

Nobelprijzen voor de speltheorie

Eric van Damme

Speltheorie is een methode voor het modelleren van strategische interacties (situaties waarin de deelnemers zich bewust zijn van het feit dat zij elkaars handelen wederzijds beïnvloeden) en het voorspellen van uitkomsten daarvan. Sinds 1994 is de Nobelprijs voor de economie vier keer toegekend voor werk binnen dit gebied, waarbij in totaal 9 economen geëerd werden: John Nash, John Harsanyi, Reinhard Selten, Robert Aumann, Thomas Schelling, Eric Maskin, Roger Myerson, Lloyd Shapley en Alvin Roth. Daarnaast werd de prijs diverse malen toegekend aan onderzoekers op nauw verwante gebieden, of die hun inzichten verwierven met behulp van speltheoretische methoden, zoals William Vickrey en Jean Tirole. In dit artikel worden de fundamentele bijdragen van deze Nobelprijswinnaars besproken en in een breder kader geplaatst.

1 Inleiding

In 1988 publiceerde Ronald Coase *The Firm, the Market and the Law*, met als doel “to persuade my fellow economists to change the way they analyze a number of important questions in micro-economics” (Coase, 1988). De kern van het boekje wordt gevormd door eerder gepubliceerde papers, waaronder de twee waarvoor Coase in 1991 de Nobelprijs zou krijgen. Alleen het inleidende hoofdstuk is nieuw. Coase betoogt hierin dat zijn collega’s op het verkeerde pad zijn. In zijn visie zijn economen “preoccupied with the logic of choice”, zodat er weinig relatie bestaat tussen de theorie en het eigenlijke onderwerp van studie: “We have consumers without humanity, firms without organization, and even exchange without markets” (Coase, 1988, p. 3). Dertig jaar later is de situatie fundamenteel anders. Mijn stelling is dat de speltheorie, de theorie over rationeel gedrag in interactieve beslissingssituaties, in belangrijke mate heeft bijgedragen aan een heroriëntatie van de micro-economie in de destijds door Coase gewenste richting.

Toen Coase’s boekje verscheen was de speltheoretische revolutie in de economie al een tijdje onderweg. Jean Tirole’s *Theory of Industrial Organization* verscheen in hetzelfde jaar, net als *A General Theory of Equilibrium Selection in Games* van John Harsanyi en Reinhard Selten. Dat laatste boek kan gezien worden als de eclips, als (voorlopig?) eindstation, van de ontwikkeling van de rationele theorie. Het was toen duidelijk wat de beperkingen van een zuiver wiskundige aanpak waren, en dat het hoog tijd was om een meer descriptieve theorie te ontwikkelen, die kon verklaren wat in experimenten gebeurde. Het ultimatumspel was hierbij een katalysator (Gúth et. al., 1982; zie ook Van Damme et. al., 2014), samen met een aantal andere anomalieën (Thaler, 1994). In de micro-economische artikelen van nu hebben consumenten moraliteit en begrensde rationaliteit; de *homo economicus* is vrijwel dood en begraven. Bedrijven hebben een interne organisatie, waarin door middel

van contracten geprobeerd wordt de diverse principaal-agent relaties te beheersen. Markten hebben een institutionele structuur. Dit alles is ingebed in een systeem van normen en wetten; instituties zetten de *incentives* die tot goede uitkomsten moeten leiden. De analyse richt zich niet uitsluitend op het economisch domein, maar ook op het politieke en sociale, waarbij de wisselwerking tussen deze niet uit het oog verloren wordt. De moderne micro-economie is institutionele economie en gedragseconomie tegelijkertijd, mede door de flexibele modellering die de speltheorie mogelijk maakte.

In dit artikel beschrijf ik het werk van de Nobelprijswinnaars in de economie dat tot de Speltheorie gerekend kan worden. Een afbakening is niet altijd even eenvoudig te maken: Speltheorie is in eerste instantie een methode, maar de methode wordt toch vooral beoordeeld aan de hand van de inzichten die deze genereert (Aumann, 1985). De opzet is chronologisch. In paragraaf 2 bespreek ik het werk van John Nash, John Harsanyi en Reinhard Selten, Nobelprijswinnaars in 1994. Daarna komt het werk van Robert Aumann en Thomas Schelling, dat in 2005 geëerd werd, aan de orde. Paragraaf 4 gaat in op het werk van Eric Maskin en Roger Myerson, die de prijs in 2007 met Leo Hurwicz deelden. Het werk van Alvin Roth en Lloyd Shapley komt daarna aan bod. Paragraaf 6 bespreekt de raakvlakken met Nobelprijzen uit andere deelgebieden van de economie. Het artikel sluit af met een korte speculatie over een aantal fundamentele ideeën die mogelijk in de toekomst met een Nobelprijs beloond zullen worden.

2 John Harsanyi, John Nash en Reinhard Selten (1994)

Precies 50 jaar na het verschijnen van het baanbrekende Von Neumann en Morgenstern (1944) en 25 jaar nadat de eerste 'Prijs van de Zweedse Rijksbank voor Economische Wetenschappen ter nagedachtenis aan Alfred Nobel' werd uitgereikt, werd deze 'Nobelprijs in de economie' voor het eerst aan de speltheorie toegekend. In zekere zin was de lange wachttijd terecht: een vakgebied moet zich eerst in de praktijk bewijzen (Lindbeck, 1985). Het gevolg van de late erkenning was wel dat de grondleggers van het vakgebied, John von Neumann en Oskar Morgenstern, niet met deze prijs geëerd konden worden. Von Neumann overleed al in 1957 en hoewel Morgenstern (overleden in 1977) nog kandidaat geweest kan zijn, kleefde aan hem vermoedelijk toch te veel het idee dat zijn grootste bijdrage aan de economie was dat hij Von Neumann hiervoor had weten te interesseren. Daarmee wordt Morgenstern, naar mijn mening, echter onrecht aangedaan. Hoewel hij niet in staat was om het basisidee van het niet-coöperatieve evenwicht wiskundig te formuleren, lijdt het geen twijfel dat hij het wel in zijn hoofd had (Van Damme, 2005).

