS kan ik aansluiten met een success-story van de wetenschap, namelijk de oplossing van het probleem van de positiebepaling ter zee, in het bijzonder van het lengteprobleem. PLANCIUS' idee om de miswijzing van het kompas te gebruiken bleek niet bruikbaar. Er werd dus naar een andere oplossing gezocht. In principe kende men die oplossing ook wel in PLANCIUS' tijd. Het grondidee ervan is simpel. Als je op ieder moment precies weet hoe laat het is in Amsterdam, en dus hoe daar op dat tijdstip de sterren staan, dan kun je uit de stand van de sterren zoals jij ze ziet bepalen hoe groot je hoekafstand van de meridiaan van Amsterdam is, d.w.z. dan kun je je geografische lengte bepalen. Dus zou je een goede klok mee moeten nemen die op lange zee-reizen precies bij blijft. HUYGENS heeft gepoogd dit probleem op te lossen, zijn uitvinding van de slingerklok en zijn pogingen goede zeeklokken te construeren staan in verband met het lengteprobleem. Met hem hebben vele anderen geprobeerd het lengteprobleem op deze manier op te lossen, maar pas in de tweede helft van de 18e eeuw lukte het HARRISON een bruikbare zeechronometer te construeren. Het ding was echter erg duur.

Men zocht overigens niet alleen in de richting van constructie van zeeklokken. Aan de hemel bevindt zich namelijk ook een klok waarop men kijken kan, namelijk de maan. Als men precieze tabellen heeft van de stand van de maan t.o.v. de sterren, dan kan men de precieze tijd te Amsterdam van de hemel aflezen. Daartoe waren dus nodig: goede maantabellen en goede observatieinstrumenten. De laatste kwamen er in de 18e eeuw met het quadrant en het sextant. De eerste vormden een moeilijker probleem. De maanbeweging is namelijk zeer ingewikkeld en het is daarom zeer moeilijk een adequate theorie uit te werken waarmee men maanstanden voorspellen kan en zo de gevraagde tabellen kan opstellen. De maan beweegt onder de invloed van zowel de aarde als de zon. Samen zijn dat drie lichamen, en het drielichamenprobleem, het probleem hoe zich drie lichamen ten opzichte van elkaar bewegen, is wel het moeilijkste probleem der

klassieke mechanica. Daar komt ook heel wat wiskunde bij kijken. Men kan zelfs zeggen dat, zodra men NEWTON's bewegingswetten in wiskundige taal vertaald heeft, het drielichamenprobleem een zuiver wiskundig probleem is geworden. De benodigde wiskunde is de differentiaal- en integraalrekening en de daarop voortbouwende Analyse; tot in de twintigste eeuw heeft het drielichamenprobleem wiskundigen geïnspireerd tot het uitwerken van nieuwe theorieën in de Analyse.

NEWTON zelf, samen met LEIBNIZ de ontdekker der differentiaal- en integraalrekening, was zeer geïnteresseerd in de maantheorie. Hij werkte een theorie uit voor de maanbeweging, uitgaande van zijn gravitatietheorie. Deze maantheorie werd verder uitgewerkt door EULER, en vervolgens toegepast door Tobias MAYER, die er de eerste voor de zeevaart bruikbare maantabellen mee berekende. Deze werden in de 60er jaren der 18e eeuw ingevoerd in de Engelse zeevaart, en tot het einde der 19e eeuw bleef de lengtebepaling met maantabellen, naast het gebruik van chronometers in zwang. Beide methoden hebben het bezwaar dat ze afhankelijk zijn van hemelwaarnemingen, die lang niet altijd mogelijk zijn.

In de 20e eeuw is er in de methoden van plaatsbepaling op zee een grote verandering gekomen die dit bezwaar ondervangt. Men heeft namelijk radiopeilingssystemen gecreëerd. Er is een netwerk van radiozenders langs de kusten en op lichtschepen opgesteld. Met radiopeiltoestellen is het nu mogelijk, in elk geval op de druk bevaren routes, automatisch voortdurend de scheepspositie te laten "plotten" op een kaart.

Men ziet ook hier: een automatisering van het proces van plaatsbepaling als einde van een success-story van toepassing der wetenschap op een in de maatschappij ondervonden probleem. Het zijn, vind ik, hoe kort ik ze ook moet vertellen twee heel indrukwekkende verhalen, over het succes en de kracht van de wetenschappelijke methode, die werkelijk problemen kan oplossen, en zo de wereld kan veranderen. Verhalen ook die het begrijpelijk maken dat simpele tegenstand tegen de voortgang van deze toepassingen der wetenschap, zoals bij TARTAGLIA en bij de tegenstanders van PLANCIUS, tegenwoordig nauwelijks effectief kunnen zijn.

Voor ik daarop verder ga moet ik hier duidelijk maken wat die verhalen nu eigenlijk met wiskunde te maken hebben. Voor de mensen uit de 16e, 17e en 18e eeuw was dat geen vraag, voor hen waren de zeevaart en de kunst van het kannonnen mathematische kunsten. Mathematische kunsten besloegen in die eeuwen het gehele gebied van elementair rekenen via architectuur en ingenieurskunst tot geografie. TARTAGLIA en PLANCIUS waren wiskundigen. Maar sindsdien is het begrip wiskunde verschaald, wiskunde is niet meer wat het geweest is.

Toch hebben de verhalen ook met wiskunde in de moderne zin van het woord te maken. Bij de ballistiek is dat wel duidelijk. Het voornaamste probleem daarbij was het vinden van bruikbare en snelle oplosmethoden voor differentiaalvergelijkingen, deze pogingen leidden tot de ontwikkeling van de computer. De bijdrage van de theoretische mechanica aan de ballistiek is lang beperkt gebleven tot de wetten van NEWTON. Het feitelijk theoretisch afleiden van de krachten die op een projectiel werken als functie van de projectielvorm, de snelheid en de luchtdichtheid is zo moeilijk, dat hiervoor toch, tot ver in de 20e eeuw, voornamelijk op experimentele uitkomsten werd gesteund.

Ook het verhaal over het lengteprobleem heeft met wiskunde te maken, omdat de maantabellen van MAYER de eerste maatschappelijke relevante toepassing vormde van de

hogere wiskunde, de differentiaal- en integraalrekening. Die toepassing kwam dus ongeveer honderd jaar na de ontdekking der differentiaal- en integraalrekening, en bleef lang de enige toepassing; pas in het einde der 19e eeuw werd de differentiaal- en integraalrekening ook elders toegepast, namelijk via elektriciteitsleer en elektrische technologie in de elektrische apparaten zoals telegraaf en telefoon.

Maar hoe dan ook, er kan verschil van mening over bestaan of deze verhalen nu tot de geschiedenis van de wiskunde gerekend moeten worden of tot de geschiedenis van andere natuurwetenschappen, zeker is dat het verhalen zijn over het succes van de wetenschappelijke benadering, en dat dat succes in hoge mate bepaald is door de *mathematisering* van de problemen en van de theorieën ter oplossing ervan.

Mathematisering en Maatschappij, daaronder mag ik de twee verhalen toch wel rekenen. Succesverhalen zijn het ook. Ballistiek heeft ons de computer geleverd en hoe machtig en succesvol dat apparaat is weten we allemaal. Navigatie over de oceanen is van een hachelijk avontuur tot een vanzelfsprekende zaak geworden. Als we dus het succes willen begrijpen moeten we ons wat verder verdiepen in de mathematisering.

Er zijn namelijk *drie aspecten van mathematisering* op te merken aan de voorbeelden. Ten *eerste* schept mathematisering macht. Macht om problemen op te lossen, macht om daardoor meer effectief te kunnen ingrijpen in zijn omgeving, anderszins ook macht doordat men informatie goed en hanteerbaar ordenen kan, en kennis is macht. Nu is macht een gezocht artikel in deze wereld, vooral macht om nieuwe dingen te maken, om gecompliceerde processen in de hand te houden, om grote operaties optimaal te leiden. Macht dus die bijvoorbeeld bedrijven kan helpen in de concurrentiestrijd en de marktbeheersing, die bijvoorbeeld ook de overheid kan helpen in het doorvoeren van maatregelen die zij juist acht. Mathematisering schept macht en (nu komt een tautologie) is dus dienstbaar aan de machthebbers.

