

Beheerst besturen van complexe systemen

Het woord ‘complex’ wordt vaak als synoniem gebruikt voor ‘ingewikkeld’, of ‘onbegrijpelijk’. Voor complexiteitswetenschappers verwijst het woord echter naar systemen die zijn opgebouwd uit veel min of meer autonome elementen, maar die ook op elkaar reageren. Zo ontstaan er patronen in het systeem, die niet per se met opzet ontworpen zijn door die afzonderlijke elementen zelf.

Methoden om systeemgedrag door te rekenen, worden steeds meer toegepast op de sociale en gedragswetenschappen en economie. **Frank Pijpers** legt uit hoe deze methoden ons in staat stellen om het systeemgedrag te bestuderen dat ‘spontaan’ optreedt als gevolg van de interacties van de individuele actoren (mensen) waaruit het systeem is opgebouwd.

Dit helpt bestuurders en beleidsmakers om al van tevoren een zuiverder beeld te krijgen van het effect dat een maatregel waarschijnlijk gaat hebben, inclusief de indirecte, onbedoelde effecten.



Frank P. Pijpers is senior methodoloog bij het CBS en daarnaast bijzonder hoogleraar bij het Korteweg-de Vries Instituut voor wiskunde van de UvA, met als aandachtsgebied 'complexiteit voor de officiële statistiek'.

In de tijd voordat vrijwel alle auto's van antiblokkeersystemen waren voorzien, en van nog veel meer veiligheidsbevorderende elektronica, waren antislipcursussen voor automobilisten behoorlijk populair. Die cursussen bestaan nog steeds, maar begrippen als 'beheerst tegensturen' of 'pompend remmend' klinken inmiddels al als archaïsch. Voor het wegverkeer is dat misschien terecht, maar in de context van openbaar bestuur is het zinvol om in ieder geval de denkwijze weer eens af te stoffen. Dat geldt in het bijzonder omdat zowel de economie als de maatschappij de neiging hebben om op allerlei onverwachte manieren te reageren op ingrijpen door overheden. Voor economen zoals L.H. von Mises (1881-1973) was deze '*wet van onbedoelde gevolgen*' een reden om te pleiten voor minimaal overheidsingrijpen. Immers, volgens zijn redenering, is er de verleiding bij een overheid om voor ieder onbedoeld gevolg opnieuw in te grijpen ter compensatie, en juist daardoor steeds meer onbedoelde gevolgen te creëren. Dat zou dan aanleiding geven tot een exponentiële groei van allemaal onbedoelde gevolgen, die uiteindelijk altijd uitroeit boven iedere capaciteit van een overheid om daarop corrigerend in te kunnen grijpen.

Er is echter een probleem met een wereldbeeld waarin elke ingreep wordt beschouwd als de ontsteking van een ongecontroleerde kettingreactie, zoals dat gebeurt bij een atoombom of lijkt te gebeuren bij het begin van een pandemie. Dat komt omdat, als deze analogieën al gebruikt kunnen worden, ze niet consequent worden doorgetrokken. Nucleaire energie kan ook gecontro-

leerd worden ingezet, zoals iedere dag gebeurt in kernenergiecentrales over de hele wereld. Beheersing vereist natuurlijk wel dat goede informatie wordt verzameld over hoe dat proces verloopt binnenin de reactor, en vervolgens dat die informatie correct wordt ingezet in een feedbackproces. Het aantal atomen in een kernreactor is overigens zodanig veel groter dan het aantal mensen in de wereld, laat staan Nederland, dat de analogie problematisch blijft. Wetmatigheden uit de statistische fysica die gelden voor veeldeeltjes-systemen zijn niet vanzelfsprekend ook toe te passen op een maatschappij met slechts enkele miljoenen of zelfs een paar miljard personen.

