

Speltheorie in beweging

E.E.C. van Damme en A. Heertje*

De speltheorie speelt een niet meer weg te denken rol in de moderne economie. De toekenning van de Nobelprijs voor economie 1994 aan John Nash, John Harsanyi en Reinhard Selten vormt hiervoor een erkenning.

Het karakter van de economische wetenschap is door de speltheorie ingrijpend gewijzigd. De theorie over het micro-economische keuzegedrag van producenten, consumenten, eigenaren van produktiefactoren, ambtenaren en politici wordt herschreven¹. Geschriften over de industriële organisatie, waarin het gedrag van marktpartijen wordt geanalyseerd op monopolioïde markten verschillen hemelsbreed van de publikaties van nog maar tien jaar geleden². Voor zover in de macro-economie de monetaire theorie en de theorie van de internationale betrekkingen verschijnselen worden herleid tot individuele beslissingen, worden ook deze beschouwingen vernieuwd³.

In het economische leven onderhouden de subjecten jegens elkaar wederkerige betrekkingen, die men als conflictsituaties kan typeren omdat meestal tegenstrijdige belangen worden behartigd. De speltheorie behandelt in het algemeen deze conflictsituaties. Daarbij is het onverschillig of het gaat om een vriendelijk schaakspel dan wel een onvriendelijke bewapeningswedloop⁴. In dit artikel beperken wij ons tot speltheorie en de economie.

Von Neumann en Morgenstern

Het wiskundige genie John von Neumann⁵ en de econoom Oskar Morgenstern hebben samengewerkt bij het maken van het boek *Theory of games and economic behavior*⁶. Morgenstern had kennis genomen van Von Neumanns formele uitwerking van de speltheorie uit 1928⁷ en zag de betekenis voor de economie direct in⁸. Het eerste hoofdstuk van hun boek handelt dan ook over consumenten en producenten, volkomen concurrentie, algemeen evenwicht, de meetbaarheid van het nut en de nutsfunctie. De beschouwingen monden uit in het oogmerk een wiskundige beschrijving te geven van 'rational behavior for the participants in a social economy' en het inzicht dat de speltheorie daartoe een geschikt instrument is⁹. Het geniale van Von Neumann schuilt in het scheppen van een abstracte wereld, waarin spelers strategieën spelen op basis van verwachte uitkomsten, op elkaar reageren, rekening houden met elkaars verwachtingen en waarin de resulterende onbestemdheid van het gedrag wordt opgeheven door het bestaan van een evenwicht te postulieren. Dit evenwicht heeft de eigenschap dat de voorspelde acties van de spelers overeenstemmen met de werkelijke acties.

Daartoe wordt aan rationeel gedrag de inhoud gegeven, dat elke speler het spel zo speelt dat de individueel verwachte opbrengsten worden gemaximeerd.

Dit uitgangspunt omtrent rationeel gedrag heeft geleid tot diepgaande studies over beslissingen door subjecten in bedreigende en onzekere situaties, waarbij met het verfijnen van de theorie vraagstellingen complexer zijn geworden en het zicht op empirische toetsing moeilijker¹⁰. De Nobelprijswinnaars van dit jaar zetten deze lijn van wat wel wordt genoemd 'individualism in game theory' voort¹¹.

* De auteurs zijn hoogleraar economie aan resp. het CentER van de Katholieke Universiteit Brabant en de Juridische Faculteit van de Universiteit van Amsterdam. Dit artikel is geschreven naar aanleiding van het toekennen van de Nobelprijs voor economie aan John Nash, John Harsanyi en Reinhard Selten voor hun baanbrekende bijdrage tot de speltheorie, in het bijzonder de niet-coöperatieve spelen.

1. Zie bij voorbeeld D.M. Kreps, *A course in micro-economic theory*, Princeton, 1990.

2. Zie bij voorbeeld J. Tirole, *The theory of industrial organization*, Cambridge, Mass., 1988; C.G. Krouse, *Theory of industrial economics*, Oxford, 1990. Al eerder beperkte zich J.W. Frieche tot oligopolie, in *Oligopoly and the theory of games*, Amsterdam, 1977.

3. Zie bij voorbeeld B. Eden, The adjustment of prices to monetary shocks when trade is uncertain and sequential, *Journal of Political Economy*, 1994, blz. 493-509. Verder voorbeelden in R. Gibbons, *A primer in game theory*, Hempstead, 1992, blz. 112-115 en 208-210.

4. Zie bij voorbeeld P.C. Ordeshook, *Game theory and political theory*, Cambridge, 1986; een toepassing op de wereldliteratuur biedt S.J. Brams, *Game theory and literature, Games and Economic Behaviour*, 1994, blz. 32-54 en M. Shubik, *Game theory in the social sciences*, Cambridge, 1982.

5. Zie N. Macrae, *John von Neumann*, New York, 1992.

6. J. von Neumann en O. Morgenstern, *Theory of games and economic behaviour*, Princeton, 1944.

7. J. von Neumann, Zur Theorie der Gesellschaftsspiele, *Mathematische Annalen*, jg. 100, blz. 295-320.

8. Over zijn bijdrage: A. Schotten, Oskar Morgenstern's contribution to the development of the theory of games, in E.R. Weintraub (red.), *Towards a history of game theory*, Durham, 1992, blz. 95-112.