Ten *tweede* blijft mathematisering niet staan bij simplificerende beschrijving van het object van studie, maar slaat als het ware terug op dat object en versimpelt het zelf. De kanonnen der artillerie moesten gestandaardiseerd worden, vóór er een theorie effectief op toepasbaar was, ze werden éénvormig gemaakt zodat hun effect herhaalbaar werd. De beweging van planeten en sterren, misschien wel de meest regelmatige natuurverschijnselen die we kennen, de eerste waarop gemathematiseerde natuurwetenschap effectief bleek, deze bleken voor de zeevaart nog te gecompliceerd, en door de weersomstandigheden te weinig waarneembaar. Dus moest er een ander systeem over de oceanen gelegd worden, een systeem van radiobakens en daardoor uitgezonden signalen, waardoor navigatie mogelijk werd. De wetenschap schiep eerst een systeem, en bewees daar in vervolgens zijn goede diensten.

Dit effect van mathematisering, dat de objecten zelf gemathematiseerd worden, dat de wiskundige modellen een eigen leven gaan leiden (denk aan de Club van Rome) treedt zeer veel op. Als bijvoorbeeld een systeemanalyst een organisatie doorlicht, zal hij eerst proberen het doel van die organisatie te omschrijven. Hij zal die omschrijving zo kiezen dat hij daaruit een of een klein aantal optimaliseerbare variabelen kan isoleren (bijvoorbeeld winst, of op een andere wijze gemeten output). Dit houdt bijna altijd een eenvoudige formulering van het doel in, een verschralling ten opzichte van de wellicht voorheen niet strikt omschreven maar wel bestaande functie en rol van de organisatie. Vervolgens zal de systeemanalyst een zodanig voorstel tot reorganisatie doen dat het door

hem geformaliseerde doel optimaal verwerkelijkt wordt. De organisatie zal zich min of meer naar het door hem voorgestelde model richten. Kortom, mathematisering blijft in zo'n geval niet staan bij beschrijving van het object in mathematische termen, maar brengt, geholpen door haar prestige en successen elders, die mathematisering ook feitelijk over op het object.

Andere voorbeelden van dit effect zijn allerlei vormen van standaardisering (denk aan het metriek systeem). Verder krijgen gemathematiseerde begrippen in de psychologie zoals het I.Q. een zelfstandig bestaan. Administraties worden aan de computer aangepast. Selectieprocedures en selectiecriteria worden aangepast aan de automatisering van de procedure. Bij geprogrammeerd onderwijs wordt de leerstof aan de mathematisch strak uitgewerkte onderwijsmethode aangepast. Mathematisering, en wetenschap in het algemeen, moet zich vaak eerst zelf een gesimplificeerde wereld scheppen vóór zij in die wereld zelf effectief bezig kan zijn.

Het *derde* aspect van mathematisering dat we zien in de verhalen is dat bij toepassing van gemathematiseerde wetenschap, de techniek een aantal zelfstandige taken van de mens overneemt, en dus een aantal mensen hun zelfstandige rol ontnemt. De artillerist wordt uitgeschakeld, de computer wordt direct met het geschut verbonden. De man met het sextant wordt vervangen door de automatische plotter. Een ander voorbeeld: waarschijnlijk zal in de toekomst de computer een zelfstandige en verantwoordelijke taak overnemen die traditioneel toeviel aan de wiskundeleraar: het opstellen van het lesrooster voor de school. Die wiskundeleraar zal niet rouwig zijn die taak te verliezen, hij zal er wat meer vakantie door krijgen en minder kwade gezichten van collega's. Intussen bewijst dit voorbeeld dat het niet zo is dat mathematisering, computerisering of automatisering in het algemeen alleen maar geestdodende routinetaken van de mens overneemt en zo alleen maar "bevrijdend" werkt. In een aantal gevallen zal dat zo zijn, maar bijvoorbeeld de bevrachtingsorganisator die bij de spoorwegen bevrachtings- en rijschema's opstelt, steunend op ervaring en gevoel voor dat werk, zal zich een verantwoordelijke en boeiende taak ontnomen zien als er een Operations Research rekenschema wordt ingevoerd om de optimale bevrachtings- en vervoersregeling te bepalen.

Deze drie aspecten van mathematiseren, de macht die het geeft, de simplificatie van de omgeving die het meebrengt en het verdringen van mensen uit zelfstandige arbeidsposities, speelden al in de tijd van TARTAGLIA en PLANCIUS. Het zijn ook precies de punten van kritiek die tegenwoordig tegen de technocratische maatschappij naar voren worden gebracht, de maatschappij waarin het zo moeilijk lijkt om je persoonlijk tegen de voortgang van wetenschap en technologie (van technocratie dus) te verzetten of er iets aan om te buigen. Het is goed om op een rij te zetten van welke zijde die kritiek tegen de technocratische maatschappij komt en wat die inhoudt.

Men kan zeggen dat het allemaal begonnen is met de atoombom, waarvan OPPENHEIMER zei dat hij de fysica de zonde heeft leren kennen. Eigenlijk tot de huidige dag staat de atoombom als prototype van een onderwerp op het gebied van "wetenschap en maatschappij". Zodoende heeft het voorbeeld ook een beetje het bijeffect dat iedereen die kan aantonen dat hij niets met de atoombom te maken heeft safe is. Of, zoals ik wel van wiskundigen vernemen: "de fysici hebben de atoombom, de chemici hebben de milieuverontreiniging, maar wat hebben wij?".

Welnu, er is meer kritiek gekomen, er werden bezwaren geuit tegen dure, grootschalige

prestigeobjecten zoals de maanrace, en tegen de betrokkenheid van wetenschap bij het militair industrieel complex. Deze kritiek was in feite nog optimistisch : de wetenschap, zei men, wordt verkeerd toegepast, dient verkeerde machthebbers, maar is in zichzelf niet verkeerd en zou alleen ergens anders toegepast moeten worden om de wereld werkelijk beter te maken. Een andere toon klinkt door in Rachel CARSON's *Silent Spring* en de daarop volgende milieukritiek : de wetenschap is fundamenteel verkeerd gericht, namelijk op beheersing en naar zijn hand zetten van de omgeving, van de natuur ; niet gericht op het wijze behoud ervan.

Nog verder gaan de verschillende stromingen in wat genoemd wordt de "Counter Culture", die zich tegen objectiviteit en rationaliteit verzetten en die de wetenschap verwijten de wereld te versimpelen, het leven en de geest eruit te halen, zich op materiële, dode zaken te concentreren en dus onmenselijkend te werken in plaats van zich open te stellen voor een wijdsere en essentiëlere wereld van subjectief bewustzijn. In een meer academisch filosofische stijl geformuleerd is hetzelfde bezwaar te beluisteren in de wetenschapskritiek van mensen als MARCUSE en HABERMAS. Ook deze zeggen : er is iets fundamenteel verkeerd in het wetenschappelijk denken zelf, rationaliteit leidt tot manipulatie, die zij vooral vrezen in de toepassing der gernaliseerde sociale wetenschappen.

Fundamentele kritiek dus op de wetenschap, en een kritiek die het hart ervan raakt, namelijk de mathematisering. Die zelfde mathematisering die we hebben onderkend als de belangrijkste factor in de success-story van de wetenschappen na de periode van TARTAGLIA en PLACIUS. Een kritiek dus die de wiskunde direct raakt. Wat doen we ermee ?

