

Mechanism design: De econoom als ingenieur

Sander Onderstal

Dankzij de ontwikkeling van het vakgebied mechanism design hoeven economen zich niet langer te beperken tot het bestuderen van bestaande markten, maar zijn ze nu in staat als een ingenieur deze markten te ontwerpen. In dit artikel laat ik zien hoe Nobelprijswinnaars Friedrich von Hayek, Ronald Coase, William Vickrey, Leonid Hurwicz, Eric Maskin, Roger Myerson, Lloyd Shapley, Al Roth, Oliver Hart en Bengt Holmström hebben bijgedragen aan het ontwikkelen van het vakgebied. Aan de orde komen mechanism-designtheorie en toepassingen op het gebied van school-matching, contractontwerp.

1 Inleiding

Begin 2018 gaven Jacob Goeree, Theo Offerman, Arthur Schram en ik advies aan het ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Het advies betrof de veiling van 700-, 1400- en 2100-MHz-vergunningen die voor 2019 stond gepland. Deze vergunningen zijn de grondstoffen van mobiele-telecombedrijven, zoals KPN en Vodafone. Het ministerie had ons verzocht een veilingmodel te ontwerpen dat ervoor zal zorgen dat de vergunningen in handen komen van telecombedrijven die er in de markt de meeste waarde mee genereren voor de samenleving. Kortom: het ministerie vroeg ons een mechanisme (een veiling) zodanig te ontwerpen dat een vooraf gegeven doelstelling (een efficiënte allocatie van de mobiele-telecomvergunningen) zou worden behaald.

Wat is het beste mechanisme om een bepaald doel te behalen? Deze vraag staat centraal in het vakgebied *mechanism design*. In een notendop is mechanism design omgekeerde speltheorie.¹ Waar een speltheoreticus probeert te voorspellen hoe mensen, bedrijven en landen zich gedragen in gegeven strategische situaties, gaat een mechanism designer op zoek naar strategische situaties die ervoor zorgen dat mensen, bedrijven en landen zich op een bepaalde manier gedragen. In de afgelopen decennia heeft mechanism design zich ontpopt tot een van de grootste succesverhalen van de micro-economie. Dit heeft een groot aantal Nobelprijswinnaars opgeleverd.

In dit artikel zet ik de ontwikkeling van mechanism design centraal. Dat doe ik aan de hand van het werk van verschillende Nobelprijswinnaars. In paragraaf 2 bespreek ik hoe Friedrich von Hayek (Nobelprijswinnaar in 1974), William Vickrey (laureaat in 1996), Leonid Hurwicz, Eric Maskin en Roger Myerson (de winnaars van 2007) de fundamente

¹ Zie de bijdrage van Eric van Damme in dit themanummer voor een overzicht van het werk van Nobelprijswinnaars op het gebied van speltheorie.

legden voor mechanism-designtheorie. In de daaropvolgende paragrafen staan enkele toepassingen centraal. In paragraaf 3 bespreek ik het werk van Lloyd Shapley en Al Roth (laureaten in 2012) over school-matching. In paragraaf 4 komen de bijdragen van Ronald Coase (die de Nobelprijs won in 1991) en Oliver Hart en Bengt Holmström (winnaars in 2016) op het gebied van contractontwerp aan de orde. In paragraaf 5 staat veilingontwerp centraal, waarbij ik me vooral richt op het werk van William Vickrey en Roger Myerson, dat ook een belangrijke basis vormde voor ons veilingadvies aan het ministerie. Paragraaf 6 bevat een conclusie.

2 Mechanism-designtheorie

Een belangrijke inspiratiebron voor de ontwikkeling van mechanism-designtheorie was de discussie in de jaren 1930 en 1940 over hoe de economie het beste vormgegeven kan worden: via centrale planning of via de markt. Friedrich von Hayek (1945) beargumenteerde dat een efficiënt economische systeem gebruik maakt van informatie over consumentenpreferenties en productietechnologie. Omdat deze informatie verspreid is over consumenten en producenten in de economie is het dus essentieel dat zij deze op een of andere manier communiceren aan het economische systeem. Von Hayek betoogde dat de markt daartoe het beste in staat is. Prijzen zorgen er namelijk voor dat mensen efficiënt handel drijven: de onzichtbare hand van Adam Smith ten voeten uit.