9. J. von Neumann en O. Morgenstern, op. cit, blz. 31.

10. Zie bij voorbeeld J. Harsanyi, Advances in understanding rational behavior, in *Essays on ethics, social behavior, and scientific explanation*, Dordrecht, 1976, blz. 89-118; K. Binmore, *Essays on the foundations of game theory*, Oxford, 1990; D.M. Kreps, *Game theory and economic modelling*, Oxford, 1990.

11. M. Bacharach en S. Hurley (red.), *Foundations of decision theory*, Oxford, 1991, blz. 4.

Speltheorie

De speltheorie kan nu iets nader worden aangeduid als de formele studie van rationeel gedrag in interactieve conflictsituaties. De conflictsituaties zijn interactief, omdat de individuen zich bij het overwegen van hun acties realiseren dat zij elkaar over en weer beïnvloeden. Von Neumann en Morgenstern hebben zich beperkt tot zogenaamde nulspelen, waarbij de winst van de één precies wordt gecompenseerd door het verlies van de ander. Daarnaast hebben zij enige aandacht geschonken aan coalitievorming bij grotere aantallen spelers, zonder daarbij een theorie van het onderhandelen te ontwikkelen.

Hoewel de speltheorie in de kiem kan worden opgevat als het instrumentarium voor het analyseren van het economische proces indien door machtsposities op de markten, de Pareto-optimale wereld van Adam Smith met volkomen concurrentie op alle markten, wordt verlaten, ebde het aanvankelijke enthousiasme in de jaren zestig weg. Er waren wel enkele toepassingen op de theorie van het oligopolie, maar deze bleven toch betrekkelijk onopgemerkt¹².

De grote opleving kwam toen het baanbrekende werk van Nash, die kans zag een evenwichtsbegrip te formuleren voor alle gevallen waarin de spelers andere dan volledig tegengestelde belangen hebben, wortel schoot. Sinds zijn bijdragen wordt in de speltheorie onderscheid gemaakt tussen coöperatieve en niet-coöperatieve spelen. Bij een coöperatief spel kunnen de spelers bindende overeenkomsten aangaan, bij een niet-coöperatief spel kunnen zij dat niet. Nash¹³ heeft met enkele artikelen in de jaren vijftig de grondslag gelegd voor de verdieping van de niet-coöperatieve speltheorie en voor de analyse van coöperatie tussen spelers langs de weg van niet-coöperatieve onderhandelingen¹⁴. Harsanyi en Selten hebben binnen dit raamwerk innovatieve bijdragen geleverd die de betekenis van de speltheorie voor de economie aanzienlijk hebben vergroot. In het algemeen is Selten daarbij non-conformistischer gebleken dan Harsanyi. De drie Nobelprijswinnaars ontvangen de prijs in het bijzonder voor hun bijdragen aan de niet-coöperatieve speltheorie, die in de economie de meeste opgang heeft gemaakt.

Het Nash-evenwicht

In de niet-coöperatieve speltheorie wordt het Nash-evenwicht gehanteerd als oplossing. De strategiecombinatie wordt een Nash-evenwicht genoemd, als geen van de spelers een prikkel heeft om van zijn strategie af te wijken, gegeven dat de andere spelers niet afwijken. Nash bewees dat elk non-coöperatief spel ten minste één evenwicht kent, hetzij met zuivere hetzij met gemengde strategieën. In het laatste geval worden niet de acties van de andere spelers voorspeld, maar wel de kansen op uiteenlopende acties. Het Nash-evenwicht kan worden opgevat als een formele uitwerking van het methodologisch individualisme, daar het voortvloeit uit de aanname dat individuen hun belangen behartigen door het maximeren van opbrengsten. De duopolietheorie van Cournot is een speciaal geval van het algemene Nash-evenwicht¹⁵.

Fris op

Economische kennis veroudert snel. De serie 'Fris op' brengt u op de hoogte van nieuwe ontwikkelingen in de economische theorie en hun praktische betekenis.

Een simpel voorbeeld kan dienen om dit evenwichtsbegrip te verduidelijken. Stel in een stad zijn twee winkels die vredig naast elkaar bestaan. De minister van EZ kondigt een verruiming van de openingstijden aan, en de winkeliers moeten besluiten hun winkels al dan niet langer open te houden. Veronderstel dat in de huidige situatie elke winkelier een marktaandeel van 50% heeft, dat als slechts één winkel langer open is deze winkel een marktaandeel van 65% verwerft en dat de kosten voor het langer open zijn precies gedekt worden door een stijging van het marktaandeel met 10%. In dit geval is de situatie waarin geen van beide winkels langer open is geen evenwicht. De netto winst van een winkel stijgt als deze als enige langer open is. Beide winkeliers ondervinden een prikkel om langer open te zijn en in het evenwicht zullen ze inderdaad beiden de ruimere openingstijden hanteren. Als de concurrent langer open is, is het voor mij optimaal om ook langer open te zijn. Het gevolg is dat de langere openingstijden voor elke winkel tot een lagere netto winst leiden: het marktaandeel blijft 50%, maar de kosten stijgen. Er is in dit geval sprake van een zogenaamd prisoner's dilemma. Het individuele optimum à la Nash is niet het best bereikbare voor de individuen.

Het prisoner's dilemma illustreert dat niet kan worden vertrouwd op de 'invisible hand'-gedachte van A. Smith. Door het behartigen van hun individuele belangen komen de spelers niet in de voor hen beste situatie terecht. Het dagelijks leven biedt een rijke variatie aan voorbeelden van het dilemma van de gevangene.