Er zijn een aantal schijnargumenten die we kunnen gebruiken om de kritiek naast ons neer te leggen. We kunnen bijvoorbeeld zeggen dat we als wiskundigen wiskunde bedrijven en niets te maken hebben met mathematisering in andere wetenschappen. We kunnen ons ook vrolijk maken over de vele onzin die door critici der wetenschap over de wiskunde wordt gedebeerd. Ik geloof dat deze reacties niet zinvol zijn. Wij hebben met mathematisering te maken, we leven ervan in feite, en we hebben ook met kritiek daarop te maken, ook al gaat die soms uit van een onbegrip over wat wiskunde is. We horen die fundamentele kritiek op de wetenschappelijke denkwijze, we horen dat het effect van die wetenschappelijke denkwijze op de maatschappij niet goed is. Anderzijds hebben we gezien dat mathematisering een van de pijlers is voor het succes van de wetenschap. Ik meen dat in deze situatie ook in de kring van wiskundigen over die success-story de vraag gesteld moet worden : *Gaat een success-story eeuwig door ?* en zo niet *Hoe loopt een success-story af ?*

Want wat de kritiek ons in elk geval leert is dat het niet vanzelfsprekend is dat we, als we op de oude vertrouwde voet doorgaan met het mathematiseren van alle problemen die zich daartoe aanbieden, de maatschappij werkelijk een dienst zullen bewijzen. De garantie dat het een success-story blijft is er niet meer. Het is niet meer vanzelfsprekend dat we met mathematisering altijd op de goede weg zijn. We hebben niet meer de garantie dat ons werk, het bedrijven van wiskunde, vanzelfsprekend maatschappelijk "goed" is. Het instellen van studieonderdelen "Wetenschap en Maatschappij", of zoals hier "Wiskunde en Maatschappij", is een teken dat we dat probleem serieus gaan nemen. De vraag

alleen is hoe ? Er zijn twee radicale oplossingen : De eerste is : rustig doorgaan ; dat vereist een vertrouwen dat ik hoop een beetje ondermijnd te hebben. De andere radicale oplossing is : ophouden met wiskunde bedrijven. Ik heb misschien tot nu toe nog te weinig benadrukt dat ik meen dat er geen enkele reden is te verwachten dat dat voordelig zou zijn.

We realiseren ons dat wiskunde bedrijven goede en kwade effecten kan hebben. Wat moeten we in zo'n geval doen ? Ten eerste moeten we meer te weten zien te komen over de maatschappelijke rol of functie van wiskunde en van mathematisering in het algemeen, weten waar wiskunde ingrijpt welke effecten zij heeft.

Ten tweede moeten we als we in dat eerste onderzoek zaken tegenkomen die we onjuist of gevaarlijk vinden nagaan of er iets aan gedaan kan worden, en zo ja wat. En speciaal moeten we de vraag stellen wat we er zelf, als wiskundigen aan kunnen doen. Nu zou het wel wat heel pedant klinken als ik zei dat die twee punten mijn programma vormen voor het komende jaar experimenteel onderwijs in Wiskunde en Maatschappij, want het is een veel te omvangrijk programma, en vermoedelijk in deze formulering, een onuitvoerbaar programma. Maar ik wil wel zeggen dat ik de colleges en werkgroepactiviteiten niet zal geven en leiden vanuit een academische interesse in de relaties tussen Wiskunde en Maatschappij, maar vanuit de overtuiging dat wiskunde goede en slechte maatschappelijke effecten kan hebben, dat die bestudeerbaar zijn en dat het tot de verantwoordelijkheid van de wiskundige behoort de goede effecten te bevorderen en de slechte tegen te gaan.

Wiskunde en maatschappij II

Voorbeelden van interactie

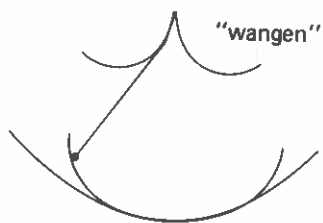
H.J.M. BOS
Rijksuniversiteit Utrecht

1. Eerste voorbeeld.

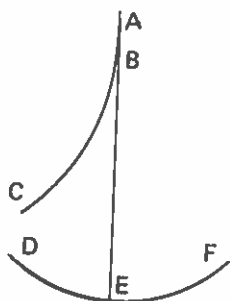
We zullen deze keer voorbeelden van interactie van wiskunde en maatschappij bespreken. Nu zijn we de vorige keer al een voorbeeld tegengekomen dat we toen globaal hebben besproken, namelijk het *lengteprobleem*. Daarbij was sprake van een probleem dat in de maatschappij als nijpend werd ervaren. Preciezer : er was onderkend dat de oplossing van het lengteprobleem de handelsvaart over de oceanen minder gevaarlijk zou maken, en daardoor nog meer winstgevend dan het al was. Men was zich ervan bewust dat de oplossing werkelijk een ingrijpende verbetering zou kunnen brengen ; niet slechts een marginale. Ter illustratie : uit nog zo laat als ± 1760 stamt het verhaal van een Engelse marineformatie die, na 17 dagen varen op de Atlantische Oceaan, meende minstens 300 mijl op open zee te zijn toen men opeens de kust van Marokko zag opdagen, waarop vijf schepen strandden en verloren gingen. Een in maatschappelijk belangrijke kringen als nijpend ervaren probleem dus.

Om nu eens wat meer in detail na te gaan hoe zo'n probleem kan inwerken op de wiskunde wil ik iets vertellen over Huygens' studies over de *slingerklokken*. Zoals vorige keer gezegd, was een der oplossingen van het lengteprobleem gelegen in de constructie van goede klokken. Christiaan Huygens' uitvinding van de slingerklok (1656) werd dan ook vooral voor de zeevaart van belang geacht. De klok vertoonde voor gebruik op zee nog een aantal bezwaren, zo is bijvoorbeeld de trillingsvrije ophanging problematisch. Een ander probleem is dat het gebruik van de slinger in de klok gebaseerd is op het principe dat de slingertijd steeds dezelfde is. Bij vaste amplitude is dat inderdaad het geval, maar het is zeer moeilijk klokken te construeren waarbij de amplitude over langere tijd constant blijft. De slingertijd hangt echter af van de amplitude ; de formule $T = 2\pi \sqrt{l/g}$ geldt alleen bij benadering voor kleine amplitude. Men kan natuurlijk proberen de amplitude

klein te houden maar in dat geval blijkt de klok erg gevoelig voor schokken. Huygens stelde zich nu de vraag of men niet het slingergewicht een niet-cirkelvormige baan kon laten beschrijven zó dat de slingertijd wel onafhankelijk is van de amplitude. Hij kon globaal beredeneren dat zo'n baan boven de cirkelbaan moest liggen (zie de figuur) en dat dus de gevraagde slingerbeweging verkregen kon worden door de draad waaraan het gewicht hangt op te laten lopen tegen "wangen" als in de figuur. Later (1659) berekende Huygens de baan exact; het bleek een cycloïde te zijn. Ook vond Huygens dat de wangen eveneens cycloïde-vormig moesten zijn. (Dit is een uitzonderlijk geval; bij andere krommen is het *niet* zo dat men bij afwijking weer dezelfde kromme krijgt).



Huygens ontwikkelde hierbij een algemene theorie over het "afwikkelen" van krommen. In de figuur is ABE het koord dat van de kromme ABC (de "evoluut") wordt afgewikkeld. Het uiteinde E van het koord beschrijft daarbij de kromme DEF (de "evolvent").



Huygens werkte een methode uit om bij gegeven evolvent de evoluit te bepalen. Deze methode is equivalent met het bepalen van een tweede afgeleide, zodat de methode een belangrijke voorloper is van de differentiaalrekening (uitgevonden door Newton en Leibniz tussen 1660 en 1680). Ook is het bepalen van de evoluit equivalent met het bepalen van de kromte van de evolvent. Het begrip kromte van een curve is van groot belang in de mathematische fysica (optica, elasticiteitsleer, e.a.). Huygens werkte ook, in samenhang met de slingerklok, een theorie uit ter bepaling van het slingermiddelpunt van fysische slingers; hierbij ontwikkelde

hij berekenings-methoden die voorlopers vormen van de integraalrekening.