De eerste Nobelprijs voor de speltheorie ging dus naar mensen uit de tweede generatie, voor werk gedaan tussen 1950 en 1970. Robert Aumann schrijft "*The 1950's were a period of excitement in game theory. The discipline had broken out of its cocoon, and was testing its wings. Giants walked the earth.*" (Aumann, 1987). De eerste "reus" die Aumann noemt is John Nash, en voor iedere ingewijde was in 1994 duidelijk dat hij de eerste in de rij was. Omdat Nash lang geestesziek was geweest (en dat destijds misschien zelfs nog wel was),

was het aan hem toekennen van de Nobelprijs echter niet zo eenvoudig, zelfs niet als die gedeeld werd. Ik verwijs naar Nasar (1998) en de film *A Beautiful Mind* voor de dramatische beschrijving. Uiteindelijk wist een aantal mensen de Zweedse Academie toch te overtuigen en kon aangekondigd worden dat de eerste prijs voor de speltheorie gedeeld werd door John Nash, John Harsanyi en Reinhard Selten.

Nash legde zijn fundamentele bijdragen in zijn proefschrift (Nash, 1950a), waarvan de wiskundige kern, maar niet de economische motivering, later gepubliceerd werd (Nash, 1951). Deze selectieve publicatie heeft tot misverstanden over zijn evenwichtsbegrip geleid, wat de ontwikkeling van het vakgebied vermoedelijk vertraagd heeft. Het Nobelprijscomit   roemt Nash allereerst voor het door hem geïntroduceerde onderscheid tussen coöperatieve en niet-coöperatieve speltheorie, wat voor een buitenstaander nog steeds veel verwarring oproept. In tegenstelling tot wat velen denken, zit het verschil niet in wat spelers willen, maar in wat ze kunnen. In een coöperatief spel is er een mechanisme dat spelers in staat stelt bindende afspraken te maken, in een niet-coöperatief spel is dat niet het geval. In de internationale arena is het lastig om bindende afspraken te maken, zodat, hoewel landen er alle belang bij hebben om samen te werken, *global warming* toch het beste als een niet-coöperatief spel gemodelleerd kan worden. Nash betoogde ook dat niet-coöperatieve spelen fundamenteeler zijn dan coöperatieve: het maken van afspraken kan gemodelleerd worden in plaats van worden aangenomen.

Een spel is de technische term voor een interactieve beslissingssituatie, dat wil zeggen een situatie met verschillende belanghebbenden, die er alle naar streven het beste voor zichzelf te realiseren. De speltheorie poogt te voorspellen wat in een dergelijke conflictsituatie de uitkomst zal zijn. Om voorspellingen te kunnen maken, zijn aannames nodig. In het meest eenvoudige model wordt verondersteld dat bekend is (i) wie de spelers zijn, (ii) wat elke speler kan doen, (iii) wat elke speler wil, (iv) dat elke speler slechts   n keuze hoeft te maken, en (v) dat deze keuzes gelijktijdig zijn. Dit wordt een spel in strategische vorm genoemd. De laatste twee aannames zijn niet essentieel: elk spel dat aan (i)-(iii) voldoet kan getransformeerd worden in een equivalent spel dat ook aan (iv) en (v) voldoet. Formeel is zo'n spel een drietal $G = [N, S_i, u_i]$, waarbij N de spelersverzameling is, S_i de verzameling van mogelijke keuzes (strategieën) van speler i en u_i diens nutsfunctie, waarbij $u_i(s)$ het nut is als de actiecombinatie $s = (s_1, \dots, s_n)$ gespeeld wordt. Elke speler wil zijn nut maximaliseren, maar ieder heeft het probleem dat het eigen nut ook afhangt van wat de andere spelers doen; er zijn wederzijdse externaliteiten.

In zo'n spel is een strategiecombinatie s^* een Nash-evenwicht als, voor elke speler i , s_i^* de best mogelijke keuze is, indien alle overige spelers overeenkomstig s^* spelen: $u_i(s^*) = \max_{s_i} u_i(s^* \setminus s_i)$. Een Nash-evenwicht is dus een zelfbindende overeenkomst: als alle anderen zich aan de afspraak houden, is het voor mij optimaal mij er ook aan te houden. Een normatieve theorie zal een Nash-evenwicht moeten voorschrijven, want anders is deze *self-defeating*. Nash (1950) laat zien dat dergelijke evenwichten altijd bestaan en dat bepaalde leerprocessen, als ze convergeren, zo'n evenwicht als limiet hebben. Het Nash-evenwicht is dus een generalisatie van het evenwichtsbegrip dat al in 1838 door Augustin

Cournot besproken werd. Dit concept is sindsdien het uitgangspunt geworden voor de analyse van non-coöperatieve conflictsituaties. Natuurlijk geldt “*garbage in, garbage out*”; in sommige gevallen is de voorspelling adequaat, terwijl in andere deze er hopeloos naast zit (Goeree en Holt, 2001).

Een duidelijke beperking van het bovengenoemde spel in strategische vorm is de veronderstelling van symmetrische (en volledige) informatie: iedereen weet wat iedereen wil en kan. In de praktijk is vaak sprake van asymmetrische informatie: ik ben bijvoorbeeld beter over mijzelf geïnformeerd dan mijn tegenstander is. John Harsanyi liet zien dat dergelijke situaties toch als spel gemodelleerd kunnen worden, mits men de aanname maakt dat spelers Bayesiaans zijn. Dergelijke spelers gaan dan uit van een groot “*Game of Life*” waarin de informatie bij het begin van het spel ‘verdeeld’ wordt. Men weet dan weliswaar niet precies welke ‘kaarten’ een andere speler heeft, maar wel wat de mogelijkheden zijn. Harsanyi liet zien dat het idee van een Nash-evenwicht eenvoudig op zo’n Bayesiaans spel toegepast kan worden. In een Bayesiaans Nash-evenwicht speelt elke type speler optimaal gegeven de strategieën van alle andere spelers.

Reinhard Selten richtte zich op spelen met een dynamische structuur, waarin niet aan de aannames (iv) en (v) voldaan is. Hij liet zien dat in een dergelijke situatie niet alle Nash-evenwichten als zijnde zelfbindend beschouwd kunnen worden. Een Nash-evenwicht kan berusten op een dreiging die ongeloofwaardig is. Als ik met u onderhandel over de prijs van een huis en ik weet dat u geen alternatieven heeft en onder tijdsdruk zit, dan is uw dreiging om mijn aanbod niet te aanvaarden niet geloofwaardig. Sommige Nash-evenwichten berusten op ongeloofwaardige dreigingen. Selten heeft een manier voorgesteld om dergelijke dreigingen te elimineren. De overblijvende Nash-evenwichten worden perfecte Nash-evenwichten genoemd. Er zijn ook verdergaande verfijningen, zoals stabiele Nash-evenwichten; zie Van Damme (1987).