Onvolledige informatie

Tot 1968 zag de speltheorie geen kans om te gaan met de praktisch erg relevante situatie, dat de spelers over onvolledige informatie beschikken.

12. Een goed voorbeeld is M. Shubik, *Strategy and market structure*, New York, 1959.

13. J. Nash, Equilibrium points in N-person games, *Proceedings National Academic Sciences*, jg. 39, 1950, blz. 48-49; idem, Non-cooperative games, *Annals of Mathematics*, jg. 54, 1951, blz. 286-295; idem, The bargaining problem, *Econometrica*, 1950, blz. 150-162 en Two persons cooperative games, *Econometrica*, 1953, blz. 128-140.

14. K. Binmore (red.), *The economics of bargaining*, Oxford, 1987 en M.J. Osborne en A. Rubinstein, *Bargaining and markets*, New York, 1990.

15. A.A. Cournot, *Recherches sur les principes mathématiques de la théorie des richesses*, Parijs, 1838, blz. 88-100 en A.F. Daughety (red.), *Cournot oligopoly*, Cambridge, 1988.



John Nash

In drie artikelen in het tijdschrift *Management Science* liet John Harsanyi zien hoe spelen met onvolledige informatie omgezet kunnen worden in spelen met volledige informatie, en hoe deze geanalyseerd kunnen worden¹⁶. Daarvoor werden deze spelen als onoplosbaar beschouwd omdat ze aanleiding geven tot 'infinite regress' van reciproke verwachtingen. Beschouw als simpel voorbeeld de onderhandelingen tussen een koper en verkoper van een huis. De verkoper is onzeker over de prijs die de koper bereid is te betalen, de koper is onzeker over de prijs die de verkoper

wil hebben. Deze onzekerheid kan de eerste-orde verwachting genoemd worden. De koper is echter ook onzeker over de onzekerheid van de verkoper, en omgekeerd heeft ook de verkoper tweede-orde onzekerheid. Zo is er derde-orde onzekerheid, enz. Harsanyi hakt deze gordiaanse knoop door door een fictieve loterij bij het begin van het spel in te voeren die iedere speler zijn informatie geeft. Ter illustratie volgt hier het voorbeeld van Akerlof¹⁷.

Beschouw onderhandelingen over de verkoop van een gebruikte auto. De verkoper weet of deze auto nog in goede staat is of niet, de potentiële koper moet afgaan op allerlei gebrekkige signalen over de kwaliteit, zoals het motorgeluid, de kilometerstand en de staat van de carrosserie. Er is sprake van asymmetrische informatie: de verkoper weet meer dan de koper. Veronderstel, eenvoudigheidshalve, dat de auto ofwel het snel zal begeven, ofwel dat deze in perfecte staat is. In het eerste geval is de auto voor zowel de koper als verkoper niets waard. In het tweede geval is de auto bij voorbeeld f 6.000 waard voor de verkoper terwijl deze f 8.000 waard is voor de koper. De verkoper kent de waarde, de koper kent deze niet. Welke prijs moet de koper nu bieden? De belangrijkste observatie van Harsanyi is dat de koper zijn probleem alleen dan kan oplossen als hij in staat is aan te geven met welke kans de auto van goede, dan wel van slechte kwaliteit is. Omgekeerd geldt dat zodra deze kans bekend is, het probleem eenvoudig is. Als we de kans dat de auto goed is met p aangeven dan is de verwachte waarde van de auto $8.000p$. De koper moet zeker niet meer dan de verwachte waarde bieden. Anderzijds weet de koper dat als hij minder dan f 6.000 biedt, de verkoper van de auto met goede kwaliteit altijd zal weigeren te verkopen. Om te voorkomen dat hij een kat in de zak koopt, moet de koper dus minstens f 6.000 bieden. De conclusie is dat een (risico-neutrale)¹⁸ koper f 6.000 moet bieden als $8.000p \geq 6000$ (dus $p \geq 0,75$) en dat de koper geen bod moet uitbrengen als hij de kans dat de wagen slecht is op minstens 25% inschat.

Harsanyi betoogt in dit geval dat het probleem onvolledig gespecificeerd is als de kansinschatting van de koper ontbreekt. Hij betoogt meer in het algemeen dat rationele (Bayesiaanse) spelers altijd in staat zullen zijn zulke kansinschattingen te maken, en dat ver-

schillende rationele spelers tot dezelfde kansinschatting zullen komen. Het spel waarin deze kansinschattingen volledig gespecificeerd zijn, is met de gebruikelijke technieken in de vorm van Nash-evenwichten op te lossen en dus is het volgens Harsanyi geen enkel probleem om situaties met onvolledige informatie te modelleren en te analyseren. Merk overigens op dat er een belangrijk verschil is tussen situaties met volledige en onvolledige informatie. Indien informatie volledig is, is er geen enkele reden om aan te nemen dat onderhandelingen niet tot een efficiënte uitkomst leiden. Dit is ook de inhoud van het zogenaamde Coase-theorema, een van de bijdragen waarvoor Ronald Coase in 1991 de Nobelprijs kreeg¹⁹. Zodra informatie onvolledig is, kunnen we geen efficiëntie meer verwachten: als $p < 0,75$ dan zal een verkoper van een auto van goede kwaliteit de koper er niet van kunnen overtuigen dat de auto inderdaad goed is (een verkoper van een 'lemon' zal immers even overtuigende argumenten brengen) en bijgevolg zal een transactie niet tot stand komen. Informatieproblemen zijn dus een bron van transactiekosten en met behulp van de speltheorie is de onderzoeker in staat deze transactiekosten te kwantificeren, dat wil zeggen er kan berekend worden hoeveel procent efficiëntieverlies veroorzaakt wordt door asymmetrische informatie.