Huygens publiceerde zijn onderzoekingen in een omvangrijk werk, *Horologium Oscillatorium* in 1673. Echter, hoe diep en belangrijk deze onderzoekingen ook voor de wiskunde waren, ze droegen niet bij tot de verbetering van plaatsbepaling op zee; de "wangen" bleken geen werkelijke verbetering van de slingerklok te geven.

Vormen Huygens' onderzoekingen dan alleen een voorbeeld van interactie vanuit de maatschappij naar de wiskunde toe, waarbij de economische situatie bepaalde problemen suggereert aan de wiskundige wetenschap? Wel, toch niet alleen dat, want er kwam ook iets in de andere richting. Ik heb vorige maal al vermeld dat de differentiaal- en integraalrekening, waarvan Huygens' werk over kromte en slingermiddelpunt als voorbereidende studies mogen gelden, tenslotte maatschappelijk/economisch relevante toepassingen vond, in de voor het lengteprobleem bruikbare maantheorie bijvoorbeeld (tweede helft achttiende eeuw), en later (via elektriciteitsleer en elektrische technologie) in de ontwikkeling van telegraaf, telefoon en radio.

Toch blijft de relatie wiskunde-maatschappij in dit voorbeeld erg ongrijpbaar. Ten eerste

is de invloed van Huygens' studies, via de ontwikkeling van de differentiaal- en integraalrekening op maatschappelijk relevante toepassingen niet te meten. Het tijdsverloop is te lang, en er zijn zoveel andere wortels van de infinitesimaalrekening naast Huygens' studies dat we eigenlijk in het geval van dit voorbeeld niet verder komen dan te zeggen dat hier inderdaad van interactie tussen wiskunde en maatschappij sprake was.

Ten tweede is de invloed van het betreffende maatschappelijke probleem (het lengteprobleem) op Huygens' studies moeilijk grijpbaar. Voor wat betreft de "wangen" en het slingerpunt leert een simpele overweging van technische mogelijkheden dat in de richting van verdere theoretische verfijning hier niet de oplossing van het lengteprobleem te zoeken is. Het is ook niet erg waarschijnlijk dat Huygens dat gedacht heeft. Hij heeft ook aan andere, meer technische verbeteringen van de klok gewerkt (ophangingssystemen en gebruik van veren in plaats van slingers), waarbij minder wiskunde nodig was.

Het voorbeeld toont dus aan dat de zaken in de relatie tussen wiskunde en maatschappij ingewikkeld kunnen liggen en vaak moeilijk peilbaar zijn. Nu zijn er een aantal aspecten die dit voorbeeld speciaal moeilijk maken: het tijdsverloop tussen ontstaan van de theorie en toepassing ervan is zeer groot, de wiskunde werd uitgewerkt door een enkeling, het betrof moeilijke, aan de grenzen van het toenmalige kennen liggende research, en het verhaal speelde zich lang geleden af.

2. Tweede voorbeeld.

We zullen een tweede voorbeeld bespreken. Het is de *speltheorie*, in vele opzichten een geheel ander geval dan Huygens' studies over de slingerklok. Het is een meer recente, 20e eeuwse ontwikkeling en de theorie wordt vanwege de toepassingen ervan in de sociale en economische wetenschappen, als zeer maatschappelijk relevant gezien. John Platt, die een sterk verontrust artikel (1) schreef in *Science* in 1969 over de crisis die de wereld nu doormaakt en de taak van de wetenschap daartegenover, zag zelfs in speltheorie een der mogelijkheden om die crisis wetenschappelijk te leren beteugelen.

Speltheorie, kan men zeggen, is begonnen met een voordracht (2) die John von Neumann in 1926 voor het "Mathematische Gesellschaft" te Göttingen hield, getiteld *Zur Theorie der Gesellschaftsspiele*. Von Neumann bestudeerde spelen waarbij de spelers kunnen reageren op de "zetten" van hun tegenspelers en zo de afloop van het spel bewust kunnen beïnvloeden (voorbeelden: poker, schaken, bridge en vele andere kaartspelen, "boter kaas en eieren" etc). De spelers doen om de beurt "zetten" die geheel of gedeeltelijk aan de tegenspelers bekend worden. De goede speler gebruikt de informatie over de

voorafgaande zetten bij het bepalen van zijn zet. De regels van het spel bepalen welke zetten mogelijk zijn, wanneer het spel afgelopen is en wat in dat geval de winst van iedere speler is.

Von Neumann beschouwde het spelgedrag van een speler niet als een serie afzonderlijke beslissingen over opeenvolgende zetten. Hij stelde zich voor dat de speler vooraf alle mogelijke zetten van zijn tegenspeler beschouwt, al zijn eigen mogelijke antwoordzetten, de antwoordzetten van zijn tegenspeler daarop etc. De speler gaat dus vooraf al zijn mogelijke plannen van actie, of *strategieën* na en besluit vervolgens één ervan te spelen. Evenzo kiest zijn tegenspeler een strategie. Als deze besluiten gevallen zijn kan de afloop van het spel berekend worden. Men kan dus bij een spel met twee spelers alle mogelijke spelverlopen in een rechthoekig schema (matrix) aangeven, waarbij horizontaal de strategieën van speler A, en verticaal die van speler B zijn uitgezet. Gewoonlijk is het aantal mogelijke strategieën zo groot dat de matrices niet op te schrijven zijn.

Als voorbeeld hieronder de matrix voor *bamzaaien met één lucifer*. Twee spelers A en B nemer ieder 0 of 1 lucifer in de vuist. Vervolgens raadt eerst A het totaal aantal lucifers in beide vuisten, dan B, maar B mag niet hetzelfde aantal noemen als A. Heeft een van beide goed geraden dan wint hij, raden beide fout dan is er gelijk spel. De strategieën van A zijn A_{ij} : i in de vuist en j raden. De strategieën voor B zijn meer gecompliceerd omdat hij rekening kan houden met de gok van A. Strategie B_{pqrs} betekent: p in de vuist, als A 0 raadt dan B q (q is 1 of 2), als A 1 raadt dan B r (r is 0 of 2), als A 2 raadt dan B s (s is 0 of 1). In de hokjes van de matrix staat de winnaar (A of B) of een X in geval van gelijk spel.

Men kan uit het schema aflezen dat er geen winnende (wel verliezende) strategieën zijn, en dat het dus verstandig is strategieën af te wisselen. Zo ontstaan "gemengde strategieën". Von Neumanns speltheorie omvat wiskundig zeer diepe stellingen over het bestaan van optimale gemengde strategieën.

	A_{00}	A_{01}	A_{02}	A_{10}	A_{11}	A_{12}
B_{0100}	A	B	B	B	A	X
B_{0101}	A	B	X	B	A	B
B_{0120}	A	X	B	B	A	X
B_{0121}	A	X	X	B	A	B
B_{0200}	A	B	B	X	A	X
B_{0201}	A	B	X	X	A	B
B_{0220}	A	X	B	X	A	X
B_{0221}	A	X	X	X	A	B
B_{1100}	B	A	X	X	X	A
B_{1101}	B	A	B	X	X	A
B_{1120}	B	A	X	X	B	A
B_{1121}	B	A	B	X	B	A
B_{1200}	X	A	X	B	X	A
B_{1201}	X	A	B	B	X	A
B_{1220}	X	A	X	B	B	A
B_{1221}	X	A	B	B	B	A

In de speltheorie worden ook spelen met meer dan twee spelers bestudeerd, waarbij speciaal de vraag wordt behandeld of zekere groepen van spelers voordelig onderling kunnen samenwerken tegen de anderen (coalitievorming).