Samengevat kan dus gesteld worden dat de eerste Nobelprijs voor de speltheorie werd toegekend aan die onderzoekers die de basisconcepten voor het oplossen van spelen hadden voorgesteld.

3 Robert Aumann en Thomas Schelling (2005)

Het duurde 10 jaar voordat er weer een Nobelprijs werd toegekend aan de speltheorie in enge betekenis, dat wil zeggen voor het ontwikkelen van nieuwe methoden en het toepassen daarvan. In de tussentijd werden wel prijzen toegekend voor gebieden die direct aan de speltheorie raken, en die met speltheoretische methoden verder ontwikkeld kunnen worden; zie paragraaf 6.

In 2005 waren Robert Aumann en Thomas Schelling aan de beurt. Een groter contrast is nauwelijks denkbaar. Aumann is een wiskundige, die op verschillende deelgebieden vooral diepe, conceptuele bijdragen heeft geleverd. Schelling is meer de brede econoom van de

toepassingen. Waar Aumann boegbeeld en advocaat van de traditionele speltheorie was, was Schelling toch vooral een kritisch denker, die betoogde dat de speltheorie vooral de empirische kant moest ontwikkelen. Het Nobelprijzcomité verbond deze polen door te stellen dat beiden ons begrip over conflict en coöperatie hadden verdiept door de speltheorie uit te breiden en toe te passen. Algemeener kun je het eigenlijk niet hebben.

Het comité plaatst de bijdragen van Aumann en Schelling in de context van de Koude Oorlog. Er waren zeker relaties, maar hoe groot de bijdrage van de theorie was, is onduidelijk. Schelling heeft gesteld dat zijn grootste bijdrage het opstellen van de spelmatrix was. De matrix vatte de kern van het conflict samen en maakte duidelijk dat er meerdere partijen waren en ook gedeelde belangen. Het dwong de ene speler zich te verplaatsen in de schoenen van de ander. Het Pentagon subsidieerde ook grootschalig onderzoek naar spelen met onvolledige informatie waaraan veel speltheoretici bijdroegen (Aumann en Maschler, 1995), wat de theorie zeker vooruitgebracht heeft; Selten (1993) toont zich enigszins sceptisch of de generaals hier ook iets van opgestoken hebben.

In het eerste deel van zijn carrière focuste Schelling zich op onderhandelingen. Zijn *The Strategy of Conflict* uit 1960 is nog steeds een aanrader. (Schelling, 1960). Schelling laat o.a. zien dat iemands onderhandelingsmacht kan toenemen door opties te vernietigen. Dit is de *power of commitment*. Als je in een hoek staat, is de enige keuze die tussen vechten en overgeven. Als je sterker bent dan die ander, zal hij je dus in je hoek met rust laten. Schelling vroeg ook aandacht voor coördinatieproblemen en stelde dat, om succesvol te kunnen coördineren, het ontdekken van gedeelde *focal points* belangrijk kan zijn. Hij schreef in een tijd dat mobiele communicatie alleen mogelijk was met mensen in de directe omgeving, zodat een aantal van zijn voorbeelden aan kracht hebben ingeboet. Echter, de kernboodschap, het grote belang van (heldere) communicatie, staat nog steeds overeind. In zijn latere werk waardeerde Schelling uit over een groot aantal onderwerpen, variërend van piceconomie (het conflict in ons hoofd tussen de ik vandaag die het ene wil en de ik van morgen die iets anders wil) en het globale probleem van opwarming van de aarde. Aan de basis gaat het echter steeds over commitment en onderhandelingen. Schelling was ook invloedrijk op het gebied van de sociologie. Zijn titel *Micromotives and Macrobehavior* geeft kernachtig aan waar het in de economie over gaat (Schelling, 1978).

Robert Aumann was vermoedelijk, in de afgelopen halve eeuw, *het* boegbeeld van de speltheorie. Het comité roemt hem allereerst voor zijn bijdragen aan de theorie van de herhaalde spelen. Het belangrijkste inzicht hier is dat, als waarneembaar is wat spelers doen en spelers geduldig genoeg zijn, formele contracten niet nodig zijn om tot samenwerking te komen. Het verschil tussen de coöperatieve en de niet-coöperatieve context verdwijnt dan. Dit is het zogenaamde *Folk Theorem*, waarvan Aumann als eerste een variant bewezen heeft. De stelling laat zien dat, bij herhaalde interactie, stabiele coöperatie mogelijk is. Ik beduvel de ander niet, omdat dan de relatie verstoord wordt en ik mezelf daarmee schade toebreng. De stelling luidt echter niet dat efficiënte samenwerking ook *moet* ontstaan. Er zijn meerdere evenwichten, waaronder slechte. Ook inefficiënte normen kunnen

stabiel zijn. Er is nog geen goede theorie om te bepalen onder welke omstandigheden een goed dan wel slecht evenwicht zal ontstaan.

Een tweede belangrijke bijdrage van Aumann is zijn formalisering van de begrippen kennis en gezamenlijke kennis (*common knowledge*). In de speltheorie wordt vaak verondersteld dat iets (zoals de regels van het spel zelf) *common knowledge* is, maar dit lijkt een zeer sterke aanname. Mogelijk hebben rationele spelers geen probleem met uitdrukkingen van het type “ik weet dat hij weet dat zij weet dat ik weet dat ...”, maar mensen van vlees en bloed raken al snel het spoor bijster als zo’n uitdrukking te lang wordt. Aumann formaliseerde het begrip in kanstheoretische termen en stelde ons daarmee in staat om te zien hoe limiterend deze aanname kan zijn. Zie Rubinstein (1989) voor een expliciet voorbeeld.