Op dit punt stapt Leonid Hurwicz het toneel op. In Hurwicz (1960) definieert hij een mechanisme als een spel waarin spelers informatie doorgeven aan een communicatiecentrum (*message center*) dat vervolgens volgens een vooraf bekende regel een uitkomst implementeert (zoals een allocatie van goederen en diensten). Op deze manier kunnen verschillende mechanismen met elkaar vergeleken worden. Vervolgens introduceert Hurwicz (1972) het concept *incentive compatibility*, dat inhoudt dat spelers een prikkel hebben om hun informatie eerlijk aan het communicatiecentrum door te geven.

Het *revelation principle* is de volgende grote doorbraak in mechanism design. Onder meer Dasgupta, Hammond en Maskin (1979) en Myerson (1979) hebben hieraan bijgedragen. Volgens het revelation principle bestaat er voor elk mechanisme M een incentive compatible mechanisme dat dezelfde evenwichtsuitkomst heeft als M. In paragraaf 5 ga ik daar wat dieper in op de betekenis van het revelation principle wanneer ik het werk van Myerson over veilingen bespreek.

Een andere doorbraak betreft het vinden van efficiënte incentive compatible mechanismen binnen specifieke contexten. William Vickrey (1961) ontdekte dat bieders in een tweede-prijs gesloten-bod veiling het beste hun waarde voor het geveilde object kunnen bieden. Als bieders zich aan deze strategie houden, betaalt de winnaar de hoogste waarde onder zijn medebieders. Met andere woorden, de winnaar betaalt de opportuniteitskosten die de andere bieders ondervinden dankzij haar aanwezigheid in de

veiling. Als de winnaar namelijk niet had meegeboden dan was het geveilde object naar een andere bidder gegaan die zo haar waarde ervoor had kunnen realiseren. De uitkomst van de veiling is efficiënt in de zin dat het geveilde goed altijd in handen komt van de bidder met de hoogste waarde.

Clarke (1971) en Groves (1973) ontwikkelden een analoog mechanisme voor publieke goederen. Neem als voorbeeld een op palen gebouwde stad die onderzoekt of het efficiënt is om een nieuwe metrolijn aan te leggen. In het Clarke-Groves-mechanisme worden alle inwoners gevraagd hoeveel ze willen betalen voor de metrolijn. De stad bouwt de metrolijn als, en alleen als, de som van de gerapporteerde bedragen groter is dan de aanlegkosten. Als het project doorgaat, betaalt iedere inwoner een belasting gelijk aan het verschil tussen de kosten van het project en de totale betalingsbereidheid van de andere inwoners. Dit mechanisme is zowel incentive compatible als efficiënt. Maar er kleeft wel een nadeel aan: over het algemeen is het budget niet in balans, dat wil zeggen, de kosten en de opbrengsten zijn typisch niet aan elkaar gelijk (Green en Laffont, 1979).

Hiermee kom ik op een andere fundamentele bijdrage van mechanisme-designtheorie: gereedschap om de grenzen van een economisch systeem aan te tonen. Sommige doelen blijken te ambitieus in de zin dat er geen mechanisme bestaat om ze te halen. Zo laten Gibbard (1973) en Satterthwaite (1975) zien dat er geen niet-dictatoriale stemprocedure is waarin een groep individuen eerlijk hun preferenties rapporteren. Een ander voorbeeld is de onmogelijkheidsstelling van Myerson en Satterthwaite (1983) op het gebied van bilaterale handel. Stel een verkoper wil een goed verkopen. Er is één potentiële koper. De koper en de verkoper weten niet hoeveel waarde de ander aan het goed hecht. Leunend op het revelation principle laten Myerson en Satterthwaite zien dat de koper en de verkoper zonder subsidie van buitenaf er niet altijd in slagen om het goed in handen te krijgen van degene die er de hoogste waarde aan hecht.