Het verloop van een epidemie is al een betere analogie omdat economische en maatschappelijke trends bepaald worden door individueel gedrag van, en door contacten tussen, mensen. Dat betekent dat de aantallen beter kloppen, maar ook dat de aantallen onderlinge interacties veel realistischer zijn. Bijvoorbeeld tijdens de eerste golf van COVID-19 in Nederland, voordat allerlei maatregelen werden geïmplementeerd, was de toename van de besmettingen weliswaar heel snel maar niet exponentieel in de tijd. Daar is zoveel documentatie van dat hier wordt volstaan met een enkele referentie waar de auteur persoonlijk aan heeft bijgedragen (Pijpers, 2021), en de referenties in dat paper. De reden dat de toename een machtswet in plaats van een exponentieel tijdsverloop had, is te herleiden tot het feit dat mensen met slechts een beperkt aantal anderen direct contact hebben zodat er saturatie optreedt: wanneer iemand besmet

raakt is de kans groot dat een substantieel deel van het contactnetwerk van die persoon ook al is besmet. Dit is ook een voorbeeld dat met wiskundige modellen wel degelijk de gevolgen van interventies – zoals het reduceren van mobiliteit, het ventileren van ruimten en het dragen mondkapjes – door te rekenen zijn op het niveau van de hele samenleving (zie Dekker, Coffeng, Pijpers, Panja, & de Vlas, 2022). Ook de onbedoelde bijwerkingen van maatregelen onttrekken zich niet volkomen aan kwantificering of voorspelling. En de groei aan onbedoelde bijwerkingen, van welke beleidsinterventie dan ook, is niet noodzakelijkerwijs explosief of exponentieel.

Wat maakt een systeem complex?

Inzichten uit de jaren '80 en '90 van de vorige eeuw hebben geleid tot een nieuwe manier om economische en maatschappelijke systemen te analyseren, namelijk als complexe systemen. Technisch taalgebruik leidt soms tot misverstanden als een bepaald woord ook een dagelijks, en veel minder minutieus omschreven, gebruik kent. Het woord 'complex' wordt in dagelijks woordgebruik vaak als synoniem verstaan voor ingewikkeld, of zelfs als synoniem voor onbegrijpelijk. Bij de technische definitie die complexiteitswetenschappers zelf gebruiken verwijst het woord naar systemen die zijn opgebouwd uit veel elementen die een zekere mate van autonomie hebben maar ook op elkaar reageren zodat er patronen ontstaan in het *systeem* die niet noodzakelijkerwijs met opzet ontworpen zijn of doelgericht gemaakt worden door die afzonderlijke elementen zelf. De manier waarop termieten gezamenlijk een structuur als een termietenhoop kunnen bouwen, of spreuwen dynamische patronen laten zien wanneer ze in een zwerm vliegen, zijn hier voorbeelden van. Dezelfde eigenschappen hebben ook onze economie en maatschappij, opgebouwd als ze zijn uit de individuele interacties tussen mensen. Internationaal vindt deze onderkenning, dat de samenleving een complex systeem is, weerslag in het opstellen door de Verenigde Naties van de 'Sustainable Development Goals' (SDG's): welzijn en welvaart, milieu en klimaat, armoede en ongelijkheid zijn allemaal nauw verweven

emergente eigenschappen van het systeem. In Nederland wordt dit vertaald in onder andere de Monitor Brede Welvaart (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2022).

Er bestaan diverse methoden om dat systeemgedrag door te rekenen. In de natuurwetenschappen zijn dat soort methoden al gemeengoed, maar recent worden deze ook steeds meer toegepast op andere terreinen zoals de sociale en gedragswetenschappen en economie (Arthur, 2009). Deze methoden, en de rekenkracht van moderne computers, stellen ons in staat om het systeemgedrag te bestuderen dat 'spontaan' optreedt als gevolg van de interacties van de individuele actoren (mensen) waaruit het systeem is opgebouwd. Daarbij moet worden aangegeven dat 'doorrekenbaarheid' niet hetzelfde is als 'voorspelbaarheid'. Om dezelfde redenen dat klimaatmodellering, voor bijvoorbeeld een gemiddelde jaartemperatuur in Nederland, intrinsiek een bepaalde bandbreedte oplevert in plaats van een enkele puntschatting, leveren doorrekeningen van complexe modellen van de economie of samenleving een waarschijnlijkheidsverdeling op voor ongeacht welke indicator men van belang vindt. Daarmee kan dus wel onderscheid gemaakt worden tussen meer of minder waarschijnlijke ontwikkelingen, maar er moeten geen absolute zekerheden worden verwacht.