Als derde bijdrage noem ik Aumann’s uitbreiding van Nash’s evenwichtsconcept. Nash veronderstelde impliciet dat spelers niet (buiten de regels van het spel om) kunnen communiceren. Aumann vroeg zich af welke uitkomsten stabiel zijn als dergelijk communicatie wel mogelijk is. Dit leidde tot het gecorrleerde evenwicht, wat het Nash-evenwicht generaliseert. Hoewel dit concept natuurlijk is, is het opvallend dat het nog steeds relatief weinig in toepassingen gebruikt wordt. Interessant is o.a. het resultaat dat in sommige gevallen beperkte communicatie tot betere uitkomsten leidt dan volledige en transparante informatie-uitwisseling. De achterliggende reden is dat naarmate een speler meer weet deze ook meer mogelijkheden kan zien om winstgevend van de afspraak af te wijken. Meer informatie kan de stabiliteit van de afspraak ondermijnen. Het kan dus in het belang van spelers zijn om niet te veel te weten. Perfecte transparantie is niet altijd goed.

4 Leonid Hurwicz, Eric Maskin en Roger Myerson (2007)

In economische analyse wordt de institutionele structuur van de economie vaak als gegeven beschouwd: bedrijven en markten worden verondersteld. Maar deze instituties zijn ontstaan en/of door mensen gecreëerd. Coase nodigde ons uit om te reflecteren op deze basale instituties: wat zijn bedrijven en wat bepaalt hun grenzen? Waarom zijn er markten en waarom nemen deze een bepaalde vorm aan? Het zijn deze vragen van *mechanism design*, die Leo Hurwicz al in de jaren 1950 formuleerde en die Eric Maskin en Roger Myerson zo’n 30 jaar later speltheoretisch formaliseerden, wat hen in staat stelde nieuwe inzichten te genereren.¹

In feite gaat de inspiratie terug op Friedrich Hayek, Nobelprijswinnaar in 1974. In *The Use of Knowledge in Society* betoogde Hayek dat een groot deel van de economische theorie irrelevant is, en het daarop gebaseerde beleid verkeerd, omdat de onderliggende aanname, van volledige en perfecte informatie, onjuist is. Hayek schreef:

¹ In zijn bijdrage aan dit nummer gaat Sander Onderstal uitgebreider in op de theorie van *mechanism design*.

“The economic problem of society is (...) how to secure the best use of resources known to any of the members of society, for ends whose relative importance only these individuals know.” (Hayek, 1945)

Hoe kan de samenleving profiteren van private informatie die alleen bij individuen beschikbaar is? Het antwoord is door die individuen te prikkelen die informatie te openbaren of deze dusdanig te gebruiken dat dit overeenkomstig de wensen van de gemeenschap is. Met behulp van de speltheorie kan deze vraag geformaliseerd worden en vervolgens geanalyseerd. Centraal hierbij staat het door Harsanyi geformuleerde Bayesiaanse spel. Normaal gesproken worden de regels van het spel als gegeven beschouwd en wordt geanalyseerd welke uitkomst zal ontstaan als de spelers rationeel zijn. In de theorie van *mechanism design* wordt de vraag omgedraaid: hoe moeten de regels van het spel gezet worden om, gegeven dat spelers rationeel zijn, in evenwicht de gewenste uitkomst te bereiken? De aanpak kan geïllustreerd worden aan de hand van de veilingtheorie.

In het dagelijks leven worden verschillende veilingtypen gebruikt. In de constructiesector zien we inschrijving, kunst wordt bij opbod geveild, maar bloemen en groente bij afslag. William Vickrey, Nobelprijswinnaar in 1996, liet al in 1961 zien hoe, onder de aanname van onafhankelijk verdeelde private waardes, deze veilingen speltheoretisch gemodelleerd kunnen worden en hoe een optimale biedstrategie bepaald kan worden (Vickrey, 1961). Vickrey kan dus als voorloper van Harsanyi gezien worden, maar Harsanyi's model laat ook gecorrigeerde waardes toe, zodat de *winner's curse* geanalyseerd kan worden. Vickrey liet ook op zien dat, onder zijn aanname, als bidders risiconeutraal zijn, alle standaardveilingen equivalent zijn. Een verandering in de regels van de veiling leidt tot een dusdanige verandering in de biedstrategie dat er geen effect op de uitkomst is.

Maar welk advies geven we dan aan een verkoper die zijn opbrengst wil maximaliseren? Moet deze verkoper eigenlijk wel een veiling gebruiken, of kan hij beter een andere verkoopmethode kiezen? Deze vragen werden opgelost in een fundamenteel artikel van Roger Myerson (Myerson, 1981). Myerson maakte daarbij gebruik van het zogenaamde *revelation principle*, een inzicht dat hij eerder had verworven en dat simultaan en onafhankelijk door Eric Maskin was gevonden. Dit inzicht impliceert dat bij de zoektocht naar het theoretisch beste mechanisme de aandacht beperkt kan blijven tot die mechanismen waarbij spelers verzocht worden alle relevante informatie te delen. Zolang de verkoper zich kan binden de informatie niet te gebruiken ten nadele van diegene die de informatie verschaft, zal iedereen inderdaad bereid zijn de informatie beschikbaar te stellen. Toepassing van dit principe laat zien dat, in de door Vickrey bestudeerde context, een gewone veiling inderdaad optimaal is, mits de reserveringsprijs geschikt gekozen wordt.

De theorie laat ook zien dat bepaalde dingen die we zouden willen niet mogelijk zijn: er zijn onmogelijkheidsstellingen, vergelijkbaar met die van Ken Arrow, Nobelprijswinnaar in 1972. Een eenvoudig voorbeeld is de situatie van bilaterale onderhandelingen, zoals bestudeerd in Myerson en Satterthwaite (1978). Veronderstel onderhandelingen tussen een koper en verkoper betreffende de overdracht van een ondeelbaar goed. De productiekos-

ten zijn c en de betalingsbereidheid is v . Het is wenselijk (efficiënt) dat de transactie plaatsvindt dan en slechts dan als $c < v$. Het probleem is echter dat in het algemeen c alleen bij de verkoper bekend is en v alleen bij de koper. Om een hogere prijs te bedingen, zal de verkoper geneigd zijn de kosten te overdrijven, terwijl, anderzijds, de koper zijn betalingsbereidheid juist zal bagatelliseren. Vanwege dergelijk strategisch gedrag is een volledig efficiënte uitkomst onmogelijk. Myerson en Satterthwaite laten zien dat de best mogelijke procedure, die waarbij de efficiëntieverliezen geminimaliseerd worden, een dubbelzijdige veiling is. Hierin kiezen, gelijktijdig, de verkoper een *ask* a en de koper een *bid* b , en een transactie vindt plaats voor het gemiddelde van deze twee, mits $b > a$.