3 Toepassing: School-matching

Een prominente praktische toepassing van mechanisme design is school-matching. Jaarlijks gaan honderden Amsterdamse kinderen naar de middelbare school. De capaciteit van elke school is beperkt en sommige scholen zijn zo populair dat ze niet alle leerlingen kunnen plaatsen die er het liefst naartoe zouden gaan. De vraag is dan: welk mechanisme kan de stad Amsterdam het beste gebruiken om de leerlingen zo goed mogelijk over de scholen te verspreiden? 'Het marktmechanisme' schiet een doorgewinterd econoom waarschijnlijk als eerste te binnen. Maar wat nou als de wet niet toestaat dat scholen zo veel schoolgeld in rekening brengen dat de markt een evenwicht bereikt?

Meer dan 50 jaar geleden kwamen David Gale en Lloyd Shapley (1962) met een baanbrekend antwoord op beide vragen. Dat deden ze overigens niet in een economietijdschrift maar in de *American Mathematical Monthly*, een populair-wetenschappelijk tijdschrift voor wiskundigen. Het artikel van Gale en Shapley is dan ook

lekker kort (7 pagina's) en eenvoudig leesbaar (er staan geen ingewikkelde formules in). Ze stellen zich daarin de vraag of er een stabiele matching van leerlingen en scholen bestaat. Een matching is stabiel als er geen leerling-school-paar bestaat dat niet aan elkaar is gekoppeld, terwijl ze beide beter af zijn als dat wel het geval was geweest. Om antwoord te geven op hun vragen, ontwikkelen Gale en Shapley het *deferred-acceptance*-algoritme en laten zien dat dat een stabiele matching oplevert. Het algoritme heeft als input de preferenties van de leerlingen en van de scholen, dat wil zeggen, voor alle leerlingen een ranglijst van alle scholen en voor alle scholen een ranglijst van alle leerlingen. Laten we voor het gemak aannemen dat de scholen gezamenlijk voldoende capaciteit hebben om alle leerlingen te plaatsen. Er zijn twee varianten van het algoritme: de leerlingen-variant en de scholen-variant. De leerlingen-variant van het algoritme doorloopt de volgende stappen:

1. Alle leerlingen wijzen naar de eerste school in hun ranglijst.
2. Elke school accepteert voorlopig de leerlingen die naar de school wijzen die het hoogste op haar ranglijst staan voor zover de capaciteit van de school het toelaat. De leerlingen voor wie geen plaats is, worden afgewezen. Deze leerlingen halen de betreffende school van hun ranglijst.
3. Alle afgewezen leerlingen wijzen naar de eerste school in hun geactualiseerde ranglijst.
4. Elke school kiest uit de leerlingen die naar de school wijzen en de leerlingen die ze voorlopig had geaccepteerd diegenen die het hoogste op zijn ranglijst staan voor zover de capaciteit van de school het toelaat. De leerlingen voor wie geen plaats is, worden afgewezen. Deze leerlingen halen de betreffende school van hun ranglijst.
5. Stop als alle leerlingen zijn geplaatst. Zo niet, ga terug naar stap 3.

De scholen-variant is het spiegelbeeld, waarbij scholen wijzen naar leerlingen en leerlingen telkens hun meest geprefereerde school voorlopig accepteren. Gale en Shapley laten zien dat beide varianten resulteren in een stabiele matching waarbij ze opmerken dat leerlingen beter af zijn in de leerlingen-variant dan in de scholen-variant. Gale en Shapley geven de voorkeur aan de leerlingen-variant omdat scholen er zijn voor leerlingen en niet andersom.

Al Roth bouwde voort op het werk van Gale en Shapley. Zo toont hij in Roth (1982) aan dat het *deferred-acceptance*-algoritme niet incentive compatible is: in de leerlingen-variant hebben scholen een prikkel om hun preferenties te manipuleren en vice versa. In de praktijk is dat overigens geen relevant probleem omdat scholen geen preferenties (mogen) hebben en selecteren op harde prioriteiten zoals het postcodegebied waarin de leerlingen wonen en of deze al broers of zussen op school hebben. Verder laten Chen en Sönmez (2006) aan de hand van laboratoriumexperimenten zien dat het *deferred-acceptance*-algoritme goed werkt in absolute zin en ook ten opzichte van andere allocatiemechanismen.