In algemene zin is de eerste stap om eigenschappen en gedrag van individuele actoren in wiskunde te vertalen. De toestand waarin iedere actor is, wordt beschreven door een combinatie van een reeks getallen: zoals leeftijd of inkomen, maar ook geslacht of opleidingsniveau, en in principe nog veel meer. Alle actoren worden in de tijd gevolgd, bijvoorbeeld ieder uur (of minuut, of dag) wordt er opnieuw een momentopname gemaakt van het hele systeem van alle actoren. Ook is er een kans voor iedere willekeurige actor om een andere actor 'tegen te komen'. Wanneer dat gebeurt kunnen de toestanden van beide actoren veranderen. Wat die verandering precies is, wordt met behulp van wiskundige wetmatigheden berekend waarbij ook weer kansen een rol spelen: iedere ontmoeting heeft meerdere mogelijke uitkomsten. Via de berekeningen ontwikkelt deze simulatie zich over de tijd. Vanwege het kansaspect is het nodig om dit soort simulaties heel vaak

opnieuw uit te voeren zodat heel veel van alle mogelijke systeemvariaties tevoorschijn komen en niet alleen het gemiddelde gedrag kan worden bepaald, maar ook de typische bandbreedte; de onzekerheidsmarge. De uitkomsten van deze simulaties moeten zo vaak als mogelijk worden vergeleken met de echte wereld en dus met officiële statistiek. Daarmee kunnen dergelijke modellen vervolgens verbeterd worden; de kansen en uitkomsten van ontmoetingen tussen actoren worden bijgesteld om een zo realistisch mogelijke replica van de echte wereld te verkrijgen.

Data versus informatie

In Nederland bestaat het CBS nu meer dan 120 jaar. Men is in de loop van de tijd steeds meer dingen gaan bijhouden en monitoren dat voor beleid belangrijk is. Niet alleen worden er gegevens verzameld en gepubliceerd over de bevolking, maar ook over gezondheid en veiligheid, over onderwijs en vrijetijdsbesteding, over milieu en allerlei vormen van economische activiteit, zowel nationaal als internationaal. Ieder ministerie heeft daardoor eigen gespecialiseerd feitenmateriaal ter beschikking waarop ze kunnen varen wanneer zij beleidsbeslissingen nemen. Een stuk recenter is een verdere scheiding tussen het verzamelen en publiceren van meetgegevens door het CBS, en het gebruik van modellen, gecalibreerd op die gegevens, voor het doorrekenen van de (potentiële) consequenties van beleidskeuzes door het Centraal Planbureau (CPB) en het nog recenter opgerichte Sociaal en Cultureel Planbureau (SCP) en het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Er is een inhoudelijke reden om die scheiding aan te brengen, zoals er ook een onderscheid wordt gemaakt tussen theoretische en experimentele fysica. Een scheiding van die taken draagt er bijvoorbeeld aan bij dat voorkomen wordt dat alleen maar data verzameld worden die bevestigend werken voor modellen. Ook al doen de planbureaus hun doorrekeningen onafhankelijk en naar eigen inzicht, elk willekeurig beleidsscenario dat wordt doorgerekend zal sneller in het licht worden geplaatst van een bepaalde politieke kleuring. In het bijzonder voor dataverzameling c.q. systeemmetingen is dat onwenselijk.