Het bovenstaande laat zien dat bij asymmetrische informatie (een vorm van transactiekosten) het zogenaamde Coase Theorema niet opgaat. Dit theorema (waarvan de naam door George Stigler werd geïntroduceerd) stelt immers dat, bij afwezigheid van fricties, vrije onderhandelingen altijd tot een Pareto efficiënte uitkomst zullen leiden. Coase zelf hechtte echter weinig belang aan deze stelling; voor hem waren transactiekosten de regel en niet de uitzondering (Coase, 1988, 13-15). Met speltheorie kunnen dergelijke transactiekosten gemodelleerd worden en met technieken van *mechanism design* kan bepaald worden welk onderhandelingsmechanisme het beste is, gegeven deze transactiekosten. Met wat welwillendheid kan het *mechanism design* programma dus gezien worden als antwoord op Coase's uitnodiging om op zoek te gaan naar instituties die de transactiekosten minimaliseren.

5 Alvin Roth en Lloyd Shapley (2012)

"*Giants walked the earth*", schreef Aumann (1987). In die context noemt hij Lloyd Shapley direct na Nash. Shapley moest echter veel langer wachten tot hij de Nobelprijs kreeg. Hij had vermoedelijk de pech dat sinds de jaren 1970 de aandacht in de economie vooral naar de niet-coöperatieve speltheorie was uitgegaan, terwijl zijn belangrijkste bijdragen juist op het terrein van de coöperatieve theorie lagen. Waar in de niet-coöperatieve theorie individuen en instituties (de regels van het spel) centraal staan, is de coöperatieve theorie juist institutie-vrij. De kernvraag in die tak kan geformuleerd worden als: gegeven dat individuen vrij kunnen onderhandelen en aannemende dat alle overeenkomsten (en *commitments*) bindend gemaakt kunnen worden, welke coalities zullen gevormd worden en hoe zal binnen een coalitie het surplus (de winst) verdeeld worden? Er kan dus onderscheid gemaakt worden tussen de stabiliteitsvraag en de verdelingsvraag.

Al rond 1950 hadden zowel Nash als Shapley fundamentele bijdragen aan het verdelingsvraagstuk geleverd. Nash had zich gefocust op onderhandelingen tussen twee spelers. Volgens de conventionele economie was, in deze context, de verdelingsvraag niet te beantwoorden en was de uitkomst afhankelijk van de onderhandelingsmacht van de twee partijen, die empirisch bepaald moest worden. Het is karakteristiek voor Nash dat hij juist de diametraal tegenovergestelde aanname als uitgangspunt nam: elke onderhandelings-situatie heeft, als onderhandelaars rationeel zijn, een unieke uitkomst. In zijn coöperatieve aanpak (Nash, 1950b) formuleert Nash axioma's waar het onderhandelingsresultaat aan

moet voldoen. De meeste van deze aannames, zoals die van Pareto efficiëntie, zijn natuurlijk en onschuldig. Eén extra aanname, die van *Independence of Irrelevant Alternatives*, leidt tot een unieke uitkomst. Dit axioma stelt dat, als in aanwezigheid van alternatief A het onderhandelingsresultaat R is, en $R \neq A$, de onderhandelaars op hetzelfde resultaat R uit moeten komen in geval A niet beschikbaar is. Dit axioma is gerelateerd aan een vergelijkbaar axioma dat Ken Arrow, Nobelprijswinnaar in 1972, gebruikte om aan te tonen dat consistente sociale keuze niet mogelijk is. Naar mijn mening is dit resultaat van Nash het meest elegante uit de gehele speltheorie. Overigens liet Nash zien dat dezelfde oplossing ook via een niet-coöperatief onderhandelingsspel bereikt kon worden. Rubinstein (1982) liet zien dat het herhaald loven en bieden ook tot deze Nash-oplossing leidt, mits er kleine fricties zijn.

Shapley (1953) richt zich op situaties met meer dan twee spelers, maar neemt aan dat het efficiënt is als iedereen samenwerkt. Hij veronderstelt bovendien dat spelers zelfzuchtig, materialistisch en risico-neutraal zijn. Shapley's spelers zijn dus alleen geïnteresseerd in hoeveel geld zij uiteindelijk thuisbrengen, $u_i = m_i$, zodat nut interpersoneel vergelijkbaar is. Ook Shapley focust zich dus op het verdelingsvraagstuk, maar dan in de context van vergelijkbaar nut, waarbij in totaal het meeste geld verdiend wordt als iedereen samenwerkt. Ook Shapley formuleert natuurlijke axioma's waaraan een verdelingsregel zou moeten voldoen en laat zien dat er slechts één regel is die deze eigenschap bezit. De uitkomst van die regel wordt de Shapley-waarde genoemd. Deze waarde kan het best als een normatief concept gezien worden, als antwoord op de vraag: welke verdeling van het surplus is eerlijk, gegeven de opties die de spelers hebben. De waarde kan berekend worden door te veronderstellen dat de grote coalitie via een stochastisch groeiproces gevormd wordt en dat, als speler i toetreedt, deze de marginale waarde krijgt uitgekeerd die hij toevoegt aan het reeds gevormde deel.

Het stabiliteitsvraagstuk is veel lastiger op te lossen, ook omdat uitkomsten met sterke stabiliteit niet altijd bestaan. Stel er zijn drie spelers en dat het te verdelen surplus S_n is als n van hen samenwerken, met $S_1 = 0$, $S_2 = 8$ en $S_3 = 9$. Het is nog steeds efficiënt als iedereen samenwerkt, maar elke verdeling van 9 is instabiel, omdat er altijd twee spelers zijn die samen minder dan 8 krijgen en zich dus kunnen verbeteren door zich af te scheiden. In dit geval is de *Core* van het spel (een idee dat teruggaat op Edgeworth) leeg, en gaat ook het reeds genoemde Coase-Theorema niet op. De vraag is dus onder welke omstandigheden er een stabiele uitkomst bestaat; in technisch jargon: wanneer is *de Core* van het spel niet leeg? Intuïtief zal dit gelden als het surplus als iedereen samenwerkt groot genoeg is, of als er relatief weinig coalities gevormd kunnen worden. Shapley formaliseerde beide intuïties.