In de dertiger jaren raakte Von Neumann geïnteresseerd in de toepassing van wiskundige theorieën in de economie. Speltheorie bleek daarbij een nieuwe benadering mogelijk te maken van fundamentele vragen in de economische wetenschap. Von Neumann werkte die benadering uit samen met de econoom Oskar Morgenstern, zij publiceerden hun resultaten in Amerika in 1944 in het boek *Theory of games and economic behaviour*.

In de jaren na de oorlog werd de speltheorie, vooral in Amerika, veel toegepast in politieke en strategische studies, in verband met koude en hete oorlogsdreiging. Bij meer algemene socio-psychologische studies wordt speltheorie gecombineerd met experimenten op grote schaal met proefpersonen in spel in spelsituaties; met deze methode onderzocht met name A. Rapoport situaties van conflict, dreiging en afweer, en de voor- en nadelen van "rationeel" handelen in dergelijke situaties. Verwant hiermee is het gebruik van "rollenspelen" om inzicht te krijgen in maatschappelijke en sociale situaties.

Vanzelfsprekend is het simpele spelmodel van Von Neumanns eerste studies hier niet meer toepasbaar; de winst voor de ene speler hoeft niet steeds gelijk te zijn aan het verlies van de andere, de spelers hebben in principe geen overzicht over alle mogelijke strategieën, hun informatie over de acties van de tegenstander en hun bedenktijd kan beperkt zijn. Voor dit soort zeer algemene spelen is er geen algemene theorie; optimale gemengde strategieën hoeven niet meer te bestaan. In feite kan men zich afvragen in hoeverre de hierbovengenoemde studies kunnen gelden als toepassingen van een mathematische speltheorie, want wat alleen wordt "toegepast" zijn gestyleerde begrippen van "spel", "strategie" en meting van de "winst" in een spel.

Het voorbeeld van "bamzaaien" toonde aan dat het aantal mogelijke strategieën bij de eenvoudigste spelen al enorm groot is. Speltheorie behoort daardoor tot de vooral tijdens en na de tweede wereldoorlog ontwikkelde wiskunde van de complexe systemen met eindig veel, maar wel zeer veel mogelijkheden. Hiertoe behoort ook het "mathematisch programmeren", de theorie van het bepalen van de meest voordelige handelingswijze in situaties waarin het aantal handelingswijzen zeer groot is (bijvoorbeeld bij vervoers- of produktieorganisatie). De bloei van deze soorten wiskunde na de tweede wereldoorlog werd mogelijk gemaakt door de opkomst van de computer, die de wiskundige in staat stelde de grote aantallen alternatieven te overzien.

3. Opmerkingen over de voorbeelden.

De twee voorbeelden zijn natuurlijk niet representatief voor de relatie tussen wiskunde en maatschappij, ik hoop dat ze tonen hoe complex en onderling verschillend de vormen

van interactie kunnen zijn - waaruit dan volgt dat er nog wel heel wat andere vormen van interactie mogelijk zijn. Toch kan ik aan de voorbeelden aansluiten met een aantal meer algemene opmerkingen over de relatie tussen wiskunde en maatschappij.

- a. Beide voorbeelden tonen een interactie tussen wiskunde en maatschappij. Maar verder verschillen ze sterk. Huygens' theorie ontstond als reactie op een in zijn tijd als urgent ervaren probleem, maar loste dat niet op; Von Neumanns speltheorie wordt nu toegepast bij de bestudering en besturing van vele maatschappelijke processen, maar vond zijn oorsprong niet in zulke problemen (gezelschapsspelen vormen geen maatschappelijk probleem, in feite bederft men het spel door het theoretisch te doorzien).
- b. In beide voorbeelden is sprake van een theoretische fase in het begin van de ontwikkeling. Dit is echter *niet* typerend voor de relatie tussen wiskunde en maatschappij - veel wiskunde wordt in een toepassingssituatie ontwikkeld en pas veel later theoretisch gefundeerd; voorbeelden hiervan zijn elementaire rekentechnieken en statistiek.
- c. Huygens' studies omtrent de slingerklok droegen bij tot de ontwikkeling van de differentiaal- en integraalrekening, en daardoor tot de analyse in het algemeen. Deze analyse heeft uiteindelijk maatschappelijk zeer relevante toepassingen gevonden. Er is nu een kenmerkend verschil tussen deze toepassingen en die van de speltheorie. Schematisch kunnen we dit verschil als volgt aangeven:
- (i) Analyse → natuurwetenschap → technologie → resultaat: producten (vooral fysica)
 - (ii) Speltheorie → sociale wetenschap → organisatie → resultaat: beslissingen (i.h.b. economie) bestuur, beleid

Deze twee schema's zijn kenmerkend voor twee verschillende stijlen van toepassing der wiskunde. (i) is de klassieke vorm van toegepaste wiskunde via de exacte wetenschappen, het kenmerkende soort problemen is hier het oplossen van differentiaal-vergelijkingen (vergelijk het geval van de ballistiek, besproken in het eerste artikel).

Schema (ii) illustreert een jongere vorm van toepassing der wiskunde. Het is ook een meer directe vorm van toepassing, in feite wordt de "sociale wetenschap"-fase vaak overgeslagen.

De klassieke stijl van wiskunde toepassen (i) werd vooral wetenschappelijk relevant in de zogenaamde "tweede industriële revolutie" of de "wetenschappelijke revolutie" (de taxonomie van revoluties op dit gebied is nog zeer omstreven), het proces dat zich in de laatste decennia van de negentiende eeuw voordeed en dat bestond uit de introductie van wetenschappelijke methoden en vindingen in de industriële productie. Het wereldproductiesysteem onderging hierdoor een radicale wijziging.

De tweede vorm van wiskunde toepassen (ii) is verbonden aan de daarop volgende revolutie die sommige anderen de "tweede industriële revolutie" noemen, de ontwikkeling in het productiesysteem waarbij de industrie gebruik ging maken van de organisatie van de productie (lopende band, scientific management, kwaliteitscontrole, productieplanning en -regulering). Hoewel voorbereid in de jaren voor de tweede wereldoorlog, is deze vorm van toepassing der wetenschap in de industrie vooral op gang gezet door de in de oorlog ontwikkelde *Operations Research*, de wetenschappelijke, interdisciplinaire studie en organisatie van grootschalige, zeer gecompliceerde activiteiten. De toepasbaarheid van wiskunde in dit verband is essentieel verbonden aan de mogelijkheden van de computer. Uit *Operations Research* zijn als specifiek wiskundige deelgebieden naar voren gekomen: speltheorie, mathematisch programmeren, cybernetica en wachttijdtheorie. Als overkoepelende term voor dit soort wiskunde wordt wel "systems analysis" gebruikt. De verschillen in vorm van resultaat (zie het schema; "produkt" of "beslissing") veroorzaken een sterk verschil in stijl en methoden tussen de beide soorten van wiskunde toepassen.

Beide soorten van wiskunde toepassen zijn van groot belang geweest voor de twintigste-eeuwse vormen van industriële productie. Het is dan ook in de 20e eeuw dat het beroep van industrieel wiskundige opkomt. T.C. Fry (3) telt in 1888 één industrieel wiskundige in Amerika, in 1913 ongeveer dertien, in 1938 150 en in 1963 1800. De eerste wiskundige onderzoeksafdeling in de industrie stamt uit de late 20er jaren (bij Bell Telephone Laboratories).

- d. Na een indeling als de in c. genoemde te hebben opgeschreven moet men zich meteen afvragen of er geen andere processen van invloed van de wiskunde op de maatschappij zijn. Die zijn er natuurlijk inderdaad. Eén ervan wil ik hier nog noemen: de invloed die de wiskunde uitoefent door begrippen aan te reiken die "aanslaan" bij velen en die daardoor het denken en handelen met betrekking tot maatschappelijke processen beïnvloeden. Een voorbeeld zagen we bij het begrip "spel" dat, ontstaand van verdere mathematische theorie maar gedragen door een mathematisch prestige, een rol speelt in de psychologie en de sociologie.

