

Wiskundige economie en sociale technologie

Citation for published version (APA):

Ruys, P. H. M. (1985). *Wiskundige economie en sociale technologie*. Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1985

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Wiskundige Economie en Sociale Technologie

Rede uitgesproken ter gelegenheid van de aanvaarding van het
ambt van buitengewoon hoogleraar in de wiskunde economie aan de
Technische Hogeschool Eindhoven op 8 november 1985.

Dr. P.H.M. Ruys

Mijnheer de Rector Magnificus,
Dames en Heren,

Wiskundige economie en sociale technologie zijn combinaties van vier woorden, waarvan er twee een vertrouwde klank hebben aan deze technische hogeschool.

Als economische argumenten tegenover ingenieurs worden gebruikt om prachtige technieken en machines naar de schroothoop te verwijzen, zullen zij deze maatschappijwetenschap met meer argwaan gaan bejegenen. En ronduit onbegrip ontstaat, als hun technische vondsten gebruikt worden voor doeleinden die de uitvinders zelf achteraf sociaal dubieus of onaanvaardbaar vinden.

De trots van bruggebouwers, scheikundig technologen of machine-makers op hun producten is mede gebaseerd op het besef, dat zij daarmee een nuttige bijdrage geleverd hebben aan de welvaart van hun samenleving. Maar deze trots wordt getemperd als men ziet, dat de neveneffecten die eraan verbonden zijn niet door die samenleving beheerst kunnen worden. Ieder kent een aantal voorbeelden, van mild tot kwaadaardig. Ik noem er een paar:

- de congestie en de milieuverzuring die optreedt bij het bouwen van steeds meer en betere wegen;
- de uitstoot van arbeid tengevolge van arbeidsproductiviteit verhogende technieken;
- de wapenwedloop versneld door meer efficiënte wapens- en verdedigingssystemen; maar ook door toepassing van grensverleggend natuurwetenschappelijk onderzoek.

De onrust die dit veroorzaakt bij studenten, wordt goed gekarakteriseerd door de gelofte die een viertal afgestudeerden aflegde bij het behalen van hun ingenieursdiploma aan deze hogeschool: een weigering om hun capaciteiten ter beschikking te stellen van de wapenindustrie.

Met alle respect voor dit heilige voornemen, toch geloof ik dat deze daad voornamelijk een getuigende waarde heeft. Wil men het doel bereiken dat hen en vele anderen voor ogen staat, dan ontkomt men niet aan de vraag waarom de maatschappij waarin men leeft,

het gebruiken van of het dreigen met wapens aanvaardbaar vindt: welke *sociale* mechanismen zijn werkzaam? In feite kan elke technische uitvinding zowel in iemands belang, als tegen iemands belang gebruikt worden, direct of indirect. Voor sommige uitvindingen is het risico groter dan voor andere. Vaak geldt: hoe mooier de uitvinding, des te riskanter de toepassingsmogelijkheden. Het gebruik van de uitvindingen en de instrumenten wordt uiteindelijk bepaald door de samenleving, net zoals deze de richting van dit onderzoek aangeeft. Het gewetensprobleem van de ingenieur herformuleer ik tot de vraag: kan onze samenleving bepaalde technische uitvindingen al aan, of liever: gaat de maatschappelijke ontwikkeling snel genoeg voor de technische ontwikkeling? Voor zover ik ingenieurs ken, zullen deze daarop de vraag stellen: kunnen we daar dan niets aan doen? Is er niet een maatschappelijk mechanisme te maken dat beter voldoet en veiliger is? Het probleem dus van de maakbaarheid van de samenleving.

Met deze probleemstelling is wellicht het bestaan van de onderafdeling Wijsbegeerte en Maatschappijwetenschappen aan de THE gemotiveerd, maar nog niet mijn aanwezigheid. Het feit dat ik hier sta, heeft te maken met de ontwikkelingsfase waarin de economische wetenschap zich bevindt. Sinds de jaren veertig heeft zich een ingrijpende wijziging in de methode van wetenschapsbeoefening in de economie voorgedaan. Dit zal ik u straks toelichten. Maar eerst wil ik U informatie geven over een van de belangrijkste onderwerpen van de economie, een onderwerp dat nauw verband houdt met de probleemstelling die ik u zojuist heb voorgelegd: de economische orde. Ik zal dat doen door in vogelvlucht de ontwikkeling van de techniek te vergelijken met de ontwikkeling van de economie.

Vervolgens zal ik enkele recente ontwikkelingen in de wiskundige economie meten, waarbij ik vooral zal blijven stilstaan bij het proces van formaliseren van het economisch gedrag van instellingen en van mensen. Zaken die, stuk voor stuk, bouwstenen aandragen voor een wetenschappelijk onderbouwd ontwerpen van maatschappelijke gedragsvormen: door mij hier met sociale technologie aangeduid.

Tenslotte zal ik met u nagaan, of er al een betrouwbare sociale technologie bestaat, en welke karakteristieke problemen bij het ontwerpen van rationele maatschappelijke gedragsmodellen kunnen worden verwacht.

2. Techniek en samenleving

De wisselwerking tussen techniek en samenleving is bijzonder sterk.

Een technische revolutie veroorzaakt een economische revolutie, en deze blijkt weer de voedingsbodem voor een nieuwe technische revolutie te zijn.

De ontwikkeling van de economische wetenschap op dit moment kan op een heel verhelderende wijze verklaard worden als wij in vogelvlucht teruggaan in de geschiedenis en zien hoe de toenmalige vakgenoten de problemen hebben waargenomen en opgelost. De omstandigheid dat de techniek in wetenschappelijke methode de economie tot nu toe altijd een stap voor was, maakt dit voor economen des te interessanter.

In de techniek kunnen, voorzover ik begrepen heb, de volgende ontwikkelingsfasen onderscheiden worden¹⁾:

1. het ambacht, waarbij de ambachtelijke kennis vooral op de relatie arbeid-bewerktuiging slaat, en niet van wetenschap gesproken kan worden. De ambachtsman heeft veel trekken met een kunstenaar gemeen.

2. de techniek (vanaf 1770), waarbij gereedschap vervangen wordt door machines die in een fabriek staan en waarbij mensenkracht vervangen wordt door energieverbruik. Incidenteel wordt natuurwetenschappelijk werk geraadpleegd om de technische kennis te vergroten, welke echter vooral door praktische maakbaarheid van de natuur wordt gekarakteriseerd. De fase van de fabrieksarbeider.

3. de technologie (vanaf 1870), waarbij de technische kennis niet meer voldoende gevoed kan worden door de trial-and-error methode. Natuurwetenschappelijk onderzoek, met name op het terrein van de chemie en de electriciteit, wordt producent van technische kennis en toepassingen. De fase van de arbeidsproductiviteitsverhoging.

4. de informatietechnologie (vanaf 1940), waarbij de techniek-
wetenschappelijking zich uitbreidt tot het sociale en het biologische terrein. Dit wordt ondersteund door een verdere rationalisering van arbeidsorganisatie en door de opkomst van de computer en de massale informatieverwerkingscapaciteit.

Drie industriële revoluties dus, voorzover het de techniek betreft. Hoe verhouden deze zich met de opvattingen en wetenschapsmethoden in de economie?

De economische voedingsbodem voor de eerste technische revolutie is het wereldwijde commercialisme van de aan de feodale

macht ontsnappende burgerij. Voor het eerst werd de economie als wetenschap bedreven door Adam Smith (1776) en zijn tijdgenoten. Deze werd toen politieke economie genoemd, vanwege het inzicht dat de welvaart van een land afhankelijk is van de politieke beslissingen. De belangrijkste overheidsbeslissing volgens Smith was: zich niet bemoeien met de economie, tenzij om belasting te heffen. In het economisch systeem is, volgens hem, een terugkoppelingsmechanisme ingebouwd die onevenwichtigheden op bepaalde markten tijdelijk van aard doet zijn, en de (natuurlijke) situatie doet terugkomen waarin alle economische krachten in evenwicht zijn.

Helaas, de razendsnelle ontwikkeling van de techniek gooide roet in het eten. Achteraf weten wij dat dit zgn. klassieke model slechts onder bijzondere omstandigheden geldig is. Onder andere is vereist dat volledige mededinging tussen alle participanten op de markten bestaat en niemand een waarneembare invloed op de prijzen kan uitoefenen. Dit kon niet direct gezegd worden van de arbeidsmarkt waar de concurrentie slechts gold voor de fabrieksarbeiders, zodat deze 'vrijwillig' op hun bestaansminimum werden teruggedrongen.