In werk samen met David Gale onderzocht Shapley het stabiliteitsvraagstuk voor het speciale geval waarin alleen coalities van twee personen gevormd kunnen worden. Een simpel voorbeeld is een samenleving van mannen en vrouwen zonder homoseksuelen. De vraag is dan of, als trouwen vrijwillig is, er een stabiele samenleving bestaat. Noem een stel huwelijken instabiel als er een Anne en een Bert bestaan die niet met elkaar getrouwd

zijn, maar die liever met elkaar in bed liggen dan met hun eigen partner. Bestaat er een stabiel stelsel van huwelijken? Gale en Shapley (1962) lieten zien dat het antwoord bevestigend is, en dat er meerdere stabiele *matchings* kunnen zijn. Opmerkelijk genoeg bevat de verzameling van stabiele *matchings* er een die voor *alle* vrouwen (respectievelijk mannen) het beste is; maar mannen en vrouwen prefereren niet noodzakelijkerwijs hetzelfde. Gale en Shapley specificerden een matching-algoritme waarmee deze stabiele *matchings* bepaald kunnen worden. Het algoritme is eenvoudig en leidt tot snelle convergentie.

Alvin Roth zag als eerste het empirisch belang van deze theorie in. In de economie komen matching-problemen, waarbij schaarse plaatsen, rechten, goederen of diensten moeten worden toegewezen, veelvuldig voor. Kopers zoeken huizen, werkgevers zoeken werknemers, scholieren moeten op scholen geplaatst worden, nierpatiënten zoeken donoren, etc. In veel gevallen worden dergelijke problemen decentraal opgelost door gebruikmaking van het prijsmechanisme. Maar geld is niet altijd acceptabel; donornieren of plaatsen op scholen worden in de meeste landen niet op de markt verhandeld. Bovendien zijn er externaliteiten, zodat centrale matching efficiënter kan zijn dan een decentraal mechanisme. Maar bij een centraal mechanisme is stabiliteit van de uitkomst uiterst belangrijk. Immers als de uitkomst niet stabiel is, zullen personen niet altijd bereid zijn om in de centrale matching te participeren, of zal een schaduwmarkt ontstaan. De vraag is dus aan welke voorwaarden een marktmechanisme moet voldoen om stabiele uitkomsten te genereren en in welke situaties marktmechanismen (met of zonder prijzen) bestaan die deze eigenschap hebben.

In een langjarig onderzoeksprogramma heeft Alvin Roth zich op deze vragen gericht, waarbij hij voor verschillende contexten mechanismen heeft ontworpen die de allocatie van schaarse middelen of rechten substantieel verbeteren. Roth (2015) maakt de inzichten toegankelijk voor een breder publiek. Ook in Nederland werden Roth's ideeën getoetst en toegepast; zie De Haan (2015). De wiskundige *Spielerei* van Gale en Shapley leidde aldus tot een belangrijke toegepaste literatuur over hoe markten in de praktijk ontworpen kunnen worden.

6 Relaties met andere gebieden en Nobelprijzen

In het bovenstaande heb ik me beperkt tot die Nobelprijzen waar het comité de speltheorie expliciet noemt in haar persbericht. Maar het is niet zo eenvoudig het gebied te begrenzen; de invloed van de speltheorie rijkt verder dan een oppervlakkige waarnemer wellicht denkt. Dat komt enerzijds omdat de speltheorie zeer flexibel is qua modellering: overal waar strategische interactie belangrijk is, kan de speltheorie worden ingezet en is *de facto* de speltheorie de enige theorie die door economen (en door onderzoekers uit andere sociale wetenschappen en gedragswetenschappen) wordt ingezet. Ten tweede heeft de sterke rationaliteitsaanname uit de speltheorie tot veel paradoxen en anomalieën geleid, die tot verder onderzoek geïnspireerd hebben. In deze paragraaf beschrijf ik een aantal dwarsverbanden met andere gebieden.

Ik denk dat, voor wat betreft de theoretische methoden, de micro-economie in vieren gedeeld kan worden: beslissingstheorie, prijstheorie, algemene evenwichtstheorie en speltheorie. Beslissingstheorie is keuzetheorie, het betreft de beslissingen van één persoon. Maar ook in dit geval komt de speltheorie al snel om de hoek kijken, bijvoorbeeld bij tijdsinconsistentie, of wanneer de beslissingen in een sociale context genomen worden. Personen geven om hun (sociale) reputatie, zodat beslissingen anders kunnen uitvallen als anderen ze kunnen waarnemen. Prijstheorie is de partiele evenwichtstheorie, zoals gepopulariseerd door de School van Chicago en uitgebreid toegepast in de praktijk. Er is geen strategische interactie: het model is dat van een onpersoonlijke economie, waarin iedereen direct op een abstracte markt handelt. Ook de algemene evenwichtstheorie is onpersoonlijk. Het enige verschil met de prijstheorie is dat hier spillover-effecten tussen markten geanalyseerd worden. Al het andere is speltheorie. Zodra van strategische interactie sprake is, in feite zodra van belangwekkende externaliteiten gesproken kan worden, is speltheoretische modellering vereist.

Speltheorie kan gezien worden als zuivere wiskunde. Speltheoretici analyseren modellen met rationale retoren. Deze spelers hebben consistente (Von Neumann-Morgenstern) preferenties en ze hebben onbeperkte cognitieve capaciteiten. Ze hebben echter geen emoties die hen in de weg kunnen zitten. De relevantie van een model waarvan de essentiële bouwsteen zo ver verwijderd is van de mens van vlees en bloed voor de praktijk van alledag is niet meteen duidelijk. Wel is er natuurlijk de gebruikelijke 'as if' verdediging. In sommige situaties (zoals die van competitieve markten) voorspellen de modellen best aardig. Minstens zo belangrijk is echter dat de voorspellingen in bepaalde situaties zo absurd zijn (of lijken) dat ze stimuleren tot experimenten (en, in vervolg daarop, nieuwe theorievorming) die ons begrip substantieel verhogen.