Desondanks duurde het enkele decennia na het verschijnen van Gale en Shapley (1962) voordat het deferred-acceptance-algoritme breed in de praktijk werd toegepast. In Amsterdam ging het balletje pas rollen toen Pieter Gautier in 2012 in het tv-programma De Wereld Draait Door uitlegde waarvoor Lloyd Shapley en Al Roth de Nobelprijs hadden gewonnen. Het uitvoeren van de school-matching ging in eerste instantie niet zonder slag of stoot. In 2015 spanden 20 ouders een kort geding aan tegen de gemeente Amsterdam, omdat ze de plekken van hun kinderen wilden ruilen. De ouders legden zo de vinger op de Achilleshiel van het deferred-acceptance-algoritme: Het kan in een matching resulteren waarin Pareto-verbeteringen mogelijk zijn als leerlingen van plek wisselen. Het algoritme verliest echter zijn incentive compatibility en zijn stabiliteit als kinderen van plek willen ruilen. De rechter erkende dat ook en wees daarom het verzoek van de ouders af.

4 Toepassing: Contractontwerp

Een andere prominente toepassing van mechanism design is contractontwerp. Mensen sluiten gedurende hun leven een groot aantal contracten af: koopcontracten, arbeidscontracten, hypotheek, abonnementen, verzekeringen, en nog veel meer. Oliver Hart en Bengt Holmström hebben hun carrière gewijd aan de optimale vormgeving van contracten.

Holmström (1979) bestudeert prestatiebeloning in eenvoudige principaal-agentmodellen waarin de agent één taak uitvoert. De principaal en de agent hebben conflicterende belangen (de principaal wil dat de agent hard werkt, terwijl de agent liever lui is). Om die reden tekenen ze een contract. Een horde daarbij is dat de principaal de inspanningen van de agent niet goed kan waarnemen. In een zekere omgeving of als de agent risico-neutraal is, hoeft dat geen probleem te zijn: de principaal laat de agent de vruchten van zijn inspanningen houden in ruil voor een vast bedrag. Mensen zijn echter typisch risico-avers en weinig omgevingen zijn zonder onzekerheid. Voor zulke situaties leidt Holmström (1979) twee fundamentele principes af. Volgens het *informativeness principle* hangt de beloning van de agent zoveel mogelijk af van uitkomsten die van invloed zijn op de prestaties van de agent. Als de agent een CEO van een beursgenoteerd bedrijf is, zou haar bonus dus niet alleen afhankelijk moeten zijn van de koers van het aandeel van haar bedrijf, maar ook van de koersen van andere, soortgelijke bedrijven. De aandelenkoers van een bedrijf wordt namelijk niet alleen bepaald door de inspanningen van de CEO maar ook door het sentiment op de beurs, waarvoor de koersen van andere bedrijven een afspiegeling zijn. Het *incentive intensity principle* is het andere fundamentele principe. Volgens dit principe hebben de prestaties van de agent meer invloed op diens compensatie naarmate ze beter gemeten kunnen worden. Zo kan een appelplukker prima stukloon ontvangen (omdat de hoeveelheid appels die hij plukt goed meetbaar is) terwijl een ambtenaar beter een vast salaris kan krijgen (omdat haar bijdrage aan goed beleid nauwelijks vast te stellen is).

Holmström en Milgrom (1991) breiden het model van Holmström (1979) uit naar een situatie waarin de agent verschillende taken in het takenpakket heeft, waarvan sommige beter te observeren zijn dan andere. Holmström en Milgrom leiden het *equal compensation principle* af, volgens welke de agent even sterke prikkels moet krijgen voor twee taken die even belangrijk zijn voor de principaal. Dit impliceert dat de principaal de agent soms zwakke prikkels moet geven. Neem als voorbeeld een hoogleraar aan de Universiteit van Amsterdam. Als diens salaris sterk afhangt van zijn (goed te evalueren) onderzoeksoutput dan zal hij mogelijk weinig tijd en aandacht besteden aan zijn (minder goed te evalueren) onderwijstaak. Als de agent een vast salaris ontvangt, onafhankelijk van prestaties, zal deze eerder geneigd zijn om zich op beide taken te richten.