De tweede revolutie in het economisch denken brachten Marx (1867) en anderen tot stand rondom 1850. Zij kwamen tot de conclusie dat de geldende spelregels van het kapitalisme niet meer overeenkwamen met de structuur van de productiekrachten van die tijd. Deze productiekrachten, met name de arbeiders, werden onder de heersende spelregels uitgebuit.

Hiermee constateerden zij dat er een divergentie kan ontstaan tussen de productiekrachten inclusief de techniek, enerzijds, en de productieverhoudingen welke de maatschappelijke spelregels bepalen, anderzijds. De consequentie hiervan was dat de samenlevingsregels maakbaar waren en veranderd moesten worden. En daar ging het hen ook om!

Daarvoor was nog iets anders nodig, namelijk een bundeling en omzetting van menselijke inspanning tot politieke macht om deze verandering in de maatschappelijke spelregels tot stand te brengen. Stelt u zich de problemen eens voor om dit wetenschappelijk te funderen: rationeel gedrag op basis van een geloof in nog niet aanvaarde maatschappelijke spelregels. Ongetwijfeld heeft de christelijke traditie hen hierbij geholpen.

Als theoretische noodoplossing diende het objectieve karakter van deze ontwikkeling. Maar meer effectief zal de praktische omstandigheid geweest zijn dat de betrokken arbeiders weinig te verliezen

hadden en emotioneel voldoende gemotiveerd werden. Het resultaat was dat de ideologie, dat wil zeggen een gemeenschappelijk geloof in nog niet gerealiseerde maatschappelijke projecten om deze tot stand te brengen, een begrip werd waar economen voortaan rekening mee moesten houden.

Deze tweede revolutie mag dan 'technisch' geslaagd zijn en op veel plaatsen navolging gevonden hebben, veel verder dan deze praktische oplossingen is de economie als wetenschap nog niet gekomen. De volgende fase, die ik met 'sociale technologie' aanduid, houdt in dat maatschappelijke spelregels op systematische en wetenschappelijke wijze worden ontworpen en op hun doelmatigheid worden onderzocht, alvorens ze toe te passen. Deze fase is nog lang niet bereikt. Momenteel worden deze regels met grote inventiviteit en gevoel voor politieke haalbaarheid ontworpen, al of niet door de omstandigheden gedwongen. Ik noem als recente voorbeelden: het ziekenhuisbudgetterings systeem, de arbeidstijdverkortung, het sociale zekerheidsstelsel, het basisinkomen, de studiefinancieringsregeling, de fiscale wetgeving, de conceptwet Personenvervoer, enzovoort.

Meestal worden de regelingen marginaal aangepast, op basis van trial and error. Het is evident dat deze situatie onbevredigend is, hoewel we op dit moment niet altijd veel beter kunnen. Welke lange weg gevolgd wordt en welke rol daarbij de wiskundige economie speelt, komt nu aan de orde.

3. Het algemeen evenwichtsmodel

Terwijl Marx een knappe analyse van het kapitalisme maakte en met behulp van een heel simpel model een geweldige invloed op al korte termijn uitoefende, werkte een andere econoom uit die tijd aan een formele beschrijving van het algemeen evenwicht tussen aanbieders en vragers op een markt.

Deze econoom, Walras, werd in zijn tijd nauwelijks erkend: hij kon tot zijn grote spijt in Frankrijk geen leerstoel krijgen omdat zijn theorieën niet gangbaar waren en te moeilijk gevonden werden. Op voorspraak van de Italiaan Pareto kon hij terecht in Lausanne. Dat economie nog een jonge wetenschap is en geladen met ideologie, blijkt uit het onbegrip waarmee zelfs vandaag nog sommige economen spreken over de resultaten van Walras. Zij zijn zich niet bewust van het feit, dat voor de realisering van de wetenschappelijke doelstellingen van Marx (namelijk de maakbaarheid van de samenleving), het werk van Walras een onvermijdelijke fase in deze ontwikkeling is.

Walras (1874) pakte een, in zeker opzicht, makkelijker probleem aan: de werking van markten onder volledige mededinging. Het economisch systeem bestaat uit gezinnen en bedrijven. Elk gezin bezit een pakket goederen of diensten, waaronder arbeid, dat gebruikt kan worden voor consumptie en voor productie. De waarde van dit pakket, tegen nog vast te stellen prijzen, vormt het inkomen van dat gezin. Het gezin kan de goederen of diensten welke het bezit, ruilen tegen andere goederen of diensten, als de waarde daarvan maar niet groter is dan het gezinsinkomen. Hieruit volgt dat de vraag naar consumptiegoederen door gezinnen, een functie is van de prijzen van zowel die consumptiegoederen als van de overige goederen of diensten. Het gezin is in evenwicht, als het geen beter pakket kan betalen dan het gevraagde pakket. Een analoge redenering gaat op voor de bedrijven. Voor elk goed en elke dienst bestaat er een markt waarop vraag en aanbod elkaar ontmoeten en ruiltransacties plaats vinden tegen een marktprijs. Een markt is in evenwicht als vraag gelijk is aan aanbod, waarbij de dan geldende prijs de evenwichtsprijs genoemd wordt.

De vraag die Walras zich stelde was: is dit model correct en consistent. Alleen dan, immers, kan het model gebruikt worden voor een volgende fase in de theorievorming. Consistentie kan worden aangetoond door te bewijzen dat er een prijs bestaat waarbij zowel alle gezinnen en bedrijven, als ook alle markten in evenwicht zijn. Dit is bepaald geen triviaal probleem, als men zich realiseert dat een verstoring bij een gezin of in een markt, doorwerkt naar alle andere gezinnen, bedrijven en markten.

Het al of niet correct zijn van deze theorie is bovendien van groot belang, omdat de prijs fungeert als parameter voor de sociale schaarste van goederen en diensten in de economie. De decentralisatie van alle economische beslissingen naar gezinnen en bedrijven is alleen toegestaan indien de evenwichtsprijs inderdaad het coördinatie-instrument is, waarvoor de klassieke economen haar gehouden hebben.

Walras heeft wel het model correct geformuleerd, maar was niet in staat om het bewijs te leveren. Hij dacht dit wel gedaan te hebben door aan te tonen, dat het aantal onafhankelijke vergelijkingen gelijk is aan het aantal variabelen, maar dit geldt niet in het algemeen.

Het kon, achteraf, in die tijd ook niet opgelost worden, eenvoudigweg omdat de noodzakelijke wiskundige instrumenten ontbraken. Maar wellicht het belangrijkste was, dat er voor het eerst een moeilijk wiskundig probleem in de economie was geformuleerd: een

situatie welke vroeg of laat wiskundigen zou aantrekken!

De eerste wiskundigen die zich met dit probleem bezig hielden waren Oskar Morgenstern en Abraham Wald (1936), die in de jaren dertig van deze eeuw er in slaagden een uiterst ingewikkeld existentie bewijs te construeren. Maar de grote doorbraak kwam in de jaren vijftig. Toen kwamen verschillende onderzoekslijnen bij elkaar, die samen de meest geschikte instrumenten boden om het probleem op te lossen.

Een lijn was de herformulering van Pareto's analytische definitie van een optimale allocatie, in termen van verzamelingen. Arrow, Debreu en Koopmans (1951) realiseerden zich dat een aanpak van dit probleem met behulp van convexe verzamelingen veel strenger, algemener en eenvoudiger was. De Hahn-Banach stelling, in het bijzonder het ondersteunend hypervlak, geeft precies het economische probleem weer.

Een andere lijn was de axiomatisering van de economische theorie, waarbij primitieve begrippen werden geformaliseerd en daarmee geschikt gemaakt voor krachtige wiskundige instrumenten. Een derde lijn van onderzoek was het werk van de geniale wiskundige John von Neumann (1937). Deze legde met Morgenstern de basis voor de speltheorie, waarin voor het eerst evenwichtsbegrippen werden ontwikkeld voor activiteiten van personen met tegengestelde belangen. Een toepassing ervan in de groeitheorie was het existentie bewijs van een stationnair evenwicht, met behulp van de vastpuntstelling van de Nederlandse wiskundige Brouwer. Generalisering van deze stelling door de Japanse wiskundige Kakutani (1941) voor multifuncties of correspondenties, gaf uiteindelijk het basisgereedschap waarmee de consistentie van algemeen evenwichtsmodellen kon worden aangetoond.