Informatieproblemen staan centraal in een groot deel van de moderne economische literatuur. Hoewel de eerste artikelen op dit gebied van Akerlof, Hayek, Rothschild en Stiglitz en Spence geen gebruik maakten van het speltheoretisch instrumentarium – en klaarblijkelijk Harsanyi's bijdrage dus niet onmisbaar was – kan toch gesteld worden dat Harsanyi's bijdrage in belangrijke mate aan het momentum heeft bijgedragen. Harsanyi's algemene formulering heeft economen in staat gesteld te zien hoe breed problemen van adverse selectie (verborgen informatie) en moreel risico (verborgen acties) zijn, en welke drastische consequenties deze kunnen hebben. Een belangrijk toepassingsgebied zijn veiling-situaties gebleken. Bij een veiling is de verkoper onvolledig geïnformeerd over hoeveel een koper bereid is te betalen, terwijl iedere koper onvolledig geïnformeerd is over hoeveel elk van zijn concurrenten bereid is te betalen. Het probleem van een koper (hoeveel te bieden?) alsmede het probleem van de verkoper (welke veilingmethode levert de hoogste prijs op) kan met de technieken van Harsanyi worden gemodelleerd en opgelost. Een zeer recente toepassing is de veiling van etherfrequenties in de VS waarbij zowel de regering (in concreto, de Federal

16. J. Harsanyi, Games with incomplete information played by Bayesian players, *Management Science*, jg. 14, 1968, blz. 159-182, 320-332 en 468-502. Harsanyi bedankt Selten voor zijn essentiële bijdragen. Zie ook zijn boek, *Rational behavior and bargaining equilibrium in games and social situations*, Cambridge, 1977.

17. G. Akerlof, The market for lemons, *Quarterly Journal of Economics*, jg. 84, 1970, blz. 488-500. 18. Hoe meer risico-avers de koper is, hoe lager de kans dat de transactie tot stand komt.

19. R.H. Coase, *The firm, the market and the law*, Chicago, 1988.

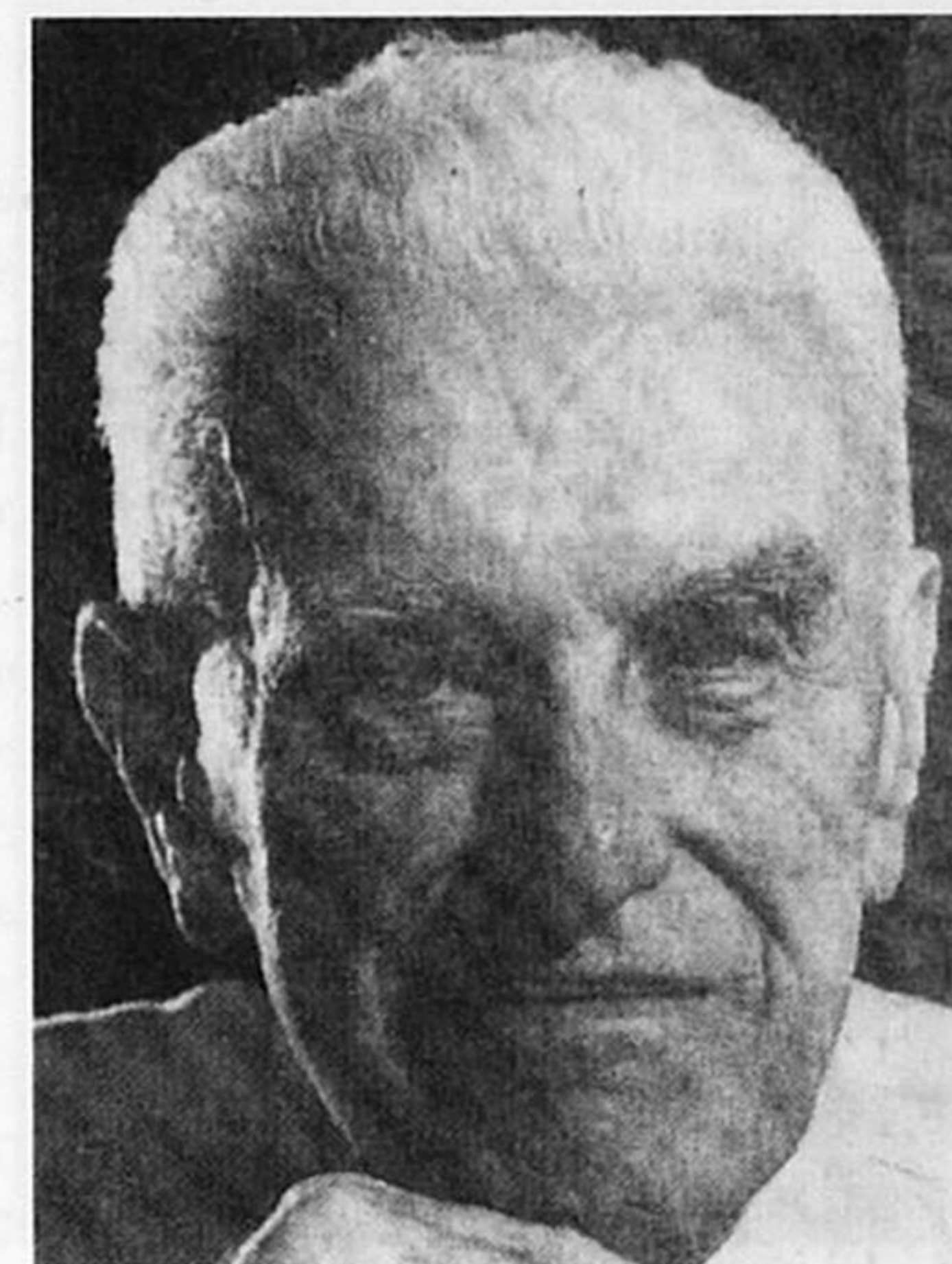
Communications, FCC) als de zenders zich uitgebreid door teams van toonaangevende speltheoretici lieten adviseren, dit om te voorkomen wat in Nieuw-Zeeland gebeurde, waar een frequentie werd toegewezen voor \$6 terwijl \$60.000 geboden was. Zoals *The Economist* hierover opmerkte: "As game theorists will tell you, the more complex the problem, the higher the costs of using a simple approach"²⁰.