Oliver Hart en zijn coauteurs wijzen op een andere sterke aanname in eenvoudige principaal-agentmodellen, namelijk dat de principaal en de agent een compleet contract kunnen schrijven. In de praktijk gaat deze aanname vaak niet op omdat het praktisch onmogelijk is om alle toekomstige eventualiteiten vast te leggen. Grossman en Hart (1986) laten zien dat het in zulke gevallen essentieel is wie de eigendomsrechten in handen heeft: “the owner of an asset has the residual rights of control of that asset, that is, the right to control all aspects of the asset that have not been explicitly given away by contract” (p. 695).

De partij met de eigendomsrechten staat sterk in de onderhandelingen met de tegenpartij en heeft daardoor sterkere prikkels dan de tegenpartij om te investeren. Het kan daarom in het belang zijn van een bedrijf om de intellectuele eigendomsrechten van een innovatie te laten aan een onafhankelijke entrepreneur. De entrepreneur staat zo sterker in de onderhandelingen met het bedrijf dan als hij in loondienst zou zijn en heeft zo sterkere prikkels om een innovatie te ontwikkelen.

Dit idee gaat terug naar Ronald Coase (1937), die beargumenteert dat bedrijven bestaansrecht hebben omdat transacties binnen bedrijven met lagere transactiekosten gepaard gaan dan in de markt. Transactiekosten bepalen zo de grenzen van het bedrijf. Grossman en Hart gaan nog een stap verder door niet alleen te verklaren welke transacties in de markt plaatsvinden en welke binnen het bedrijf, maar ook wie welke activa in handen heeft.

5 Toepassing: Veilingen

De laatste toepassing van mechanism design in dit artikel is veilingontwerp. Ik gaf eerder al aan dat William Vickrey (1961) tot de wonderlijke ontdekking kwam dat een tweedeprijs gesloten-bod veiling een efficiënt evenwicht heeft in zwak-dominante strategieën. Ook de veiling bij opbod heeft deze eigenschappen. Bieders hebben een zwak dominante strategie om in de veiling te blijven tot de veilingprijs gelijk is aan hun waarde. Als alle bieders deze strategie spelen is de allocatie van het goed efficiënt. Als efficiëntie de doelstelling van de veiling is dan is de veilingontwerper dus snel klaar, althans in de

omgeving die Vickrey bestudeert, namelijk met één object en private waarden. Zijn resultaat blijkt echter algemener te gelden: als de veilingmeester meer dan één object aanbiedt, kan zij gebruik maken van een zogenaamd Vickrey-Clarke-Groves-mechanisme om de objecten efficiënt te alloceren in een evenwicht in zwak-dominante strategieën.

Stel dat de veilingmeester niet zozeer in efficiëntie is geïnteresseerd maar wel in de veilingopbrengst. Welk veilingmechanisme levert haar de hoogste verwachte opbrengst op? Vickrey droeg ook bij aan het beantwoorden van deze vraag. Naast de tweede-prijs gesloten-bod en de veiling bij opbod bestudeerde hij ook de eerste-prijs gesloten-bod veiling en de veiling bij afslag. Deze laatste veilingen hebben geen evenwicht in zwak dominante strategieën. Vickrey vond voor beide veilingen het Bayesiaanse evenwicht. Dat is opmerkelijk, omdat nog enkele jaren zou duren voordat John Harsanyi (1967, 1968), winnaar van de Nobelprijs in 1994, dat concept introduceerde. Vickrey toonde bovendien aan dat in symmetrische situaties de verwachte opbrengst van alle vier de veilingen hetzelfde is.

De vraag welke veiling het meeste opbrengt, bleef echter nog twintig jaar onbeantwoord. Het beantwoorden ervan lijkt dan ook een onmogelijke opgave. Er zijn oneindig veel veilingenvormen te bedenken: veilingen waarin het derde bod de prijs bepaalt; veilingen waarin ook verliezers betalen; veilingen waarbij de tweede hoogste bidder een plokpenning ontvangt voor het opdrijven van de prijs van de winnaar; mengvormen die beginnen met een opbod waarbij de twee hoogste bidders een hoger gesloten bod mogen doen; een veiling waarin de winnaar een gewogen gemiddelde van het eerste- en het tweede-hoogste bod betaalt. Hoe garandeer je dat je de veiling met de hoogste opbrengst niet over het hoofd ziet?