De tijd was rijp in 1954, toen McKenzie (1954) en Arrow en Debreu (1954) het gegeneraliseerde probleem van Walras op een elegante wijze konden oplossen.

Een uitbarsting van activiteiten volgde. Vele nieuwe typen van economisch evenwicht werden gedefinieerd en consistent bevonden²).

Sommige algemener, andere betrekking hebbend op een geheel verschillende economische omgeving, zoals bijvoorbeeld een evenwicht met publieke in plaats van private goederen, of een wereldmodel van landen met uitputbare hulpbronnen³). De economische waardetheorie kreeg een veel diepere betekenis dank zij de dualiteitstheorie⁴).

Ook andere economische begrippen konden nu precieser gedefinieerd worden. Als voorbeeld noem ik het begrip volledige mededinging. Dit houdt in dat aanbieders en vragers op de markt individueel geen waarneembare invloed op het resultaat mogen uitoefenen, terwijl zij als groep dit resultaat volledig bepalen. Een model met een groot maar eindig aantal personen (in de vaktaal worden zij agenten genoemd), voldoet niet aan deze eis. Een oplossing werd gevonden door Aumann (1964) die het begrip continuüm van agenten introduceerde. Dit is de verzameling agenten die beschreven wordt door een atoomloze maatruimte. In dat geval heeft elke agent de maat nul (een atoom, zo dacht men, kan immers niet verder opgesplitst worden), terwijl de verzameling een positieve maat heeft. In een dergelijk model blijken verschillende evenwichtsbegrippen samen te vallen.

Een andere ontwikkeling op het gebied van algemeen evenwicht, tenslotte, is het onderzoek naar het aantal mogelijke evenwichten. Dit aantal is slechts onder zeer bijzondere omstandigheden gelijk aan één.

Debreu (1970) heeft aangetoond dat, onder bepaalde differentieerbaarheidsvoorwaarden, een reguliere economie een eindig aantal evenwichten heeft. De verzameling singuliere economieën met een oneindig aantal evenwichten, heeft, volgens de stelling van Sard, maat nul en is dus verwaarloosbaar. Een proefschrift verdedigd aan deze hogeschool is aan dit type onderzoek gewijd⁵).

Het model van het algemeen mededingingsevenwicht kunt u zien als het eerste, grote en nagenoeg afgeronde werk van de wiskundige economie. Het heeft tot het inzicht geleid dat de structuur van een sociaal systeem van interdependente agenten die op een continue wijze tegengestelde belangen in evenwicht brengen, wiskundig kan worden gerepresenteerd door de vastpuntstructuur.

U ziet dat dit inzicht de oorspronkelijke probleemstelling van Walras ver overtreft, dank zij de eigenschap van de axiomatische methode, dat de interpretatie van de primitieve begrippen volkomen los staat van de wiskundige eigenschappen van het model. Het is immers voor een wiskundige volstrekt irrelevant of het om appels of peren gaat, of om een type graan dat over twee maanden in Chicago moet worden geleverd als de oogst in Rusland lager is dan vorig jaar.

Om die reden kan het algemeen evenwichtsmodel ook op andere economische theorieën worden toegepast welke eenzelfde structuur

hebben. Dat kan een internationaal handelsmodel zijn waarin landen door middel van handelsstrategieën hun positie trachten te verbeteren: een zogenaamd onevenwichtsmodel, waar hoeveelhedsbeperkingen een rol spelen, een model waar de effecten van subsidies en belastingen onderzocht worden, of een model waarin de effecten van de invoering van het basisinkomen kunnen worden doorgerekend⁶).

Als concept is het algemeen evenwichtsmodel afgerond en behoort het tot de gevestigde kennis van de economische wetenschap. De toepassingen floreren nog ruimschoots.

4. Berekenen van evenwichtspunten

De vastpuntstellingen van Brouwer en Kakutani hebben echter één belangrijke beperking: zij zijn topologisch van aard en niet constructief, dat wil zeggen dat er geen rekenvoorschrift uit kan worden afgeleid om de evenwichtspunten te berekenen.

Dit probleem is aangepakt door Scarf (1967), Hansen (1968) en Kuhn (1968), waarna in de jaren zeventig een verscheidenheid van steeds meer efficiënte algoritmes ontworpen zijn. Met name hebben Van der Laan en Talman hier belangrijke bijdragen aan geleverd⁷).

De mogelijkheid om complexe niet-lineaire systemen door te rekenen, schept een aanzienlijke verruiming van een onderzoekstechniek die bij economen 'comparatieve statica' heet. Traditioneel worden dergelijke oefeningen uitgevoerd met behulp van differentiaal analyse, als de betreffende veranderingen erg klein zijn, of met behulp van elementaire geometrische diagrammen, als het aantal variabelen erg beperkt is. Maar als aan geen van beide voorwaarden voldaan wordt, kan de techniek van comparatieve statica alleen worden uitgevoerd door expliciete numerieke berekening van de oplossingen van het evenwichtsmodel in twee opeenvolgende toestanden. Maar het blijft nog een kunst om het algoritme en het model aan elkaar aan te passen. Omdat deze ontwikkeling nog in de kinderschoenen staat, zal ik hier het basis idee beschrijven volgens welke het algoritme werkt.

De vastpuntstelling van Brouwer kan gezien worden als een generalisering in een hoger aantal dimensies van de middelwaarde stelling in de analyse, welke zegt dat een continue reële functie die positief is aan één kant van een gesloten interval en negatief is aan de ander kant, de waarde nul moet hebben in een punt daartussen.

Stel, bijvoorbeeld, dat het nationaal inkomen ligt tussen eenduizend en tweeduizend geldeenheden en dat de nationale bestedingen een continue functie zijn van het inkomen, zodat een kleine inkomensvariatie een geringe bestedingswijziging veroorzaakt. Stel vervolgens dat deze bestedingen ook tussen één- en tweeduizend liggen, dan is er tenminste een inkomensniveau dat precies gelijk is aan het bestedingsniveau. Als dit functionele verband lineair is, zoals in het Keynesiaanse model, dan is er slechts één evenwicht. Maar dit nemen we niet a priori aan.

Het gehele interval delen we nu op in, zeg, honderd subintervallen van lengte tien. Elk eindpunt van een subinterval geven we een label: een 1 als de bestedingen in dat punt minstens even groot zijn als het inkomen, en een 2 als de bestedingen kleiner zijn dan het inkomen. We weten dat de linkerkant van het gehele interval label 1 heeft, want de bestedingen kunnen niet lager zijn dan duizend en dat is ook de hoogte van het inkomen. Gaan we in het eerste subinterval naar de rechterkant, en is de label daar nog 1, dan zijn daar de bestedingen nog altijd minstens even groot als het inkomen. Zo gaan we door van het ene subinterval naar het volgende subinterval, totdat we bij een subinterval komen met label 2 aan de rechterkant. Dit subinterval wordt nu volledig gelabeld genoemd, omdat het beide labelnummers bevat.

We weten dat in zo'n volledig gelabeld interval tenminste één punt is, waarin de bestedingen precies gelijk zijn aan het inkomen. Daarom noemen we elk punt van zo'n interval een vastpunt benadering van de functie, in die zin dat het absolute verschil tussen bestedingen en inkomen erg klein is.

Als we de nauwkeurigheid van de benadering in het volledig gelabelde subinterval niet voldoende vinden, dan kunnen we dat subinterval opdelen in nieuwe subintervallen. Als we een reeks nemen van steeds fijnere opdelingen, en voor elke opdeling een vastpunt gevonden hebben, dan kunnen we theoretisch een deelrij van vastpuntbenaderingen selecteren, welke convergeert naar een exact vastpunt. In de praktijk moeten we echter volstaan met een vastpuntbenadering, die aan aanvaardbare marges voldoet.