Het probleem met een dergelijke scheiding is dat, in het bijzonder voor complexe systemen, bepaalde essentiële informatie ontbreekt in puur descriptieve datasets. Van complexe systemen is het bekend dat ze schijnbaar in evenwicht lijken te zijn en toch heel plotseling een grote verandering kunnen ondergaan (Farmer, et al., 2019), (Tàbara, Della Santina, Zaman, Ismail, & Takama, 2022). Een voorbeeld daarvan is de plotselinge omslag die kan optreden van supergekoeld water naar ijs: in beide gevallen bestaat het systeem uit watermoleculen, maar voor en na de fase-overgang gedraagt dat systeem zich heel anders. Iets vergelijkbaars, dat voor iedereen wel herkenbaar is, kan gebeuren bij spontane filevorming in het verkeer. In het geval van economie en samenleving geven data uit het recente verleden, zoals tijdreeksen van *ongerichte* indicatoren als inflatie of ongelijkheid, geen voorankondiging van een breuk, en dan is een dergelijke omslag pas zichtbaar als die al is gebeurd. Voor robuuste beleidsvorming is dat natuurlijk niet wenselijk. In aanvulling op de descriptieve statistieken is het daarom nodig om causale relaties in het systeem, die ook echt zijn geverifieerd, vast te leggen. In een complex systeem worden die causale relaties bepaald op het niveau van de interacties van individuele actoren, en moet de modellering daar dus ook rekening mee houden. Dat kan onder andere worden gedaan via de wiskunde van complexe netwerken (Newman, 2003), maar ook door 'agent-based modelling' (Arthur, 2009), (Farmer & Foley, 2009). Het ontwerpen van het juiste stelsel van metingen samen met bewezen causale verbanden, die gezamenlijk wel de huidige toestand van het systeem goed genoeg weergeven om bijvoor-

'Van complexe systemen is het bekend dat ze schijnbaar in evenwicht lijken te zijn en toch heel plotseling een grote verandering kunnen ondergaan'

beeld naderende omslagpunten te herkennen, is dus veel inniger verweven. Internationaal staat bijvoorbeeld het Santa Fe Instituut (SFI) bekend om interdisciplinair onderzoek naar complexe systemen en maatschappij en emergent systeemgedrag, zoals bijvoorbeeld vermogensongelijkheid (Santa Fe Institute, 2022).

De hoeveelheid data die er in Nederland beschikbaar is over economie en maatschappij, is indrukwekkend. De rijkdom die daarin besloten is, is echter niet de hoeveelheid aan data zelf, maar hoe de informatie die verborgen is in die data wordt ingezet. Dat houdt in dat de samenwerking tussen bijvoorbeeld het CBS en de diverse planbureaus wenselijk is, en ook dat er bij al deze instituties een investering in kennis nodig is over het gebruik van modelleringstechnieken voor complexe systemen. Bij de planbureaus is het doel om deze nieuwe generatie van modellen te gebruiken voor het doorrekenen van scenario's, en bij het CBS om dergelijke modellen voorafgaand aan gebruik te toetsen: te verifiëren en calibreren.

Van systeemkennis naar beleid

Planbureaus en rekenkamers hebben gemeen dat ze uiteindelijk niet beleidsmakend, maar beleidsadvisevend zijn. Van beleidsmakers kan wellicht niet verwacht worden dat ze in detail bekend zijn met de wiskunde van complexe systemen. Echter, een belangrijke eigenschap van complexe systemen die volgt uit die wiskunde, is dat de overlap klein is tussen de klasse van meest effectieve interventies voor het bewerkstelligen van gewenste systeemveranderingen bij complexe systemen, en de klasse van door publieke opinie gedreven, daadkrachtig lijkende grote gebaren en forse ingrepen. Een formele operationele definitie van het onderscheid tussen forse en bescheiden ingrepen wordt hier achterwege gelaten. In de praktijk zal het modelsimulaties vereisen om dat onderscheid te kunnen maken.