Ik denk dat gesteld kan worden dat de experimentele economie en de gedragseconomie zich zonder de speltheorie niet zo ver ontwikkeld zouden hebben als nu het geval is.² De speltheorie leverde, met haar paradoxen, de inspiratie voor veel experimenten. Maar de speltheorie levert ook de taal waarin de meeste van deze experimenten geschreven zijn. Als een experiment over interactie gaat, dan is het een speltheoretisch experiment. Tevens mag niet vergeten worden dat veel speltheoretici zelf ook experimenten gedaan hebben. Dat begon al met Nash, maar ook Selten en Schelling waren vurige pleitbezorgers van experimenten. Als gevolg hiervan is de interactie tussen theorie en experiment is op het terrein van de speltheorie zeer vruchtbaar gebleken.

Als belangrijke spin-off kan gewezen worden op het meer realistische mensbeeld dat we tegenwoordig in veel micro-economische artikelen vinden. Niet alleen zijn individuen vaak begrensd rationeel, ze zijn ook veel breder gemotiveerd. Het model van de *homo economicus*, standaard in de prijstheorie en in de algemene evenwichtstheorie, heeft afgedaan. De experimenten met het ultimatumspel die in de afgelopen 35 jaar gedaan werden hebben

² Zie de bijdrage van Arthur Schram en Joël van der Weele over Nobelprijswinnaars op het gebied van gedragseconomie elders in dit nummer.

laten zien dat de aannames van zuiver materialisme in zelfzuchtigheid niet te handhaven zijn. Mensen worden gedreven door een veelheid van motieven, waaronder sociale (zoals de wens gerespecteerd te worden), en met de speltheorie kunnen ook deze motieven gemodelleerd en geanalyseerd worden. De economische theorie is menselijker geworden.

Als tweede dwarsverband kan gewezen worden op de verschoven focus in de richting van informatie en incentives. Hayek benadrukte het belang van asymmetrisch verdeelde informatie, maar destijds had de economie geen technieken om het door Hayek geformuleerde probleem ook echt te onderzoeken. De doorbraak kwam rond 1970, met het werk waarvoor Akerlof, Spence en Stiglitz in 2001 de Nobelprijs kregen. Akerlof was eerst, en in zijn *Market for Lemons* uit 1970 zien we nog een prijstheoretische modellering van het probleem van averechtse selectie, maar dat was toch redelijk moeizaam. Een speltheoretisch model is eenvoudiger hanteerbaar en is ook daarom te prefereren. Op het gebied van de informatie-economie zien we daarom gedurende de jaren 1970 een geleidelijke verschuiving in de richting van speltheoretisch formulering, culminerend in Cho en Kreps (1985). Een vergelijkbare beweging zien we bij *moral hazard* modellen en op het gebied van de contracttheorie. In 2016 deelden Oliver Hart en Bengt Holmström de Nobelprijs voor hun werk op dit terrein. Holmström (1979) is niet expliciet speltheoretisch, maar latere generaties modellen zijn dat wel. Ook hier speelt weer een rol dat talloze problemen met asymmetrische informatie relatief eenvoudig speltheoretisch gemodelleerd kunnen worden. Dat leidt onvermijdelijk tot analyse en kan beter en dieper inzicht in allerlei praktische problemen (zoals de interne organisatie van een bedrijf) alleen maar dichterbij brengen.³

Ook de Nobelprijs die Jean Tirole in 2014 kreeg voor zijn werk op het terrein van mededinging en regulering moet in dit licht gezien worden. Het Nobelprijsc comité stelt “Tirole’s research would come to build upon new scientific methods, particularly in game theory and contract theory” en “Jean Tirole’s research contributions are characterized by thorough studies, respect for the peculiarities of different markets, and the skilful use of new analytical methods in economics.” Tirole’s boek uit 1988 is zuivere theorie, maar 30 jaar later weten we dat deze theorie ook invloed gehad heeft op de empirische analyse van markten en dat mededingingsautoriteiten en sectorspecifieke toezichhouders deze technieken in hun dagelijks werk gebruiken. De analyse van tweezijdige markten vereist speltheoretische modellering en om de effecten van fusies en overnames in te schatten worden simulatiemodellen op speltheoretische grondslag gebruikt.

Als laatste dwarsverband wijs ik op de literatuur over publieke goederen en het *Problem of the Commons*. De enige vrouw die tot nu toe een Nobelprijs in de economie gewonnen heeft, Elinor Ostrom, staat niet echt bekend als een speltheoreticus, maar zij is wel iemand die uitgebreid van speltheoretische inzichten, zoals het *Folk Theorem*, gebruikgemaakt heeft. Ostrom gebruikte een groot aantal verschillende methoden (veldonderzoek, expe-

³ Voor een gedetailleerder beschrijving van het werk van de Nobelprijswinnaars op het gebied van de informatie-economie, alsmede dat van Jean Tirole, zie het artikel van Pieter Gautier in dit nummer.

rimenten en economische theorie) om een beter inzicht te krijgen in welke *governance*-systemen van gezamenlijk eigenschap werken en welke niet. Zij gebruikte de speltheorie, en inspireerde die ook. Zo wierp zij o.a. de vraag op waarom een straf altijd afgemeten wordt aan de ernst van het misdrijf en niet altijd zo afschrikwekkend als mogelijk is. In 1980-1981 participeerde zij enthousiast in een multidisciplinaire onderzoeksgroep die Reinhard Selten in Bielefeld bij elkaar bracht. Het onderzoeksjaar was zeer productief, mede dankzij de speltheorie als taal voor interdisciplinaire samenwerking in de sociale en biologische wetenschappen, die ervoor zorgde dat problemen zoals bij het bouwen van de Toren van Babel voorkomen werden; zie Selten (1991).

7 Conclusie

De speltheorie is in eerste instantie een methode die analyse van strategische interactie mogelijk maakt. Ook de economische wetenschap wordt vaak als een methode gezien. Die visie werd recent, onder invloed van Gary Becker, Nobelprijswinnaar in 1992, opnieuw populair, maar zij is al veel ouder. Ook Marshall en Keynes verdedigden deze visie al. Gesteld kan worden dat met de speltheorie de gereedschapskist van de economie in belangrijke mate werd vergroot en zo bezien zijn Nobelprijzen voor de speltheorie natuurlijk zeer terecht.