Dit basis idee kan ook worden toegepast in hogere dimensies. Neem bijvoorbeeld een functie van een drie dimensionale verzameling in zichzelf, waarbij de som van de drie niet- negatieve variabelen een constante is. Alle mogelijke waarden die deze drie variabelen kunnen aannemen, liggen dan in een driehoek of

simplex. Deze driehoek wordt weer opgedeeld in een raster van deeldriehoeken of subsimplices, waarbij elk hoekpunt een label krijgt dat gelijk is aan 1, 2 of 3. De hoekpunten van de hoofddriehoek krijgen ieder een ander label. Elk punt op een zijde van de grote driehoek krijgt hetzelfde label, één eenheid hoger dan de label van het tegenoverliggende hoekpunt (labels 2 op de zijde tegenover hoekpunt 1, labels 3 tegenover 2 en labels 1 tegenover 3). Welke labelregel men verder ook hanteert, er bestaat tenminste een volledig gelabelde subsimplex in dit raster. Deze opmerkelijke combinatorische stelling werd in 1928 bewezen door Emanuel Sperner in zijn proefschrift. Het blijkt de basis te zijn voor het bestaan van de rekenprocedure.

Om dit duidelijk te maken moet u zich een groot huis voorstellen dat een eindig aantal kamers heeft op de begane vloer. Elke kamer heeft hooguit twee deuren en elke deur verbindt twee verschillende kamers. Als er maar één kamer is in het huis met een deur naar buiten, dan moet er tenminste een kamer in het huis zijn met slechts één deur.

Immers, stel dat we het huis binnengaan via de kamer met de enige deur naar buiten, en vervolgens kamer voor kamer doorlopen, altijd de kamer verlatend door de deur waarlangs we niet binnengekomen zijn, dan kan de tocht door vele kamers gaan, maar we kunnen nooit eenzelfde kamer een tweede keer binnenkomen. Omdat het huis een eindig aantal kamers heeft, moeten we ergens stoppen, en dat kan alleen gebeuren in de kamer met slechts één deur.

Dit huis van Lemke uit 1965 stelt de grote simplex voor met de subsimplices als kamers. Een deur is een zijde met labels, zeg, 2 en 3. De kamers die we doorlopen hebben label 2 en 3 en nog een label. Er is een unieke buitendeur met label 2 en 3. Gaan we daardoor de kamer binnen en is de derde label van de kamer een 2 of 3, dan heeft de kamer nog een deur, die we doorgaan. U kunt niet in een cykel terechtkomen en zult dus ergens niet verder kunnen. Omdat in die kamer slechts één deur is, heeft het derde hoekpunt van de subsimplex label 1 en is deze dus volledig gelabeld en daardoor een vastpuntbenadering.

Niet elk bewijs wordt in colleges op deze wijze gepresenteerd! Zeker niet als er nog bij verteld wordt dat U achtervolgd wordt door een spook. Maar het geeft U wellicht inzicht in het soort logica dat u moet gebruiken, wilt u doelmatig met computers communiceren.

In verschillende universiteiten worden deze of andere algoritmen gebruikt om algemeen evenwichtsmodellen door te rekenen⁸).

5. Strategisch economisch gedrag

Ik heb u toegezegd resultaten te melden over drie actuele en belangrijke onderwerpen in de wiskundige economie. Deze zijn: de algemene evenwichtstheorie, het berekenen van evenwichten, en het strategisch economisch gedrag. Ik kom nu aan dit laatste punt toe.

Ook de formalisering van het strategisch gedrag is langs verschillende onderzoekslijnen gelopen.

Nadat Cournot in 1838 en Edgeworth in 1881 bewonderenswaardige, maar geïsoleerde prestaties geleverd hadden, hebben Von Neumann en Morgenstern in 1944 de basis gelegd voor de formele beschrijving van menselijk sociaal gedrag. In dat jaar publiceerden zij: 'Theory of Games and Economic Behavior'. Tot dan toe werd in de waarschijnlijkheidsrekening en in de statistiek, het gedrag van de mens geanalyseerd met de natuur als tegenspeler. In de speltheorie wordt het rationeel gedrag van een persoon tegenover andere personen beschreven.

Deze publicatie heeft een enorme stimulans aan het onderzoek gegeven en de verwachtingen van de maatschappijwetenschappers waren hoog gespannen. Veel te hoog voor de korte termijn, zoals achteraf gebleken is. Momenteel wordt de behoefte gevoeld naar een nieuwe doorbraak, omdat de inmiddels ontworpen concepten niet voldoende bevredigend zijn voor de beschrijving van de complex sociale werkelijkheid.

Maar intussen is er toch al heel wat bereikt en ook deze hogeschool heeft hieraan bijgedragen⁹). Ik ga daar nu niet verder op in.

Een tweede lijn loopt langs de theorie van de publieke goederen en de sociale keuze. In de economie staan twee typen goederen of diensten diametraal tegenover elkaar: private goederen die, in verschillende hoeveelheden, door de één of door de ander gebruikt kunnen worden, en publieke goederen die in dezelfde omvang zowel door de één, als door de ander gebruikt kunnen worden, maar door ieder verschillend gewaardeerd worden. Voor het eerste type goederen fungeren de markten als economisch allocatie mechanisme: zie de theorie van het algemeen evenwicht.

Maar met het tweede type goederen hebben de economen meestal niet veel raad geweten. Met een paar adviezen werden deze doorgegeven aan politicologen. Geleidelijk aan keert deze trend en wordt de situatie beter, of slechter, al naar gelang men vertrouwen heeft¹⁰).

Toen in 1954 door Samuelson het begrip publiek goed gedefinieerd werd en de condities voor de optimale omvang van dit type goederen in economie werden afgeleid, bleek onmiddellijk dat dit resultaat niet operationeel was. De condities luiden dat de som van de individuele baten van een bepaald publiek goed gelijk moeten zijn aan de kosten, terwijl ieder daarin bijdraagt in de mate waarin hij of zij daar baat bij heeft. Het bekende profijtbeginsel dus.

Maar zou u uw werkelijke waardering voor een buurtpark bekend maken als u wist, dat u dienovereenkomstig moet bijdragen? De meeste mensen zullen denken dat één boompje meer of minder niet opvalt, en zullen dat boompje van hun bijdrage aftrekken. Op deze manier komt er dus geen waarneembaar park, terwijl iedereen dit toch wel zou waarderen.

In de jaren zeventig heeft men naarstig gezocht naar mechanismen die voor de kiezers een prikkel bevatten om een getrouwe weergave van de voorkeuren te geven: de zgn. misleiding bestendige mechanismen. Het criterium hiervoor is het sterke Nash evenwicht: geen andere strategie dan die van getrouwe weergave zou aan de kiezer een hogere opbrengst mogen opleveren. Het mechanisme van Groves en Ledyard (1977) voldoet hieraan, maar heeft nog onplezierige bijverschijnselen.

Een derde lijn is uitgezet door Arrow, Stigler (1961) en Akerlof (1970). In 1963 heeft Arrow een artikel gepubliceerd over 'onzekerheid en de welvaartseconomie van de gezondheidszorg'. Hierin komt het informatieprobleem van de verzekeraar aan de orde, die een contract sluit met een verzekerde. Om de juiste premie te kunnen bepalen mag de verzekerde geen informatie over zijn of haar gezondheidstoestand en risicokans achter houden en om de juiste uitkeringen te kunnen doen mag de verzekerde zich niet zorgelozer gedragen of zich zeker voordoen dan hij of zij is.

Beide zijn gevallen van asymmetrische informatie. Het eerste probleem wordt tegenwoordig dat van verborgen informatie (vroeger 'adverse selection') genoemd, het tweede dat van verborgen akties (vroeger 'moral hazard').

Asymmetrische informatie blijkt, even als onzekerheid, een natuurlijk verschijnsel te zijn in onze samenleving. Naarmate de samenleving gedifferentieerder is en de moraal de mensen meer ruimte laat, zal men steeds betere technieken ontwerpen om deze informatie-asymmetrie op te heffen, of om dit juist te bevorderen¹¹.

Voorbeelden zijn ruimschoots voorhanden: op de markt van tweedehands auto's kan de koper het verschil niet meer zien tussen een redelijke en slechte auto. Hierdoor loopt de koper risico, welke door hem in de prijs verrekend wordt. Ten gevolge daarvan zakt de gemiddelde autoprijs en zullen geen redelijke tot goede auto's meer aangeboden worden.

Aanbieders van goede auto's zullen dan signalen, zoals garantie-certificaten, ontwikkelen om aan de vrager de ontbrekende informatie te geven en daardoor de prijs te kunnen verhogen.