Roger Myerson (1981) komt met een briljant antwoord op deze vraag. Hij maakt daarbij handig gebruik van het revelation principle. Dankzij het revelation principle kun je je in je zoektocht naar de winstmaximaliserende veiling met gerust hart beperken tot incentive compatible mechanismen. Dit inzicht vergemakkelijkt het leven van de veilingontwerper aanzienlijk. Myerson (1981) veralgemeeniseert vervolgens Vickrey's (1961) opbrengst-equivalentiestelling om daarmee het opbrengstmaximaliserende mechanisme af te leiden. In het symmetrische geval blijkt dat verbluffend eenvoudig. De vier veilingen die Vickrey (1961) bestudeerde, blijken alle optimaal, mits de veilingmeester een geschikte bodemprijs instelt.

Veilingontwerp is ook een toepassing waar de theorie al snel tegen zijn grenzen aanloopt. Zo is een situatie waarin de veilingmeester verschillende objecten wil verkopen vaak theoretisch niet behapbaar. Een goed voorbeeld is mobiele-telecomveilingen. In de jaren 1990 ontwikkelden Paul Milgrom, Robert Wilson en Preston McAfee de simultane meerrondenveiling (simultaneous multi-round auction, of SMRA). Kortgezegd is de SMRA een veiling bij opbod waarmee verschillende objecten tegelijkertijd worden geveild. Veel overheden gebruikten de SMRA in de jaren 1990 en de eerste jaren van het nieuwe millennium, met wisselend succes. Een van de zwaktepunten van de SMRA is dat bidders niet op pakketten kavels kunnen bieden waardoor ze het risico lopen veel geld te betalen

voor een te klein pakket kavel (het *exposure problem*). Geavanceerdere veilingmodellen ondervangen dat risico.

Omdat de theoretische eigenschappen van deze veilingmodellen niet bekend zijn, worden deze soms getest in laboratoriumexperimenten. Het Amerikaanse Federal Communications Commission (FCC) heeft verschillende veilingmodellen in het lab getest voordat ze werden gebruikt (zie bijvoorbeeld Goeree et al., 2006). Zo'n experimentele test kan zwaktes van het veilingontwerp naar boven brengen en gênante uitkomsten voorkomen zoals een lage opbrengst door samenspannende bidders. Roth (2016) presenteert een kort overzicht van de lessen uit de spectrumveilingen voor de FCC.

6 Conclusie

In dit artikel heb ik laten zien wat verschillende Nobelprijswinnaars hebben bijgedragen aan het vakgebied mechanism design. Ik ben vast niet de enige die vol bewondering is van de ongekende hoeveelheid diepe en elegante theorie die in de afgelopen decennia het licht heeft gezien. Toepassingen als school-matching, contractontwerp en veilingontwerp bleken Nobelprijswaardig. En dan heb ik nog gezwegen over de bijdragen van James Mirrlees op het gebied van belastingen en Jean Tirole op het gebied van regulering die elders in dit themanummer worden besproken.

Dankzij de ontwikkeling van het vakgebied mechanism design hoeven economen zich niet langer te beperken tot het bestuderen van bestaande markten maar zijn ze nu in staat als een ingenieur deze markten te ontwerpen, zoals Al Roth (2002) benadrukte in zijn Fisher-Schultz lecture tijdens het Europese congres van de *Econometric Society*. Inmiddels hebben economen ruimschoots ervaring opgedaan met marktontwerp in de praktijk. Zo heb ik in dit artikel aangestipt hoe het deferred-acceptance-algoritme van Gale en Shapley (1962) breed in de praktijk wordt toegepast voor school-matching en welke rol mechanism-designtheorie speelt bij het ontwerp van spectrumveilingen wereldwijd. Ons advies over de multiband-veiling is daar een voorbeeld van. Het zou me niet verbazen als in de nabije toekomst een Nobelprijs wordt uitgereikt voor dit soort praktische toepassingen.