Dynamische spelen

Als we Harsanyi's bijdrage karakteriseren als 'het uitbreiden van het Nash-evenwichtsconcept tot spelen met onvolledige informatie' dan kunnen we die van Selten samenvatten als 'het uitbreiden van het Nash-evenwicht tot dynamische spelen', dat wil zeggen tot spelen waarin de spelers meerdere zetten doen. Nash had aan deze uitbreiding geen aandacht gegeven, vermoedelijk omdat hij uitging van de geldigheid van het normalisatie-principe van Von Neumann en Morgenstern, een principe dat zegt dat bij elk dynamisch spel een 'equivalent' statisch spel geconstrueerd kan worden. Selten liet echter zien dat dit principe problematisch is. Hoewel de Nash-evenwichten van een dynamisch spel overeenstemmen met de Nash-evenwichten van het bijbehorende genormaliseerde (statische) spel, zijn niet alle statische evenwichten 'redelijk' in het dynamische spel. Sommige evenwichten verkrijgen hun stabiliteit namelijk slechts doordat ze op ongelooftwaardige dreigingen berusten. Selten is erin geslaagd een nauwkeurige formele karakterisering te geven van welke dreigingen ongelooftwaardig zijn en welke evenwichten bijgevolg onredelijk zijn. In 1965 introduceerde hij het begrip 'deelspel perfecte evenwichten', dat hij in 1976 nog verder verfijnde tot perfecte evenwichten²¹. Hoewel later onderzoek heeft laten zien dat deze evenwichten toch niet zo perfect zijn als de naam suggereert, en sindsdien nog andere evenwichtsbegrippen zijn ingevoerd, kan toch gesteld worden dat Selten's oorspronkelijke concept een doorbraak betekende. Het is dan ook dit concept dat in de micro-economie en in de theorie van de industriële organisatie de meeste toepassingen heeft gevonden. Een eenvoudig voorbeeld volstaat om de essentiële ideeën te illustreren.

Veronderstel dat twee vliegtuigbouwers (noem ze F en D) overwegen een vliegtuig voor de middellange afstand te ontwikkelen. F kan zijn ontwerp baseren op een bestaand model, met als gevolg dat de ontwikkelingskosten relatief laag zijn en dat het nieuwe model binnen 3 jaar op de markt kan zijn. D moet van de grond af beginnen en kan zijn vliegtuig pas op z'n vroegst over 5 jaar in de lucht hebben. De ontwikkelingskosten voor D zijn bovendien hoger. D heeft echter het voordeel dat deze ontwikkelingskosten intern gefinancierd kunnen worden. F heeft liquiditeitsproblemen en moet een bank, B, benaderen om de ontwikkelingskosten te financieren. De markt-opinie is dat beide vliegtuigen even goed zullen zijn en dat het marktsegment een natuurlijk monopolie is, met andere woorden als slechts één producent op de markt actief is dan maakt deze winst; als beide producenten actief zijn, zijn beide projecten verliesgevend. Op het moment dat F de bank B benadert, dreigt D,

onafhankelijk van wat F zal doen, een concurrerend toestel op de markt te brengen. In vriendelijke beoordelingen maakt D duidelijk dat B het project van F maar beter niet kan financieren omdat dit project toch verliesgevend zal zijn. Wat moet B doen? Als de dreiging inderdaad uitgevoerd zal worden is het beter geen geld te investeren, maar als D niet op de markt komt, is het project van F winstgevend. Is de dreiging van D geloofwaardig? Het antwoord is nee. Als B financiert zal F als eerste op de markt zijn. D wordt dan geconfronteerd met een fait accompli en heeft de keuze tussen niet op de markt komen (geen winst, maar ook geen verlies) of ook tot de markt toetreden. Omdat het laatste verliesgevend is zal D eieren voor zijn geld kiezen en niet toetreden. De dreiging is niet geloofwaardig; als B rationeel is negeert hij deze, hij kan met een gerust hart investeren. Het enige deelspel perfecte evenwicht is 'B financiert, alleen F is op de markt actief'. Deze situatie is ook een Nash-evenwicht. Echter de situatie 'B financiert niet en alleen D treedt toe' is ook een evenwicht. Het evenwichtsconcept van Nash is nu onbevredigend omdat het geen onderscheid maakt tussen geloofwaardige en ongelooftwaardige dreigingen. Seltens perfectheidsbegrip elimineert het evenwicht waarin D toetreedt, het adviseert B de dreiging van D niet serieus te nemen²².