Uiteindelijk gaat het natuurlijk niet om de methode op zich, maar om de inzichten die met die methode bereikt worden en (wat verder weg) de eventuele toepassingen daarvan (Aumann, 1985). In het bovenstaande heb ik een aantal inzichten en toepassingen de revue laten passeren. Een belangrijke toepassing, die nog niet aan de orde is geweest, is het ontwerp van veilingen waarbij meerdere heterogene rechten efficiënt in de markt gezet kunnen worden, of juist daaruit juist kunnen worden weggenomen. Een belangrijk inzicht, met grote consequenties voor het functioneren van bijvoorbeeld arbeidsmarkten, is dat veel mensen niet volledig zelfzuchtig zijn, maar juist conditioneel coöperatief. Een derde inzicht is dat economie en ethiek niet volledig gescheiden kunnen worden. Mensen zijn niet amoreel en dus kan de economie dit ook niet zijn. Gerelateerd hieraan is het feit dat mensen zich mede door normen laten leiden, wat leidt tot vragen over waar deze vandaan komen en wat ze stabiel maakt. Deze laatstgenoemde aspecten zijn verwant aan het thema vertrouwen, dat voor de economie als geheel van belang is, maar zeker ook voor de platformeconomie. De speltheorie heeft bijgedragen aan deze toepassing en het verwerven van deze inzichten. Verwacht mag worden dat in de toekomst Nobelprijzen in relatie tot deze thema's uitgereikt zullen worden. De lezer kan de bijbehorende namen vermoedelijk zelf invullen.

Auteur

Eric van Damme (eric.vandamme@uvt.nl) is hoogleraar economie aan Tilburg University en aldaar verbonden aan het Tilburg Law and Economics Center, TILEC.

Referenties

- Akerlof, G., 1970, The market for lemons: quality uncertainty and the market mechanism, *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 84(3): 488-500.
- Aumann, R., 1985, What is game theory trying to accomplish?, in: K. Arrow en S. Honkapohja (red.), *Frontiers of Economics*, pp 5-46, Basil Blackwell, Oxford.
- Aumann, R., 1987, Game theory, in J. Eatwell, M. Millgate en P. Newman (eds), *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, vol. 2: 460-482, MacMillan, Londen.
- Aumann, R. en M. Maschler, 1995, *Repeated games with incomplete information*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Cho, I. en D. Kreps, 1987, signaling games and stable equilibria, *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 102: 179-221.
- Coase, R., 1988, *The firm, the market and the law*, University of Chicago Press, Chicago.
- Damme, E. van, 1987, *Stability and perfection of Nash equilibria*, Springer-Verlag, Berlin.
- Damme, E. van, 2005, Oskar Morgenstern, in: K. Kempf-Leonard (ed.), *Encyclopedia of Social Measurement*, vol. 2: 741-747, Elsevier, Amsterdam.
- Damme, E. van, K. Binmore, A. Roth, L. Samuelson, E. Winter, G. Bolton, A. Ockenfels, M. Dufwenberg, G. Kirchsteiger, U. Gneezy, M. Kocher, M. Sutter, A. Sanfey, H. Kliemt, R. Selten, R. Nagel, O. Azar, 2014, How Werner Güth's ultimatum game shaped our understanding of social behavior, *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 108: 292-318.
- Gale, D. en L. Shapley, 1962, College admissions and the stability of marriage, *The American Mathematical Monthly*, vol. 69(1): 9-15.
- Goeree, J. en C. Holt, 2001, Ten little treasures of game theory and ten intuitive contradictions, *The American Economic Review*, vol. 91(5): 1402-1422.
- Güth, W., R. Schmittberger en B. Schwarze, 1982, An experimental analysis of ultimatum bargaining, *Journal of Economic Behavior & Organization*, vol. 3(4): 367-388.
- Haan, M. de, P. Gautier, H. Oosterbeek en B. van der Klauw, 2015, The performance of school assignment mechanisms in practice, Discussion Paper 9118, IZA, Bonn.
- Harsanyi, J. en R. Selten, 1988, *A general theory of equilibrium selection in games*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Hayek, F., 1945, The use of knowledge in society, *The American Economic Review*, vol. 35(4): 519-530.
- Holmström, B., 1979, Moral hazard and observability, *The Bell Journal of Economics*, vol. 10(1): 74-91.
- Lindbeck, A., 1985, The prize in economic science in memory of Alfred Nobel, *Journal of Economic Literature*, vol. 23: 37-56.
- Myerson, R., 1981, Optimal auction design, *Mathematics of Operations Research*, vol. 6(1): 58-73.
- Myerson, R. en M. Satterthwaite, 1981, Efficient mechanisms for bilateral bargaining, *Journal of Economic Theory*, vol. 29(2): 265-281.
- Nasar, S., 1998, *A Beautiful Mind*, Simon & Schuster, New York, NY.
- Nash, J., 1950a, Non-cooperative games, Proefschrift, Princeton University.
- Nash, J., 1950b, The bargaining problem, *Econometrica*, vol. 18(2): 155-162
- Nash, J., 1951, Non-cooperative games, *Annals of Mathematics*, vol. 54(2): 286-295.
- Neumann, J. von, en O. Morgenstern, 1944, *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press, Princeton NJ.
- Roth, A., 2015, *Who gets what – and why: the hidden world of matchmaking and market design*, Harper Collins, Londen, UK.
- Rubinstein, A., 1982, Perfect equilibrium in a bargaining model, *Econometrica*, vol. 50(1): 97-109.

- Rubinstein, A., 1989, The electronic mail game: strategic behavior under "almost common knowledge", *The American Economic Review*, vol. 79(3): 385-391.
- Schelling, T., 1960, *The strategy of conflict*, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Schelling, T., 1978, *Micromotives and macrobehavior*, W.W. Norton & Company, New York.
- Selten, R., (ed.) 1991, *Game Equilibrium Models*, Vols. I-IV, Springer-Verlag, Berlin.
- Selten, R., 1993, In search of a better understanding of economic behavior, in: A. Heertje (ed.), *The makers of modern economics*, vol. 1: 115-139, Harvester Wheatsheaf, Hertfordshire, UK.
- Shapley, L., 1953, A value for n-person games, in H. Kuhn en A. Tucker, Contributions to the Theory of Games, *Annals of Mathematical Studies*, vol. 28: 307-317, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Thaler, R., 1994, *The winner's curse: paradoxes and anomalies of economic life*, Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Tirole, J., 1988, *Theory of industrial organization*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Vickrey, W., 1961, Counterspeculation, auctions and competitive sealed tenders, *The Journal of Finance*, vol. 16 (1): 8-37.