Het ontwikkelen van signalen die informatie geven over onzichtbare eigenschappen, of structuren, zoals kwaliteit, voorkeuren, plannen, of van signalen die deze informatie juist willen verbergen, is een techniek op zichzelf geworden.

Meestal maakt men gebruik van dualiteitseigenschappen, analoog aan het spreekwoord: 'Zeg me wie je vrienden zijn en ik zal zeggen wie jij bent'¹². Zo kan men ook op andere wijze conclusies trekken omtrent achterliggende zaken uit waarneembaar gedrag of waarneembare verschijnselen.

Voor elk signaal geldt dat het zijn betekenis mede ontleent aan de bedoeling van de signaalgever, welke bedoeling met behulp van, bij deze signaalgever verondersteld, rationeel gedrag geanalyseerd kan worden. (U ziet: economen blijven op de ander gericht.) Deze afhankelijkheid van het rationeel gedrag van anderen komt bijzonder goed tot uiting in de moderne theorie van de industriële organisatie, welke een onderdeel is van de allocatie-theorie.

Bij de theorie van de industriële organisatie wordt getracht het gedrag te verklaren en te beschrijven van twee of meer bedrijven die strijden om een optimaal marktaandeel. Hier zal ik me beperken tot een formele beschrijving en analyseren welk modelgedrag daaruit voortvloeit.

In geval van een spel met volledige informatie is het Cournot-evenwicht de aangewezen oplossing: geen speler of bedrijf kan een betere strategie bedenken, gegeven de strategieën en de reacties van de anderen en van de markt. Maar stel dat u monopolist bent en u ziet dat een ander bedrijf een stuk van uw markt wil overnemen. Als u dat wilt voorkomen, dan hangt de uitkomst af van de geloofwaardigheid van uw afweerstrategie. We zullen dit met behulp van een eenvoudig spel toelichten.

Uw rivaal komt of komt niet. Als hij niet komt, blijft uw winst, zeg, 100 en krijgt hij niets. Komt de rivaal wel, dan kunt u twee dingen doen: hem gedogen of hem bestrijden. Als u gedooft, wordt beider winst 25, en als u strijdt wordt beider verlies 50. Welke van deze vier combinaties is een evenwicht strategie?

Als de rivaal komt, dan staat de monopolist voor de keuze tussen 25 winnen bij gedogen en 50 verliezen bij strijd. Hij zal dus gedogen. De rivaal anticipeert op dit gedrag en kiest tussen of wegblijven zonder winst en komen met 25 winst. Hij zal dus komen.

Maar er is nog een Nash-evenwicht in het spel. Als de rivaal verwacht dat de monopolist gaat vechten bij zijn komst, dan zal hij niet komen. Daarbij valt op dat het de monopolist niets kost om de strategie 'vechten bij komst' aan te nemen, als er niemand komt. Dit tweede Nash-evenwicht is echter niet zo aannemelijk als het eerste, omdat het afhangt van een verwachting bij de rivaal van een, in deze context, irrationeel gedrag van de monopolist. Het tweede evenwicht is onvolmaakt. We zullen hier rationele verwachtingen aanhouden en ons tot het eerste evenwicht bepalen.

Een mogelijkheid om de context te wijzigen, zodat vechten wel rationeel wordt voor de monopolist, is zichzelf commiteren tot vechten. Dit kan bijvoorbeeld door diepte-investeringen te doen waarvan de liquidatie minstens zo duur is als de strijd (Fudenberg en Tirole, 1983). Een andere mogelijkheid is om de context uit te breiden tot herhaalspelen en daarin een reputatie van strijdbaarheid op te bouwen (Wilson, 1985). Daarbij meende men aanvankelijk dat een natuurlijke strategie de volgende is: de monopolist vecht in het begin, waardoor hij rivalen overtuigt van zijn wil tot vechten en daardoor latere rivalen afschrikt. Als dit waar zou zijn, dan zou ook voor de eerste ronde niet gevochten hoeven te worden omdat niemand zich wil laten gebruiken voor demonstratiedoeleinden. Selten (1978) heeft echter aangetoond dat deze redenering niet correct is. Selten nam als voorbeeld een winkelketen welke een monopolie positie inneemt in 20 steden. In elke stad komt achtereenvolgens een rivaal de positie van de winkel in die stad bedreigen.

Maar laat ik eens een ander voorbeeld nemen. Stel dat er twintig sectoren zijn met looneisen die de regering niet wil inwilligen. Zij komen achtereenvolgens met hun eis, en dreigen te zullen staken. De laatste komt vlak voor het einde van de regeringsperiode. Reputatie opbouwen heeft geen zin meer, dus accepteert de regering de eisen. Maar in de voorlaatste fase heeft de regering ook

geen reden om te vechten: het is kostbaar en heeft geen effect op de laatste fase. Ook hier accepteert de regering de eisen. Terugredenerend zal de regering altijd accepteren: dit is een uniek Nash-evenwicht van het spel. Uit deze paradox van Selten blijkt dat dit model niet geschikt is om de intuïtie dat reputatie een rol speelt, te rechtvaardigen.

Andere spelconcepten worden momenteel getest: bijvoorbeeld vermindering van informatie (Kreps en Wilson (1982), Roberts en Milgrom (1982)) of door van een speler te eisen dat hij het spel speelt met een eindig automaton, genaamd een Moore-machine. Deze automata beperken de rationaliteit van de beslissers, wellicht op een wijze die ook in de werkelijkheid voorkomt. Rubinstein (1984) past deze toe op een herhaalspel van het gevangenendilemma en krijgt inderdaad een meer coöperatief gedrag van de spelers als oplossing.

Centraal bij al deze evenwichtsbegrippen staat: de interdependentie van de individuele verwachtingen van de spelers, welke de basis vormt voor hun rationeel gedrag¹³).

6. Contracterende organisaties in een betwistbaar evenwicht

Als ik de huidige wereldwijde belangstelling van wiskundig economen in een titel zou moeten samenvatten, dan is deze: 'contracterende organisaties in een betwistbare omgeving'. Ik zal dat toelichten.

De theorie van de contracten blijkt een overkoepeling te zijn van een groot aantal verschillende onderwerpen. Hieronder vallen:

- a. de zojuist genoemde verzekerings- en arbeidscontracten, en vele andere uit deze bilaterale groep¹⁴;
- b. de organisatie-ontwerpen waarbij een gemeenschappelijke doelstelling gerealiseerd wordt door een aantal medewerkers: het principaal-agent probleem, of de strategische allocatiemechanismen¹⁵;
- c. multilaterale macro-economische, politieke overeenkomsten¹⁶).

De elementen in deze veelkleurige verzameling hebben alle gemeen dat deze contracten bepaald worden door het rationeel gedrag van de betrokken agenten, waarbij men individuele verwachtingen of overtuigingen heeft in de rationaliteit van de ander.

Als voorbeeld noem ik nog even een aantal principaal-agent ofwel

lastgever-lastnemer relaties:

- een bedrijf en zijn werknemers;
- de eigenaars en de managers van een bedrijf;
- de patiënt en de arts of de student en de docent;
- de overheid en de belastingbetalers en omgekeerd!

Tenzij de lastnemer de doelstelling van de lastgever kan internaliseren, is het probleem van asymmetrische informatie actueel en moeten beslissingsregels en compensatie-schema's ontworpen worden om de lastnemers' inspanning in de goede richting te prikkelen en te sturen. Karakteristiek hierbij is de indirecte wijze van sturen: men schrijft niet inhoudelijk een elders gemaakte keuze voor, maar men schept een omgeving waarin de zelfgemaakte keuze niet strijdig is of in voldoende mate overeenkomt met de bedoeling van de lastgever of principaal.

Dergelijke organisaties van contractanten staan in een betwistbare (contestable) relatie tegenover elkaar; een begrip dat zwakker is dan volledige mededinging en geschikt is om ook monopolioïde vormen van tegenspel weer te geven¹⁷).

Zowel de contracten als de relaties zijn gebaseerd op onvolledige informatie, zodat de rationaliseerbaarheid van gedrag mede bepaald wordt door de subjectieve overtuigingen van de betrokken agenten.