Wiskunde levert een unificerende taal voor de natuurwetenschappen. Vele beoefenaars der sociale wetenschappen streven ernaar die taal ook over te nemen en hun disciplines te mathematiseren. Op een ander gebied zien we ook deze rol van de wiskunde als unificerende taal, namelijk in de industrie waar de wiskundige vaak de

functie heeft interdisciplinair de problemen precies en voor alle betrokkenen begrijpelijk te helpen formuleren. Dit leidt tot een geheel nieuwe stijl van denken over managementsproblemen en bedrijfsorganisatie (4).

Nog sterker vindt men het idee dat wiskunde als nieuwe unificerende taal een maatschappelijk belangrijke rol moet spelen, bij de propagatoren van systems analysis, die menen dat het gebruik van mathematische begrippen als "systeem", "feedback", "informatie" e.d. ons in staat stelt alle voor de ontwikkelingen in onze maatschappij relevante processen bestudeerbaar en daardoor beïnvloedbaar te maken (5).

Een belangrijke rol bij deze vorm van invloed van de wiskunde op de maatschappij speelt het onderwijs, daar immers dit overnemen van wiskundige begrippen alleen effectief kan zijn als de begrippen voor brede lagen van de bevolking hanteerbaar zijn. Vernieuwingsbewegingen in het wiskundeonderwijs kunnen vaak met dit soort processen in verband worden gebracht.

Ik herinner op dit punt graag aan het in het eerste artikel genoemde aspect van mathematisering, namelijk dat mathematisering terugslaat op het gemathematiseerde object. Als dit effect in verband met het onder d. genoemde proces van invloed van wiskunde op de maatschappij optreedt dan is het duidelijk hoezeer deze beïnvloeding de wereld kan veranderen. Hoe ingrijpender de veranderingen, (en dat geldt niet alleen voor de onder d. genoemde processen maar ook voor de andere) des te nijpender de vraag naar de maatschappelijke verantwoordelijkheid van de betrokken wiskundigen. Aan die vraag is het derde artikel gewijd.

NOTEN

- (1) J. PLATT, *What we must do*, *Science* 166 (1969), 11-15.
- (2) J. VON NEUMANN, *Zur Theorie der Gesellschaftsspiele*, *Math. Annal.* 100 (1928), 295-320 ; ook in *Collected Works* vol VI, pp. 1-26.
- (3) T.C. FRY, *Mathematicians in Industry - the first 75 years*, *Science* 161 (1964), 934-938.
- (4) Vergelijk : *Thus the application of linear programming to a business or industrial problem has required the mathematical formulation of the problem and an explicit statement of the desired objectives. In many instances such rigorous thinking about business problems has clarified aspects of management decision-making which previously had remained hidden in a haze of verbal arguments. As a partial consequence some industrial firms have started educational programs for their managerial personnel in which the importance of the definition of objectives and constraints on business policies is being emphasized.* G. B. DANTZIG, *Linear Programming and Extensions*, 1963, p. 28.
- (5) Zie bijvoorbeeld R.L. ACKOFF, *Science in the Systems Age : Beyond IE, OR and MS*, *Operations Research* 21 (1973), 661-671.

Wiskunde en maatschappelijke verantwoordelijkheid

H.J.M. BOS
Rijksuniversiteit Utrecht

Aan het slot van het eerste artikel heb ik aangeduid dat mijn interesse in de maatschappelijke functie van de wiskunde niet een louter academische interesse is, maar voortkomt uit de overtuiging dat wiskundigen, zoals iedereen, een maatschappelijke verantwoordelijkheid hebben, die zij beter gestalte kunnen geven naarmate zij meer inzicht hebben in de maatschappelijke functie van hun wetenschap. In dit artikel wil ik wat nader ingaan op die situaties waarin het feit dat de wiskundige wiskunde bedrijft speciaal relevant is voor zijn maatschappelijke verantwoordelijkheid. Het is natuurlijk vanzelfsprekend dat daarmee slechts een speciaal aspect van zijn verantwoordelijkheid als persoon in de maatschappij aan de orde komt.

Ik zal in dit artikel uitgaan van een aantal manieren waarop er op het ogenblik, in verband met het bedrijven van wiskunde, vorm gegeven wordt aan maatschappelijke verantwoordelijkheid. Ik zal bij de besproken voorbeelden nagaan welke vooronderstellingen over de rol van de wiskunde er gemaakt worden en welke consequenties het ten opzichte van de maatschappelijke verantwoordelijkheid heeft als men die vooronderstellingen verlaat.

1. Interne criteria, academische research.

Het traditionele antwoord op de vraag naar de maatschappelijke verantwoordelijkheid van de wiskundige (of van de wetenschapper in het algemeen) is dat deze maatschappelijk gezien het meest verantwoordelijk handelt door zijn werk zo goed mogelijk te doen. Voor de wiskundige wil dat dus zeggen : door zo goed mogelijk wiskunde te bedrijven. Dit vereist beoordeling van het geleverde werk, en hiertoe kent de wiskunde een uitgebreid systeem van kwaliteitscontrole (examens, diploma's, beoordeling van geschriften door referees vóór publikatie en door reviewers na publikatie, morele plicht tot het persoonlijk

citeren van gebruikte resultaten van anderen, etc.).

Dit systeem is informeel, de kwaliteitscriteria worden binnen de wiskunde zelf door de ervaren wiskundigen bepaald, ze zijn overigens niet precies omschreven. De criteria zijn nauwelijks gelieerd aan maatschappelijke relevantie. De belangrijkste criteria betreffen betrouwbaarheid, vermindering van trivialiteit, nieuwheid. Over deze bestaat weinig discussie. Wel is er discussie over de zinvolheid van onderzoek, maar de criteria die daarbij naar voren komen zijn eveneens nauwelijks gelieerd aan overwegingen van maatschappelijke relevantie; het gaat daarbij meer om de vraag in hoeverre de resultaten gebruikt kunnen worden in andere gebieden van de wiskunde, in andere wetenschappen of in de technologie.

De vraag die zich in deze situatie voordoet is in hoeverre door de wiskundigen zelf gestelde, voornamelijk op intern wiskundige gronden berustende criteria garantie kunnen geven voor verantwoordbaar maatschappelijk effect van de wiskunde. De in de discussies daarover optredende wedervraag is: kan een wetenschap als de wiskunde blijven functioneren als andere dan intern wiskundige criteria gaan meespelen bij de beoordeling van de kwaliteit van wiskundig werk?

Deze vragen leiden tot een verdere discussie over de rol van waarde-oordelen en de wetenschap in het algemeen, een discussie waarop ik hier niet verder in zal gaan, vooral omdat de genoemde criteria slechts voor een deel van het wiskundig onderzoek opgaan. Vooronderstelling daarbij is namelijk dat de resultaten van onderzoek *gepubliceerd* worden en dat die publikatie een afronding van het onderzoek vormt. Dit is inderdaad het geval in de situatie van academische research en daar werkt het beschreven systeem van kwaliteitscontrole dan ook effectief.

2. Professionele ethiek - 1.

Echter, veel wiskunde wordt niet bedreven met als einddoel publikatie maar met als einddoel *gebruik, toepassing*. Men ziet dan ook dat in die omstandigheden waar wiskunde feitelijk wordt toegepast (industrie, planning, overheidsdiensten) een veel minder geregeld publikatiesysteem bestaat (sterker nog: gevonden resultaten worden vaak gelieid gehouden zolang zij de opdrachtgever een voorsprong op zijn rivalen geven) en de beoordelingscriteria direct gelieid worden aan het succes van het eindresultaat.

Ook in deze situatie geldt voor velen de overtuiging dat maatschappelijk goed handelen samenvalt met goed wiskunde bedrijven, maar dit "goed wiskunde bedrijven" wordt wel geheel anders vertaald dan in het geval van academische research.