Auteur

Sander Onderstal (e-mail: onderstal@uva.nl) is hoogleraar Strategy & Markets aan de Universiteit van Amsterdam

Literatuur

- Clarke, E.H., 1971, Multipart pricing of public goods, *Public Choice*, vol. 11: 17-33.
- Chen, Y. en T. Sönmez, 2006, School choice: an experimental study, *Journal of Economic theory*, vol. 127(1): 202-231.
- Coase, R.H., 1937, The nature of the firm. *Economica*, vol. 4(16): 386-405.
- Dasgupta, P., P. Hammond en E. Maskin, 1979, The implementation of social choice rules: some general results on incentive compatibility, *Review of Economic Studies*, vol. 46: 181-216.
- Gale, D. en L.S. Shapley, 1962, College admissions and the stability of marriage, *American Mathematical Monthly*, vol. 69: 9-15.
- Gibbard, A., 1973, Manipulation of voting schemes: a general result, *Econometrica*, vol. 41: 587-602
- Goeree, J.K., C.A. Holt en J.O. Ledyard, 2006, An experimental comparison of the FCC's combinatorial and non-combinatorial simultaneous multiple round auctions. Prepared for the Wireless Communications Bureau of the Federal Communications Commission.
- Goeree, J., T. Offerman, S. Onderstal en A. Schram, 2018, *Veilingontwerp 700/1400/2100 MHz Verunningen*, Amsterdam: CREED.
- Green, J. en J.J. Laffont, 1979, *Incentives in Public Decision Making*, North Holland, Amsterdam.
- Grossman, S. J., en O.D. Hart, 1986, The costs and benefits of ownership: A theory of vertical and lateral integration, *Journal of Political Economy*, vol. 94(4): 691-719.
- Groves, T., 1973, Incentives in teams, *Econometrica*, vol. 41: 617-663.
- Harsanyi, J., 1967, 1968, Games of incomplete information played by Bayesian players, *Management Science*, vol. 14: 159-182, 320-329, 486-502.
- Holmström, B., 1979, Moral Hazard and Observability, *Bell Journal of Economics*, vol. 10: 74-91.
- Holmström, B. en P. Milgrom, 1991, Multi-Task Principal Agent Analysis, *Journal of Law, Economics and Organization*, vol. 7: 24-52.
- Hurwicz, L., 1960, Optimality and informational efficiency in resource allocation processes. In Arrow, Karlin and Suppes (eds), *Mathematical Methods in the Social Sciences*, Stanford University Press.
- Hurwicz, L., 1972, On informationally decentralized systems. In Radner and McGuire (eds), *Decision and Organization*, North Holland, Amsterdam.
- Myerson, R.B., 1979, Incentive compatibility and the bargaining problem, *Econometrica*, vol. 47: 61-73.
- Myerson, R.B., 1981, Optimal auction design. *Mathematics of operations research*, vol. 6(1): 58-73.
- Myerson, R. en M. Satterthwaite, 1983, Efficient mechanisms for bilateral trading, *Journal of Economic Theory*, vol. 28: 265-281.
- Roth, A.E., 1982, The economics of matching: Stability and incentives. *Mathematics of Operations Research*, vol. 7(4): 617-628.
- Roth, A.E., 2002, The economist as engineer: Game theory, experimentation, and computation as tools for design economics, *Econometrica*, vol. 70(4): 1341-1378.
- Roth, A.E., 2016, Experiments in market design, in J.H. Kagel en A.E. Roth (eds), *The handbook of experimental economics, volume 2: the handbook of experimental economics*, Princeton University Press.
- Satterthwaite, M., 1975, Strategy-proofness and Arrow's conditions: Existence and correspondence theorems for voting procedures and welfare functions. *Journal of Economic Theory*, vol. 10, 187-217.
- Vickrey, W., 1961, Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders, *Journal of Finance*, vol. 16(1): 8-37.
- Von Hayek, F.A., 1945, The Use of Knowledge in Society, *American Economic Review*, vol. 35(4): 519-530.