Met deze samenvatting sluit ik het overzicht van drie recente onderzoeksgebieden in de wiskundige economie af. U hebt gehoord hoe een aantal ogenschijnlijk losse lijnen samenkwamen in het algemeen evenwichtsmodel en hoe momenteel weer een aantal lijnen in elkaar gevlochten worden, maar nog zeker niet tot een harmonisch geheel zijn samengebracht. Integendeel, er is nog veel casuïstiek en trial and error. Ook zijn onze instrumenten nog niet fijn genoeg en is onze formele discipline te eenzijdig om al van een doelmatige sociale technologie te kunnen spreken. Maar, gezien de snelheid waarmee de ontwikkelingen plaatsvinden, kan er in korte tijd veel veranderen.

Op basis van de huidige stand van zaken meen ik uit het bovenstaande twee conclusies te kunnen trekken:

1. Elke sociale constructie is gebouwd op rationeel gedrag van de participerende agenten, net zoals een technische constructie gebaseerd is op het gedrag van de materialen. Dit individueel

rationeel gedrag wordt niet alleen door de sociale organisatieregels bepaald, maar ook door de subjectieve voorkeuren en door subjectieve waardering van, geloof in en verwachtingen omtrent gedragingen van anderen. Ik vat dit samen met het begrip 'subjectieve of individuele waarden'. Participatie in een organisatie vereist dan een zekere homogenisering van individuele waarden: de eis van 'bounded rationality' (Simon, 1972), of 'commitment' (Sen, 1976).

2. De relatie tussen organisaties of tussen individuen wordt daarentegen gekenmerkt door vrije wedijver tussen of betwistbaarheid van individuele waarden.

Ik voel mij verplicht om dit met een laatste voorbeeld toe te lichten en keer daarvoor terug naar het begin van deze voordracht. Bij Marx' analyse is het woord ideologie gevallen, welke ideologie een gedragsverandering teweegbrengt die niet direct op extrapolatie is gebaseerd. Een dergelijke ideologie heeft de functie om individuele waarden op een lijn te brengen: te homogeniseren, zodat een 'bounded rationality' verkregen wordt, verwoord in de eerste conclusie. De tweede conclusie heeft betrekking op Cassandra, de waarzegster in Troje die waarschuwt de poorten niet voor het paard te openen. Zij heeft toen tevergeefs gewaarschuwd. Hebben de in het begin genoemde vier studenten een overeenkomstige functie?

7. Epiloog

Aan het eind gekomen van deze rede wil ik mijn erkentelijkheid betuigen aan H.M. de Koningin voor mijn benoeming en aan het College van Bestuur voor de bevordering hiervan.

Ik dank hen en vele anderen in deze instelling voor het vertrouwen dat zij in de wiskundige economie, de econometrie en in mij gesteld hebben. Het feit dat inmiddels veel studenten belangstelling tonen, moet u ongetwijfeld genoegen doen.

Slechts drie namen wil ik in dit verband noemen, omdat zij ieder op voor mij opvallende wijze verantwoordelijkheid voor deze ontwikkeling hebben gedragen: Benders en Ackermans die nu de eerste fase van hun visie verwerkelijk zien, en Withagen die het leeuwedeel van het werk verricht om de volgende fasen te doen slagen.

Goede rekenaars ben ik nog een verklaring schuldig: waarom pas na 4 jaar een inaugurale rede! Alhoewel, dit nog binnen het jaar is, uitgaand van mijn deeltijd aanstelling, is de eigenlijke reden dat juist na mijn benoeming in 1981 de TVC operatie de studierichting in

Tilburg dreigde op te heffen. U begrijpt dat ik u een mogelijke blamage wilde besparen. Ook de Minister is deze bespaard gebleven, gezien de sterk toegenomen instroom van ongeveer honderd eerstejaars en het vernieuwde en gerenommeerde docentencorps. Daarbij speelt een rol dat deze plaats is bedoeld als bruggehoofd voor verdere samenwerking tussen econometrie, wiskunde en informatica. Het doet mij daarom genoeg u te kunnen melden dat de betrokken docenten in beide plaatsen in ruime mate van hun bereidwilligheid hebben laten blijken. Dat de onderafdeling Wijsbegeerte en Maatschappijwetenschappen ons gastvrij heeft opgenomen, zal u niet verbazen als u hen kent.

Tenslotte wil ik opmerken dat degenen die mij kennen, weten, dat de spanning die in deze voordracht en in mijn verdere werk ligt opgesloten, alleen mogelijk gemaakt wordt, doordat andere daarbij betrokken zijn en daarvoor een basis bieden. Hen wil ik met name in Ireen dankzeggen.

Noten

1. Zie Peterson e.a. (1981), Lintsen (1985), Heertje (1973).
2. Zie Debreu (1959), (1982) en (1984).
3. Zie Ruys (1974), Withagen (1985).
4. Zie Diewert (1974), Ruys en Weddepohl (1979).
5. Van Geldrop (1981).
6. In het VF-programma Evenwicht en Onevenwicht, dat uitgevoerd wordt door de KHT, UvA en de VU, wordt deze algemeen evenwichtsbenadering op verschillende gebieden toegepast: zie o.a. Weddepohl (1982).
7. Van der Laan en Talman (1979), Van der Laan (1980), Talman (1980), Doup en Talman (1984).
8. Zie Shoven and Whalley (1972), (1973), Miller and Spencer (1977), Brown and Whalley (1980), Piggot and Whalley (1980), Cornielje en Van der Laan (1984), Manne and Preckel (1983) en Mathiesen (1982).
9. Zie Van Damme (1983).
10. In de (neo)klassieke traditie wordt dit onderscheid tussen economisch private en economisch publieke goederen niet gemaakt. Daarvoor in de plaats werd het meer politieke concept van collectieve planning tegenover het marktmechanisme geplaatst, geheel in lijn met de Marxistische traditie. Dit leidde tot de zogenaamde socialistische controverse in de jaren dertig: zie Pierson (1902), Barone (1908), Von Hayek (1935), Lange (1936), Kantorovich (1939) en Lerner (1944).
In de jaren zestig is het probleem van de economische organisatie weer opgenomen door Hurwicz (1959), Marschak (1959), Tinbergen (1961), en Kornai (1965). Hierna speelde het begrip publiek goed expliciet een rol, vooreerst in Malinvaud (1967)(1972), Dreze en de la Vallée Poussin (1971) en Hurwicz (1973). Deze ontwikkeling heeft het mogelijk gemaakt een brug te slaan met het tot dan toe volstrekt geïsoleerde gebied van de sociale keuze theorie, welke eerder tot de politicologie gerekend werd: zie Riker and Ordeshook (1973). Sindsdien is de sociale keuze theorie onmisbaar voor de theorie van de economische organisatie: zie Mueller (1976) en Laffont (1979).
11. Overzichten zijn o.a. gegeven door Hirshleifer and Riley (1979), Roberts (1985), Holstrom and Hart (1985), Rosen (1985).
12. Zie Ruys en Storcken (1985).

13. Zie Aumann en Maschler (1967), Harsanyi (1967), Aumann (1981) en Sobel (1985); rationeel gedrag is geanalyseerd door Ruys (1981).
14. Zie o.a. Simon (1953), Spence (1974, 1977), Stiglitz (1975, 1983), Gale and Helling (1985), Dionne and Lasserre (1985) en Rosen (1985).
15. De moderne opvatting van een bedrijf als een organisatie vindt zijn oorsprong bij Coase (1937) en is langs verschillende wegen uitgewerkt: zie Williamson (1975, 1981), Alchian and Demsetz (1972), Jensen and Mecklin (1976), Fame (1980), Grossman and Hart (1983); een overzicht geeft Schreuder (1985). Daarnaast de bovenvermelde onderzoeken op het gebied van de publieke goederen en allocatiemechanismen. Een toepassing op dit gebied geeft Ruys en Van den Heuvel (1985).
16. Zie bijvoorbeeld de Zeeuw (1984).
17. Zie de literatuur welke hierboven bij het onderwerp Industriële Organisatie behandeld is. Daarnaast: Rothschild (1973), Arrow (1974) en Baumol (1982).