John Harsanyi

Selectie van evenwichten

De meeste non-coöperatieve spelen hebben meer dan één Nash-evenwicht. Er zijn derhalve voor de spelers verscheidene rationale acties. Het doen van een keuze uit deze verzameling is een hachelijke zaak. Het probleem illustreren we weer met een voorbeeld.

Beschouw Crusoë die net Vrijdag op zijn eiland ontdekt heeft. Stel dat Crusoë een uitstekend jager is en Vrijdag een prima visser. Omgekeerd geldt dat visser Crusoë slecht afgaat en dat Vrijdag geen geweer, noch pijl en boog kan hanteren. Als Crusoë (Vrijdag)

20. Revenge of the nerves, *The Economist*, 23 juli 1994.

21. R. Selten, Spieltheoretische Behandlung eines Oligopolmodells mit Nachfrageträgheit, *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, jg. 121, 1965, blz. 301-324, 667-689; idem, Reexamination of the perfectness concept for equilibrium points in extensive games, *International Journal of Game Theory*, jg. 4, blz. 25-55.

22. Selten heeft een goede toelichting op zijn werk gegeven in R. Selten, In search of a better understanding of economic behaviour, in A. Heertje (red.), *The makers of modern economics*, New York, 1993, blz. 115-139. Over verfijningen van het Nash-evenwicht ook E. van Damme, Stability and perfection of Nash equilibria, tweede druk, Berlijn, 1991 en E. Kohlberg, Refinement of Nash equilibrium: the main ideas, in T. Ichiishi, A. Neyman en Y. Tauman (red.), *Game theory and applications*, New York, 1990, blz. 3-45.

23. Dit volgt uit Cobb-Douglas preferenties, die hier worden aangenomen.

zich specialiseert vangt hij 6 dieren (vissen), als hij zijn tijd verdeelt, vangt hij 2 van elk²³. Crusoë en Vrijdag moeten besluiten of ze zich zullen specialiseren en dan via handel in hun behoeften zullen voldoen, of dat ze 'self-supporting' zullen blijven. Er zijn twee evenwichten: ze kiezen elk zich te specialiseren, of ze kiezen elk ervoor om dat niet te doen. Als Crusoë zich specialiseert, zal Crusoë willen handelen en is het optimaal voor Vrijdag omdat ook te doen: als Vrijdag zich ook specialiseert zal hij 3 vissen en 3 dieren kunnen consumeren in plaats van 2. Als Crusoë zich echter niet specialiseert dan heeft Crusoë geen interesse in meer vissen, hij zal niet willen handelen en bijgevolg is het voor Vrijdag optimaal om ook self-supporting te zijn. Het is duidelijk dat het specialisatie-evenwicht het autarkie-evenwicht Pareto domineert.

	S	N
S	3,3	0,2
N	2,0	2,2

Echter specialisatie is riskant; het nut van individu i is gelijk aan nul als uitsluitend i zich specialiseert. Dit wordt ook weergegeven in de nevenstaande spelmatrix. De rijen zijn de acties van Crusoë (specialisatie, of niet), de kolommen die van Vrijdag. De getallen in de matrix geven eerst het nut van Crusoë, dan dat van Vrijdag.

In de terminologie van Harsanyi/Selten is het autarkie-evenwicht (N,N) risico-dominant. Er is in dit spel dus sprake van een conflict tussen selectie op basis van risico-dominantie en selectie op basis van Pareto-dominantie. In hun boek over evenwichtsselectie geven Harsanyi en Selten een algemene definitie van het begrip risico-dominantie²⁴. De definitie is gebaseerd op de zogenaamde 'tracing procedure', een wiskundig model voor een gedachtenproces waarmee de spelers een initiële situatie die niet noodzakelijk een evenwicht is transformeren in een evenwichtssituatie. In essentie bestaat de selectietheorie van Harsanyi en Selten uit twee delen: (i) een theorie over hoe de spelers hun initiële verwachtingen vormen (de kern van deze theorie is een versie van het 'principle of insufficient reason' dat op Laplace teruggaat) en (ii) de 'tracing procedure' die deze à priori verdeling omvormt tot een evenwicht. De theorie beschrijft dan hoe met behulp van risico- en Pareto-dominantie een uniek evenwicht, de oplossing van het spel, bepaald kan worden. Een belangrijke eigenschap van de theorie is dat voor simpele onderhandelingsproblemen de oplossing overeenstemt met de oplossing zoals deze reeds door Nash voor deze klasse van spelen bepaald was. Ook op dit punt geldt dus weer dat de theorie van Harsanyi en Selten een uitbreiding van die van Nash is.