Voorbeelden van zulke vertalingen leveren de beroepsethiek en beroepscode zoals die worden geformuleerd door verenigingen van in de toepassingsituatie werkende wiskundigen. Zo heeft bijvoorbeeld de Association for Computing Machinery (ACM) in 1966

een "Set of Guidelines" voor "Professional Conduct in Information Processing" opgesteld [1], op het model van bestaande codes voor de beroepsethiek van ingenieurs. Een der aanleidingen die de Association bij de publikatie ervan vermeldt is een geval van computerfraude.

Interessanter is de aanleiding voor de opstelling van de *ORSA Guidelines for the practice of Operations Research* (1971). In 1969 werd voor een Amerikaanse senaatscommissie een discussie gevoerd over een regeringsvoorstel om de bestaande Amerikaanse Minuteman-raketten tegen een Russische aanval te beschermen door een (zeer duur) zogenaamd Anti Ballistic Missile (ABM) systeem. Beide partijen in het debat trokken "Systems Analysts" aan om kwantitatief voor- en nadelen af te wegen. De belangrijkste deskundigen waren de wiskundigen Dr. Wohlstetter (pro) en Dr. Rathjens (contra). In verscheidene debatten bleven deze twee met duidelijk verschillende analyses tegenover elkaar staan. Speciaal was dit het geval met betrekking tot de vraag hoeveel Minuteman-raketten bij een eerste aanval met Sovjet SS9 raketten uitgeschakeld zouden worden (bij afwezigheid van een ABM systeem). Wohlstetter berekende: 95%, Rathjens: 75%.

Na het debat beklagde Wohlstetter zich bij de Operations Research Society of America (ORSA) over het onprofessionele gedrag van Rathjens c.s., die, volgens Wohlstetter, slechte analyses leverden en kritiek erop niet werkelijk beantwoordden. Wohlstetter vroeg ORSA een commissie in te stellen om het professionele gedrag van de Operations Research deskundigen in het debat te onderzoeken. Rathjens c.s. reageerden afwijzend, zij meenden dat het Operations Research aspect in deze zaak niet van andere (o.m. politieke) aspecten te scheiden was en dat ORSA geen competentie had om professioneel gedrag te beoordelen.

ORSA stelde toch een commissie in die na twee jaar een rapport over de zaak voltooide. Het rapport onderschreef in het algemeen Wohlstetters visie op het debat. De commissie stelde ook in het algemeen een soort professionele code voor Operations Research specialisten op, de zogenaamde *Guidelines for the practice of Operations Research*, gepubliceerd (met vele bijlagen over de ABM debatten) in het tijdschrift *Operations Research* [2]. De *Guidelines* benadrukken gedegen, breed en onbevooroordeeld gebruik van Operations Research technieken, en duidelijke en begrijpelijke presentatie der resultaten. Veel aandacht wordt besteed aan situaties waarin de Operations Research deskundige als verdediger moet optreden ter ondersteuning van het standpunt van zijn cliënt in een debat. De contradicties inherent aan die situatie komen goed tot uiting in de betreffende aanwijzing in de *Guidelines*:

"When an analyst participates in an adversary process he is, and should conduct himself as, and should expect to be treated as, an advocate. The rules for an adversary process are different from those of operations research. The former permit biased or slanted testimony and the latter are directed toward objective evaluation. However, the analyst must bear the additional burden of making the bases for his views explicit, and of submitting the supporting analyses and their assumptions to public scrutiny (this work should be done in accordance with the professional standards discussed here)". [2, p. 1137].

3. Professionele ethiek - 2.

De genoemde Guidelines stammen van vrij jonge verenigingen die mede door deze richtlijnen pogen de eigen positie en de maatschappelijke positie van het vertegenwoordigde beroep vast te omschrijven en te institutionaliseren. Voor een effectieve beroepsethiek is een dergelijke institutionalisering nodig, immers, een codificatie van zo'n ethiek veronderstelt een wettelijke regeling van de eisen waaraan men moet voldoen om als uitoefenaar van het beroep als groep om de individuele leden te dwingen zich aan de beroepscode te houden. Beide voorwaarden zijn in het geval van ACM en ORSA (nog ?) niet aanwezig. Ook is er discussie binnen deze verenigingen over de vraag of dit soort institutionalisering niet te zeer het gevaar inhoudt dat de groep meer voor eigen privileges dan voor het algemeen welzijn zal vechten.

4. Een fictief voorbeeld.

Beroepscodes proberen de verantwoordelijkheid van de uitoefenaren van het beroep ten opzichte van zijn cliënt te bepalen. De professionele wiskundige wordt daarbij als adviseur van zijn cliënt gezien, hij licht zijn cliënt in over de mogelijke keuzen en de daarvan te verwachten effecten. Zijn verantwoordelijkheid is het dit advies zo zuiver mogelijk te geven ; de verantwoordelijkheid voor de uiteindelijke keuze en de gevolgen liggen, in deze gedachtengang, bij de cliënt.

Beroepscodes geven dus een formele begrenzing van de verantwoordelijkheid, waarbij het feitelijk effect van de door de cliënt genomen beslissing buiten de professionele verantwoordelijkheid valt. In hoeverre dit een zinvolle visie is leert een discussie van het volgende fictieve voorbeeld :

Stations

De regering staat voor het probleem een plaats te kiezen voor een belangrijk spoorweg-knooppunt met goederen-overlaadstation. Op globale argumenten blijken twee keuzen mogelijk te zijn, te weten bij dorp A en bij dorp B. In beide plaatsen bestaat grote tegenstand tegen de gevolgen van de aanleg van een station. De regering laat een werkgroep systeemanalysten, economen etc. een kwantitatieve afweging van voor- en nadelen opstellen ; hierbij worden alle te verwachten effecten, zoals m.b.t. werkgelegenheid, vervoersorganisatie, bereikbaarheid, aantasting van het milieu, gedwongen migratie etc. in geld

uitgedrukt. Intussen is de zaak sterk in de politieke sfeer getrokken. De werkgroep berekent dat plaatsing bij A "kost" f. 85 000 000,- en bij B f. 90 000 000,-. Welk advies moet de werkgroep geven ?

Dit probleem werd aan het gehoor voorgelegd. Er volgde een levendige discussie. Van de naar voren gebrachte meningen noem ik :

- De terminologie "in de politieke sfeer trekken" is misleidend, het probleem is van het begin af een politiek probleem.
- De verantwoordelijke stap wordt gedaan bij het besluit zitting te nemen in de werkgroep ; op dat moment aanvaardt men namelijk de vraagstelling en de methode.
- Het verschil van f. 5 miljoen ligt natuurlijk binnen de foutenmarge. Toch kunnen de getallen 90 miljoen en 85 miljoen een rol gaan spelen als overwegende harde gegevens in de verdere discussie. Sommigen meenden dat dit effect verminderd kon worden door de mate van betrouwbaarheid van de getallen expliciet te vermelden en bij de presentatie te benadrukken. (Geen der aanwezigen suggereerde de berekeningen zo te herzien dat ze beide op f. 87 500 000 uit zouden komen).
- Sommigen meenden dat de aannamen waaronder bijvoorbeeld werkgelegenheid met aantasting van het milieu vergeleken wordt expliciet gemaakt moeten worden ; men vroeg zich echter af of deze finesses in de verdere discussie niet overstemd zouden worden door de harde eindgetallen.
- De vraag kwam op in hoeverre het geoorloofd is met een vooropgezette mening in de werkgroep te gaan zitten en daar de berekeningen en de keuze van de schalen in de gewenste richting te beïnvloeden.

Bij de discussie over dit voorbeeld blijkt dat men ook de effecten van zijn werk buiten het vakgebied of beroepsgebied moet beschouwen. De behandelde vormgevingen van verantwoordelijkheid - kwaliteitscontrole bij wetenschappelijk werk en beroepsethiek - beperken juist de verantwoordelijkheid tot de effecten binnen een afgegrensd gebied. Deze opmerking impliceert niet dat men zich dan maar niets meer van de traditionele criteria voor goed wetenschappelijk werk of goed professioneel gedrag moet aantrekken, maar wel dat deze criteria geen volledige garantie voor goed maatschappelijk effect bieden en dat zij dus aangevuld moeten worden, en zelfs in strijd kunnen komen met nadere overwegingen van maatschappelijk belang.