Literatuurlijst

- Arrow, K.J. (1974): *The Limits of Organization*, New York: Norton.
- Alchian, A.A., and H. Demsets (1972): 'Production, Information Costs, and Economic Organization' *American Economic Review* 62, 777-795.
- Aumann, R. (1981): 'Survey of Repeated Games', in *Essays in Game Theory and Mathematical Economics* (eds. R. Aumann e.a.), Zürich: Bibliographisches Institut.
- Aumann, R., and M. Maschler (1967): 'Repeated Games with Incomplete Information. A Survey of Recent Results. Report to the U.S. Arms Control and Disarmament Agency', in: *Game Theoretical Aspects of Gradual Disarmament*. Final Report on Control ACDA/ST-116, prepared by Mathematica, Princeton, N.J., 187-403.
- Akerlof, G.A. (1970): The market for 'lemons': quality uncertainty and the market mechanism', *Quarterly Journal of Economics*, 84, 488-500.
- Arrow, K.J. (1970): 'The value of and demand for information', in: *Essays in the Theory of Risk Bearing* (K.J. Arrow, ed.), Markham: Chicago, 268-278.
- Arrow, K.J. (1963): 'Uncertainty and the Welfare Economics of Medical Care', *American Economic Review*, 53, 941-973.
- Arrow, K.J., and G. Debreu (1954): 'Existence of equilibrium for a competitive economy', *Econometrica*, 22, 265-290.
- Aumann, R.J. (1964): 'Markets with a Continuum of Traders', *Econometrica*, 32, 39-50.
- Brown, F., and J. Whalley (1980): 'General equilibrium evaluations of tariff cutting proposals in the Tokyo round and comparisons with more extensive liberalization of world trade', *Economic Journal*, 90, 836-866.
- Barone, E. (1908): 'Il ministero della produzione nello stato collettivista', *Giornale degli Economisti*; translated as 'The ministry of production in the collectivist state', in: *Collectivist Economic Planning*, (ed. F.A. von Hayek), Routledge, London, 1935, 245-90.
- Baumol, W.J. (1982): *Contestable Markets and the Theory of Industry Structure*, New York.
- Coase, R.H. (1937): 'The Nature of the Firm', *Economica*, 4, 386-405, reprinted in: *Readings in Price Theory* (eds G.J. Stigler and K.E. Boulding), Homewood (Ill): Irwin.
- Cornielje, O.J.C., and G. van der Laan (1984): 'The computation of

- quantity-constrained equilibria by virtual taxes', DP 127, V.U.-Amsterdam.
- Cournot, A.A. (1838): *Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses*, Nouvelle édition (publiée par G. Lutfalla), Rivière, Paris, 1938.
- Damme, E.E.C. van (1983): *Refinements of the Nash Equilibrium Concept*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 219, Berlin: Springer.
- Debreu, G. (1959): *Theory of Value*, John Wiley and Sons, New York.
- Debreu, G. (1970): 'Economies with a finite set of equilibria', *Econometrica*, 38, 387-392.
- Debreu, G. (1982): 'Existence of competitive equilibrium', in: *Handbook of Mathematical Economics, II* (eds. K. Arrow and M. Intrilligator), Amsterdam: North-Holland, 697-744.
- Debreu, G. (1984): 'Economic theory in the mathematical mode', *American Economic Review*, 74, 267-278.
- Diewert, W.E. (1974): 'Application of duality theory', in: *Frontiers of Quantitative Economics, Vol. II* (eds. M.D. Intrilligator and D.A. Kendrick), Amsterdam: North-Holland, 106-170.
- Doup, T.M., and A.J.J. Talman (1984): 'A new variable dimension simplicial algorithm to find equilibria on the product space of unit simplices', Research Memorandum FEW, Tilburg, to appear in *Mathematical Programming*.
- Drèze, J.H., and D. de la Vallée Poussin (1971): 'A Tâtonnement Process for Public Goods', *The Review of Economic Studies*, 38, 133-150.
- Dionne, G., and P. Lasserre (1985): 'Adverse Selection, Repeated Insurance Contracts and Announcement Strategy', *Review of Economics Studies*, 52, 719-723.
- Edgeworth, F.Y. (1881): *Mathematical Psychics*, Paul Kegan, London.
- Fudenberg, D., and J. Tirole (1983): 'Capital as a Commitment: Strategic Investment to Deter Mobility', *Journal of Economic Theory*, 31, 227-250.
- Fama, E.F. (1980): 'Agency Problems and the Theory of the Firm', *Journal of Political Economy*, 88, 288-307.
- Gale, D., and M. Hellwig (1985): 'Incentive-Compatible Debt Contracts: The One-Period Problem', *Review of Econ. Studies*, 52, 647-663.

- Geldrop, J.H. van (1981): *A Mathematical theory of pure exchange economies without the no-critical-point hypothesis*, Amsterdam: Mathematisch Centrum.
- Heertje, A. (1973): *Economie en technische ontwikkeling*, Leiden: Stenfert Kroese.
- Hansen, T. (1968): 'On the approximation of a competitive equilibrium', Ph.D. dissertation, Yale University.
- Hayek, F.A. von (1935): 'The Present State of the Debate' in: *Collectivist Economic Planning* (ed. F.A. von Hayek), Routledge, London, 201-243.
- Holstrom, B., and O. Hart (1985): 'The Theory of Contracts', Invited paper at the Fifth World Congress of the Econometric Society, Boston, Mass.
- Hurwicz, L. (1959): 'Optimality and Informational Efficiency in Resource Allocation Processes' in: *Mathematical Methods in the Social Sciences, 1959* (eds. K.J. Arrow, S. Karlin, D. Suppes), Stanford University Press, Stanford, California, 1960, 27-46.
- Hurwicz, L. (1973): 'The Design of Mechanisms for Resource Allocation', Richard T. Ely Lecture at the 85-th A.E.A. Meeting, *The American Economic Review*, 673, 1973, 1-30.
- Groves, T., and J. Ledyard (1977): 'Optimal allocation of public goods: a solution to the free rider problem', *Econometrica*, 45, 783-809.
- Grossman, S.J., and O.D. Hart (1983): 'An analysis of the Principal-Agent Problem', *Econometrica*, 51, 7-45.
- Hayek, F.A. (1945): 'The Use of Knowledge in Society', *The American Economic Review*, 35, 519-530.
- Harsanyi, J. (1967-68): 'Games of Incomplete Information Played by Bayesian Players', Parts I, II and III, *Management Science*, 14, 159-182, 320-324, 486-502.
- Hirshleifer, J., and J.G. Riley (1979): 'The analytics of uncertainty and information - an expository survey', *Journal of Economic Literature*, 17, 1375-1421.
- Jensen, M.C. and W.H. Meckling (1976): 'Theory of the Firm: Managerial Behavior, Agency Costs and Ownership Structure', *Journal of Financial Economics*, 305-360.
- Kantorovich, L.V. (1939): 'Mathematical methods for the organization and planning of production', translation in: *Management Science*, July 1960. Reprinted in: V.S. Nemchinov (ed.) *Primerie matematiki v ekonomicheskik issledovaniyak*, Moscow, 1959.

- Kakutani, S. (1941): 'A generalization of Brouwer's fixed point theorem', *Duke Mathematical Journal*, 8, 457-459.
- McKenzie, L.W. (1954): 'On equilibrium in Graham's model of world trade and other competitive systems', *Econometrica*, 22, 147-161.
- Kuhn, H.W. (1968): 'Simplicial approximation of fixed points', *PNAS*, 61, 1238-1242.
- Koopmans, T.C. (1951): 'Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities', in *Activity Analysis of Production and Allocation* (ed. T.C. Koopmans), John Wiley, New York.
- Lintsen, H. (1985): *Ingenieurs van beroep*, den Haag: Ingenieurspers.
- Marx, K. (1867): *Das Kapital: Kritik der politischen Ökonomie*, Hamburg: Meissner, 1871.
- Neumann, J. von (1937): 'Über ein ökonomisches Gleichungssystem und eine Verallgemeinerung des Brouwerschen Fixpunktsatzes' *Ergebnisse eines Mathematischen Kolloquiums*, 8, Franz Deuticke, Leipzig. Translated as 'A model of general economic equilibrium' *Review of Economic Studies*, 13, 1945.
- Neumann, J. Von, and O. Morgenstern (1944): *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton U.P.
- Laan, G. van der, and A.J.J. Talman (1979): 'A restart algorithm for computing fixed points without an extra dimension', *Mathematical Programming*, 17, 74-84.
- Laan, G. van der (1980): *Simplicial Fixed Point Algorithms*, Amsterdam: Mathematical Centre Tracts, 129.
- Marschak, T.A. (1959): 'Centralization and Decentralization in Economic Organizations', *Econometrica*, 27, 399-430.
- Miller, M.H., and J.E. Spencer (1977): 'The static economic effects of the U.K. joining the E.E.C.: a general equilibrium approach', *Review of Economic Studies*, 44, 71-94.
- Lange, O. (1936): 'On the Economic Theory of Socialism', *Review of Economic Studies*, 4, 53-71 and 123-142.
- Kornai, J. (1965): *Mathematical Planning of Structural Decisions*, North-Holland, Amsterdam, 1967.
- Kreps, D., and R. Wilson (1982): 'Reputation and Imperfect Information', *Journal of Economic Theory*, 27, 253-279.
- Laffont, J.J., ed. (1979): *Aggregation and Revelation of Preferences*, Amsterdam: North-Holland.
- Lerner, A.P. (1944): *The Economics of Control*, McMillan, New York.