Het is interessant op te merken dat in het conflict tussen risico-dominantie en Pareto-dominantie, Harsanyi en Selten dit laatste criterium een hogere prioriteit toekennen. In zekere zin is deze keuze ad hoc, en eigenlijk had Selten een voorkeur voor een theorie die uitsluitend op risico-dominantie gebaseerd is. Omdat Harsanyi niet wilde toegeven en omdat het toch al 20 jaar geduurd had voordat het boek uitkwam, heeft Selten uiteindelijk toegegeven. Echter in de appendix van het boek geven de auteurs reeds aan dat hun theorie niet de enige mogelijke theorie van rationeel gedrag is. Het boek bewijst dat het mogelijk is perfect rationeel gedrag op consistente wijze

te definiëren, het begrip is dus niet inhoudsloos. Het kan echter op alternatieve manieren worden ingevuld, en op het Nobel-symposium van juni vorig jaar hebben Harsanyi en Selten elk een alternatieve theorie voorgesteld. Deze theorieën worden binnenkort in het tijdschrift *Games and Economic Behavior* gepubliceerd²⁵.

Quo vadis?

Het begrip 'perfecte rationaliteit' is intern consistent, maar wat is de relevantie van dit begrip voor de praktijk van alledag? Wat is de relevantie van de speltheorie – die immers op dit begrip is gebaseerd – voor deze praktijk? De veronderstelling van perfecte rationaliteit zal in sommige gevallen een betere benadering van de werkelijkheid zijn dan in andere, en bijgevolg zullen voorspellingen of aanbevelingen die op deze veronderstelling zijn gebaseerd in sommige gevallen beter zijn dan in andere.

Het is niet moeilijk voorbeelden te verzinnen waarin deze veronderstelling tot onzinnige uitkomsten leidt. De Nobelprijswinnaars zelf hebben vermoedelijk de beste voorbeelden gegeven. In een van zijn artikelen behandelt Selten bij voorbeeld de zogenaamde 'paradox van de winkelketen'²⁶. De paradox kan duidelijk maken dat er geen enkele speltheoreticus te vinden is die zonder meer in de voorspellingen van de speltheorie gelooft. Bij het spel zijn drie spelers betrokken. Een speltheoreticus (S), een speler (O) die in de oneven ronden aan de beurt is, en een speler (E) die in de even ronden aan zet is. Het spel duurt maximaal 25 ronden. In de eerste ronde zet S f 1,- in en heeft O de mogelijkheid het spel al dan niet te beëindigen. Als O het spel stopt krijgt hij $3/5$ van de pot (nu f 1,-) en E krijgt de rest (S verliest dus f 1,-). Als het spel in de tweede ronde komt, verdubbelt S de pot. Nu heeft E de keuze tussen het spel te stoppen (hij krijgt dan $3/4$ van f 2) of door te gaan. Als hij het laatste kiest, verdubbelt S de pot weer en is O weer aan de beurt. Zo gaat het spel door tot een van de spelers stopt, of tot 25 rondes gespeeld zijn. Als in deze laatste ronde O het spel stopt krijgt hij $3/4 \times 2^{25} = f$ 25 miljoen, terwijl E dan f 8,3 miljoen krijgt. Als O het spel dan nog niet stopt, krijgen beide spelers niets. De rationale oplossing van dit spel is eenvoudig te bepalen. In de vijfentwintigste ronde zal O het spel zeker stoppen. Als de vierentwintigste ronde bereikt wordt, heeft E de keuze tussen stoppen, dat levert hem $3/4 \times 2^{24}$ op, doorgaan levert $1/4 \times 2^{25}$ op. Het eerste is meer, bijgevolg zal E het spel stoppen als de 24e ronde bereikt wordt. Maar dan zal O het spel reeds in de 23e ronde stoppen; en door deze redenering voort te zetten zien we dat O het spel meteen in de eerste ronde zal stop-

24. J. Harsanyi en R. Selten, *A general theory of equilibrium selection in games*, Cambridge, 1988.

25. J. Harsanyi, A new theory of equilibrium selection for games with complete information en R. Selten, An axiomatic theory of a risk dominance measure for bipolar games with linear incentives.

26. R. Selten, The chain store paradox, *Theory and Decision*, jg. 9, 1978, blz. 127-159.

pen. Als E en O rationeel zijn (liever gezegd als ze 'rational fools' zijn) dan kan de speltheoreticus dus nooit meer dan f 1,- kwijt zijn. Als de speltheoreticus rationeel is en de keuze heeft tussen (a) f 100 krijgen en gedwongen zijn als geldschietter S te fungeren in het bovenstaande spel en (b) niets te krijgen, maar ook geen verplichtingen aan te gaan, dan zou hij dus (a) moeten kiezen. We moeten de eerste speltheoreticus nog zien die deze keuzes maakt.

Het voorbeeld maakt duidelijk dat we niet op de rationaliteit van individuen kunnen vertrouwen en dat het soms verstandig kan zijn om (te pretenderen) niet rationeel te zijn²⁷. Maar in welke situatie is de veronderstelling van rationaliteit dan wel toepasbaar, en wat moeten we doen in situaties waarin deze niet toepasbaar is? Harsanyi en Selten verschillen over het antwoord op deze vragen van mening. Selten heeft duidelijk minder vertrouwen in de theorie dan Harsanyi. Terwijl Harsanyi de theorie van perfect rationaal gedrag verder verfijnde, probeerde Selten een theorie van begrensde rationaliteit te ontwikkelen.