5. Theoretische en praktische problemen.

Men kan nu proberen het begrip maatschappelijke verantwoordelijkheid nader te bedenken en theoretisch te funderen. Men moet dan antwoord vinden op de vraag in hoeverre personen of groepen verantwoordelijk gesteld kunnen worden voor de effecten van hun daden, en wat die verantwoordelijkheid precies inhoudt. Bij uitwerking van deze vragen speciaal voor het geval van de wetenschapper moet worden nagegaan in hoeverre de wetenschapper een keuzevrijheid in zijn handelen heeft, hoe de waardeoordelen die hem bij die keuzen leiden ontstaan, en in hoeverre hij maatschappelijk verantwoordelijk gesteld kan worden voor het hanteren van die waardeoordelen.

Dit zijn belangrijke en moeilijke vragen die echter wel het gevaar inhouden te voeren tot te abstracte denkconstructies die moeilijk terug te vertalen zijn naar de praktijksituaties. Men hoeft ook niet op de oplossing van deze vragen te wachten voor te beginnen met meer praktische vragen. Zulke praktische vragen zijn :

Hoe kan men vorm geven aan de maatschappelijke verantwoordelijkheid die men voelt als wiskundige ?

Op welke gebieden kan men, als wiskundige, verwachten geconfronteerd te worden met vragen over de maatschappelijke gevolgen van zijn werk ?

Wat de eerste vraag betreft zijn er in elk geval de volgende mogelijkheden :

- interesse opbrengen en doorgeven voor de problematiek van wetenschap en maatschappij ;
- lezen over deze zaken ;
- lidmaatschap van verenigingen en werkgroepen op dit gebied (studentenverenigingen, VWO, BWA, VAWO, andere vakorganisaties, politieke partijen etc.) ;
- deelname aan studies en/of acties op dit gebied ;
- verantwoordelijkheid op zich nemen.

6. Wiskunde : maatschappelijke invloed en maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Wat de tweede vraag betreft een aantal opmerkingen die ik het beste kan ophangen aan de in het tweede artikel genoemde soorten van interactie tussen wiskunde en maatschappij. Schematisch zijn daar de volgende interactielijnen aangegeven :



Wat betreft (i) is de maatschappelijke invloed van de wiskunde zeer indirect. De wiskundige die in die situatie werkt moet misschien niet teveel tijd verdoen met na te gaan wat het effect is van zijn eigen mathematische bijdrage. Hij zal meestal deel uitmaken van een team, instelling of bedrijf die vrij duidelijk gericht werk verricht. Hij zal zich moeten afvragen of hij het met de betreffende richting eens is.

Bij (ii) is het effect directer. Een belangrijk aspect van de verantwoordelijkheid van de wiskundige ligt hier bij het opstellen van de wiskundige modellen voor de problemen die hij te behandelen krijgt. De keuze van de aspecten van het probleem die men wel of niet in het model wil verwerken, werkt door in de maatschappelijke toepassing van de met behulp van het model verkregen inzichten. Karakteristieke voorbeelden zijn hier het gebruik van de Club-van-Rome-modellen, en de effecten van informatie verwerkingssystemen op het persoonlijk leven van degenen waarover informatie wordt verzameld en gebruikt, in het bijzonder het computer- en privacy-probleem.

(iii) In verband met de diffusie van wiskundige denkwijzen, begrippen en methoden moet de wiskundige er op bedacht zijn dat de begrippen die hem vertrouwd zijn, door zijn niet-wiskundige publiek vaak geheel anders worden geïnterpreteerd. De wiskundige denkwijze staat in hoog aanzien, is echter moeilijk, wordt door weinigen begrepen en geeft veel aanleiding tot misverstanden.

Het behoort tot de verantwoordelijkheid van de wiskundige om hier misbruik van begrippen, termen en methoden te doorzien en tegen te gaan. Dat is overigens moeilijker dan het lijkt omdat men nu eenmaal niet eisen kan dat begrippen buiten de wiskunde op even strakke wijze worden gebruikt als daarbinnen. Men moet zich dus afvragen in hoeverre zulk gebruik zinvol en goedgekeurd is. Karakteristieke voorbeelden van deze problematiek vindt men in het gebruik van mathematische denkwijzen in de sociale wetenschappen en technieken : beoordeling via "gemiddelde" cijfers, IQ, voorspellingen door simpele extrapolatie, miskenning van foutenmarges in metingen, ook bijvoorbeeld kwaliteitsmeting van wetenschappelijk werk door kwantitatieve methoden.

In het geval van de wiskunde zelf, als academische research, die centraal staat in het schema, is maatschappelijke verantwoordelijkheid zeer moeilijk te vertalen. Er is een verantwoordelijkheid in verband met de onderwijsstaak. Er is ook de vraag naar de "zin" van de meer "zuivere", niet toepassingsrelevante wiskunde. Dit is een erg belangrijke vraag, maar het is erg moeilijk om hem met argumenten van maatschappelijke verantwoordelijkheid te benaderen. Zuivere wiskunde lijkt weliswaar minder "maatschappelijk relevant" dan toepassings-georiënteerde wiskunde, maar relevantie houdt niet automatisch in dat de betreffende maatschappelijke effecten ook verantwoord zijn. Wel kan men de vraag naar de zin van de zuivere wiskunde benaderen door het nut ervan te bekijken voor het functioneren van de wiskunde als geheel.

Bij punten (ii) en (iii) komt de rol van de wiskunde, of van de wetenschap in het algemeen, zoals die ervaren wordt door niet-wiskundigen aan de orde. In verband daarmee wordt vaak gesteld dat het tot de verantwoordelijkheid van de wetenschapper behoort die wetenschap te populariseren, meer begrijpelijk, en daardoor minder angstaanjagend te maken voor het publiek. In deze redenatie schuilt een denkfout. De angstaanjagendheid van de wetenschap zit hem namelijk niet in de wetenschap zelf maar in de maatschappelijke rol van de wetenschap. Het gaat er niet om de wetenschap uit te leggen zoals die bedreven wordt door de wetenschapper maar zoals die gebruikt wordt in en inwerkt op de maatschappij. De traditionele populair wetenschappelijke literatuur gaat op dit punt echter niet of in elk geval zeer onkritisch in, en heeft daarom niet de verwachte verhelderende werking omtrent de wetenschap.

Een behandeling van de werkelijke problemen die spelen bij de maatschappelijke rol van de wetenschap zou ook in moeten gaan op de vraag naar de beperkingen van de wetenschappelijke methoden en de effecten die die methoden hebben als ze worden toegepast op problemen waarvoor ze niet geschikt zijn. Hierover wordt nog nauwelijks gestudeerd. Ik meen dat een echte wetenschapsfilosofie zich veel meer met deze problemen moet bezig houden dan met de vraag naar het wezen en de mogelijkheid van wetenschappelijke kennis.

We hebben gezien dat pogingen om maatschappelijke verantwoordelijkheid af te grenzen of te definiëren verhelderend kunnen zijn maar het gevaar inhouden de verantwoordelijkheid te beperken of tot te abstracte redenties te leiden. Men kan dus niet verwachten ooit volledige informatie en overzicht te hebben over de problemen van maatschappelijke verantwoordelijkheid waar men voor te staan komt. Men kan wel alert zijn op dit soort problemen en men moet er zich van bewust zijn dat het problemen zijn waarvoor geen pasklare oplossing te geven is - kortom, het zijn echte problemen, geen wetenschappelijke.

BIBLIOGRAFIE

1. D.B. PARKER, *Rules of ethics in information processing*, Communications of the ACM 11 (1968), 198-201.
2. *Guidelines for the practice of operations research*, Operations Research 19 (1971), 1123-1258.