- Malinvaud, E. (1967): 'Decentralized Procedures for Planning' in: *Activity Analysis in the Theory of Growth and Planning* (eds. E. Malinvaud and M.O.L. Bacharach), McMillan, London, 170-208.
- Malinvaud, E. (1972): 'Prices for individual consumption, quantity indicators for collective consumption', *Review of Economic Studies*, 39, 385-405.
- Manne, A.S., and P.V. Prechel (1983): 'A three region intertemporal model of energy, international trade and capital flows', Stanford University, DP.
- Mathiesen, L. (1982): 'Computational experience from solving equilibrium problems as a sequence of linear complementarity problems', Bergen, Norway.
- Milgrom, P., and D.J. Roberts (1982): 'Predation, Reputation and Entry Deterrence', *Journal of Economic Theory*, 27, 280-312.
- Mueller, D.C. (1976): 'Public choice: a survey', *Journal of Economic Literature*, 14, 395-433.
- Pareto, V. (1909): *Manuel d'Economie Politique*, Marcel Giard, Paris, 1927.
- Pierson, N.G. (1902): 'Het waardeprobleem in een socialistische maatschappij', *De Economist*, 51, 421-4546; translated as: 'The Problem of Value in the Socialist Community', in *Collectivist Economic Planning* (ed. F.A. von Hayek), Routledge, London, 1935, 41-85.
- Pieterse, M., e.a. (1981): *Het technisch Labyrint*, door Werkgroep Techniek, Technologie en Samenleving, RUL, Boom: Meppel.
- Piggot, J., and J. Whalley (1980): 'Economic effects of U.K. tax-subsidy policies: a general equilibrium appraisal', University of Western Ontario, Discussion paper.
- Riker, W.H., and P.C. Ordeshook (1973): *An Introduction to Positive Political Theory*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Roberts, J. (1985): 'Battles for Market Share: Incomplete Information, Aggressive Strategic Pricing, and Competitive Dynamics', Invited Paper, Fifth World Congress of the Econometric Society, Cambridge, Mass.
- Rosen, S. (1985): 'Implicit Contracts: A Survey', *The Journal of Economic Literature*, 23, 1144-1175.
- Rothschild, M. (1973): 'Models of market organization with imperfect information: a survey', *Journal of Political Economy*, 81, 1283-1308.
- Rubinstein, A. (1984): 'Finite Automata Play to Repeated Prisoner's Dilemma', Research Report 149, The Hebrew University of Jerusalem.

- Ruys, P.H.M. (1974): *Public Goods and Decentralization: the duality approach in the theory of value*, Tilburg University Press, Academic Book Services Holland.
- Ruys, P.H.M. (1981): 'Rationeel gedrag', *Maandschrift Economie*, 45, 266-280.
- Ruys, P.H.M., and P.J. van den Heuvel (1985): 'Structurele ontwikkeling van het openbaar vervoer: organisatie en financiering op langere termijn', Economisch Instituut Tilburg.
- Ruys, P.H.M. and A.J.A. Storcken (1985): 'Preferences revealed by the choice of friends', Research Memorandum FEW, Tilburg University.
- Ruys, P.H.M., and H.N. Weddepohl (1979): 'Economic theory and duality' in: J. Kriens, ed., *Convex Analysis and Mathematical Economics*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, 168, Springer, Berlin, 1-72.
- Simon, H.A. (1953): 'A Formal Theory of the Employment Relationship', *Econometrica*, 19, 293-305.
- Simon, H.A. (1972): 'Theories of Bounded Rationality', in: *Decision and Organization* (C.B. McGuire and R. Redner, eds.), North-Holland.
- Sen, A. (1976): 'Rational Fools: A Critique of the Behavioural Foundations of Economic Theory', *Philosophy and Public Affairs*, 6 (1977), 317-344. Ook in: *Choice, Welfare and Measurement* (1982), Oxford: Basil Blackwell.
- Samuelson, P.A. (1954): 'The Pure Theory of Public Expenditures', *The Review of Economics and Statistics*, 36, 387-389.
- Scarf, J. (1967): 'On the Computation of Equilibrium Prices', in: *Ten Economic Studies in the Tradition of Irving Fisher* (W. Fellner, e.d.), Wiley, New York, 207-230.
- Schreuder, H. (1985): 'Economic theories of organization: An overview and assessment of some recent developments', Research Memorandum 7, Limburg University.
- Selten, R. (1978): 'The Chain-Store Paradox', *Theory and Decision*, 9, 127-159.
- Smith, A. (1776): *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, reprinted London: Dent, 1960.
- Spence, A.M. (1974): 'Competitive and optimal responses to signals: an analysis of efficiency and distribution', *Journal of Economic Theory*, 7, 296-332.
- Spence, A.M. (1977): 'Consumer misperceptions, product failure and

- producer liability, *Review of Economic Studies*, 44, 561-572.
- Shoven, J.B., and J. Whalley (1973): 'General equilibrium with taxes: a computational procedure and existence proof', *Review of Economic Studies*, 40, 475-489.
- Shoven, J.B., and J. Whalley (1972): 'A general equilibrium calculation of the effects of differential taxation of income from capital in the U.S.', *Journal of Public Economics*, 1, 281-321.
- Sobel, J. (1985): 'A Theory of Credibility', *Review of Economic Studies*, 52, 557-573.
- Stigler, G.J. (1961): 'The economies of information', *Journal of Political Economy*, 6, 213-225.
- Stiglitz, J.E. (1983): 'Risk, Incentives, and the Pure Theory of Moral Hazard', *The Geneva Papers on Risk and Insurance*, 8, 4-33.
- Stiglitz, J.E. (1975): 'The theory of screening, education, and the distribution of income', *American Economic Review*, 65, 283-300.
- Talman, A.J.J. (1980): *Variable Dimension Fixed Point Algorithms and Triangulations*, Amsterdam: Mathematical Centre Tracts, 128.
- Tinbergen, J. (1961): 'De optimale organisatie der economische beslissingen', *Mededelingen der Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, afd. Letterkunde*, 24, 7.
- Weddepohl, H.N. (1982): *Ontwikkelingen in de theorie van het algemeen evenwicht*, Intereerde Universiteit van Amsterdam.
- Weddepohl, H.N. (1982): 'Equilibria with rationing in an economy with increasing returns', *Journal of Economic Theory*, 26, 143-163.
- Williamson, O.E. (1975): *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications*, New York: The Free Press.
- Wald, A. (1936): 'Über einige Gleichungssysteme der mathematischen Ökonomie', *Zeitschrift für Nationalökonomie*, 7, 637-670.
- Walras, L. (1874): *Éléments d'économie politique pure*, Lausanne: L. Corbaz, English translation of the definitive edition by William Jaffé (1954): *Elements of Pure Economics*, London: Allen and Unwin.
- Williamson, O.E. (1981): 'The Modern Corporation: Origin, Evolution, Attributes', *Journal of Economic Literature*, 19, 1537-1568.
- Wilson, R. (1985): 'Reputations in Games and Markets' in: *Game Theoretic Models of Bargaining* (ed. A. Roth), Cambridge: Cambridge University Press.
- Withagen, C. (1985): *Economic Theory and International Trade in Natural Exhaustible Resources*, Springer Verlag: Berlin.
- Zeeuw, A.J. de (1984): *Difference Games and Linked Econometric*