Volgens Seltens theorie kan een beslissing op drie niveaus tot stand komen: door routine, verbeelding of analyse. Hogere niveaus vereisen meer inspanning en leiden bovendien niet altijd tot betere resultaten omdat denkprocessen niet onfeilbaar zijn. Bijgevolg kan het rationeel zijn hogere beslissingsniveaus niet te activeren, en zelfs als ze geactiveerd zijn, kan het optimaal zijn een beslissing die gesuggereerd wordt door een lager niveau te implementeren. Toen Selten zijn 'chain store paper' aan een leidinggevend tijdschrift aanbod, vroeg de referee het tweede gedeelte van het artikel te elimineren omdat hij het als irrelevant beschouwde. Selten weigerde omdat hij juist dit gedeelte belangrijk vond. Hierdoor verscheen het artikel pas veel later in een minder prestigieus tijdschrift. Opnieuw een voorbeeld van 'how the mighty have fallen'²⁸. Zelfs nu is het nog zo dat praktisch alle verwijzingen naar Seltens artikel uitsluitend op de eerste helft betrekking hebben.

Een klassiek economisch argument ter rechtvaardiging van de veronderstelling van rationaliteit is gebaseerd op natuurlijke selectie: rationele individuen zullen succesvoller zijn dan individuen die niet perfect rationeel zijn en bijgevolg zal de eerste groep de laatste verdringen. Het bovenstaande voorbeeld heeft laten zien dat dit in een speltheoretische context niet juist hoeft te zijn. Onderzoek naar de vraag in welke situatie het argument dan wel geldt heeft aan het licht gebracht dat speltheoretische technieken en concepten ook op het gebied van de biologie goed toepasbaar zijn. Het door de bioloog voorgestelde begrip van 'evolutionair stabiele strategieën' blijkt niets anders te zijn dan een Nash-evenwicht met een bepaalde extra stabiliteitseigenschap²⁹. In een biologische context heeft men echter het voordeel dat men de beschikking heeft over een expliciet dynamisch proces – natuurlijke selectie – waarmee het evenwicht (eventueel) bereikt wordt. Momenteel wordt onderzocht of deze processen ook in de economie toepasbaar zijn. Reinhard Selten is de drijvende kracht achter deze onderzoeklijn. Het ligt in de lijn der verwachting dat dit onderzoek tot een verdere stimulans van de evolutionaire economie zal leiden.

Een tweede rechtvaardiging is dat, als individuen voldoende ervaring met een bepaalde situatie kunnen opbouwen, zij op den duur zullen leren hoe perfect rationeel te handelen. Dit argument is ook reeds in het (ongepubliceerde) proefschrift van Nash terug te vinden. Nash geeft twee rechtvaardigingen voor zijn evenwichtsbegrip. De eerste is dat alleen een theorie die een Nash-evenwicht voorschrijft niet zelfvernietigend is. In de tweede interpretatie is het volgens Nash onnodig om aan te nemen dat spelers volledig geïnformeerd zijn of de mogelijkheid of neiging hebben om complexe redeneringen te volgen. Als de participanten empirische informatie kunnen opbouwen over de relatieve aantrekkelijkheid van de acties die zij ter beschikking hebben, dan moet, als het proces een stabiele toestand bereikt, de eindtoestand een Nash-evenwicht zijn. Omdat in het gepubliceerde werk van Nash deze tweede rechtvaardiging niet genoemd werd, heeft deze tot voor kort weinig aandacht gekregen. In de laatste paar jaar echter staat juist deze tweede manier van aanpak centraal. Het actiefste onderzoeksgebied binnen de speltheorie concentreert zich op de vragen: welke leerprocessen leiden tot stabiele uitkomsten, en: welke Nash-evenwichten zijn stabiele uitkomsten van leerprocessen?



Reinhard Selten

Slot

Uit de moderne economie is de speltheorie niet meer weg te denken³⁰. Voortreffelijke leerboeken zagen reeds het licht³¹. Al deze werken weerspiegelen de enorme invloed die van de Nobelprijswinnaars is uitgegaan. Het overheersende beeld is dat de voorlopige antwoorden op oude vragen, tal van nieuwe vragen oproepen, speciaal over de rationaliteit van ons handelen. Blijkens een telefoongesprek met een van ons (AH) vertrouwt Selten daarbij niet langer alleen op de speltheorie, maar zoekt hij alweer naar nieuwe wegen. Voor ons allen een lichtend voorbeeld.

Eric van Damme en Arnold Heertje

27. A. Sen, Rational fools: a critique of the behavioral assumption of economic theory, *Philosophy and Public Affairs*, jg. 6, 1977 en R.J. Aumann, Irrationality in game theory, in *Economic analysis of markets and games*, 1993.

28. J. Gans en G. Shephard, How are the mighty fallen: rejected articles by leading economists, *Journal of Economic Perspectives*, jg. 8, 1994, blz. 165-179.

29. J.M. Smith, *Evolution and the theory of games*, Cambridge, 1982.

30. Een aardig voorbeeld is W. Kanning, *Economische macht*, Amsterdam, 1991, waarin economische macht speltheoretisch wordt geanalyseerd.

31. J.W. Friedman, *Game theory with applications to economics*, Oxford, 1989; R.B. Myerson, *Game theory*, Cambridge, Mass., 1991; D. Fudenberg en J. Tirole, *Game theory*, Cambridge, 1991; K. Binmore, *Fun and games*, Lexington, Mass., 1992; M.J. Osborne en A. Rubinstein, *A course in game theory*, Cambridge, Mass., 1994; E. Rasmusen, *Games and information*, tweede druk, Oxford, 1994.