Om even terug te grijpen op de analogie aan het begin van dit stuk: het beheerst tegensturen is vooral bedoeld voor de bestuurder om zichzelf de tijd te gunnen de

feedback te voelen van het weggedrag van het voertuig en de eigen actie te kunnen bijstellen. Openbaar bestuur gaat over een complex systeem waarvan de feedback nog minder eenduidig is, en waarvoor het dus nog belangrijker is om door middel van meerdere bescheiden interventies, gecombineerd met zorgvuldig verzamelen van goed gekozen feedbackinformatie, de systeemrespons in kaart te brengen. Systeemkennis is nodig om te bepalen welke indicatoren juist die feedback opleveren die nodig is om de best mogelijke onderbouwde keuzes te maken. Wanneer er forse maatregelen genomen worden, is de kans veel groter dat het maatschappelijk of economische systeem vanwege de interventie een faseovergang doorloopt. Na zo'n faseovergang is alle eerder verzamelde kennis over dat systeem nagenoeg nutteloos geworden, en dat draagt dus niet bij tot robuust bestuur. Omgekeerd is het ook zo dat een grote maatschappelijke of economische omwenteling niet noodzakelijkerwijs een externe oorzaak heeft. Complexe systemen ondergaan zulke transities ook spontaan, dus een vrees voor omwentelingen is geen rechtvaardiging om ieder soort van overheidsinterventie te vermijden.

Het probleem dat Von Mises signaleerde zal gekleurd zijn door het soort grote overheidsingrepen dat hij zelf heeft kunnen observeren. Een systeem als de economie of de samenleving verkeert echter niet permanent in een fragiele toestand waarin ieder ingrijpen een faseovergang teweegbrengt en daarmee een onbekende en dus onbestuurbare nieuwe systeemtoestand veroorzaakt. De klasse van bescheiden interventies is dus niet leeg, en de strategie om bescheiden beleidsinterventies na hun implementatie ook lopend te evalueren om systeemkennis op te bouwen, heeft kans van slagen. De bestuursaanpak, om van het complexe systeem van onze maatschappij continu feedback op te halen, is moeilijk te verenigen met slechts één keer per jaar op Verantwoordingsdag een debat organiseren. Nu ligt daarbij ook de nadruk wat eenzijdig op de financiële aspecten van beleidseffectiviteit, hoe belangrijk het werk van de Algemene Rekenkamer ook is.

De taak van de verscheidene planbureaus (CPB, SCP en PBL) is vooral om vooruit te kijken en te plannen, zoals de naam al suggereert, en is niet noodzakelijkerwijs

gericht op evaluaties. Juist die feedback, een oordeel vormen over het al gevoerde beleid en die inzichten over de systeemrespons inzetten om nieuwe beleidskeuzes beter te onderbouwen, kan nog beter ingebed worden in de bestuursstructuur van Nederland.

De Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid (WRR), die dit jaar vijftig jaar bestaat, heeft een volledige staf van minder dan vijftig personen, inclusief de raadsleden zelf. Hoewel beargumenteerd kan worden dat de WRR bij uitstek geschikt zou zijn om veel meer bestuursevaluaties uit te voeren, naast de nu al zeer brede onderzoeken die de Raad uitvoert of laat uitvoeren (zie bijvoorbeeld Prins 2022), lijkt het onwaarschijnlijk dat men hiervoor zelf de capaciteit heeft. Binnen Nederland bestaat er ook een tegenhanger van het SFI, namelijk het Institute of Advanced Study (IAS) van de UvA, dat zich onder andere ook met de samenleving als sociaal dynamisch systeem bezighoudt (Institute of Advanced Study, 2022). Het CBS en het IAS werken al enkele jaren samen, precies met het doel om de werking van de economie en de samenleving als systemen, specifiek in de Nederlandse context, beter te begrijpen en beter te meten. Het lijkt wenselijk dat de kennis over emergent gedrag van deze systemen ook ten dienste wordt gesteld aan bijvoorbeeld de WRR, en natuurlijk aan de planbureaus. In samenwerking kan de noodzakelijke feedback over het *systeem NL* structureel teruggekoppeld wordt aan beleidsmakers, bij voorkeur met een veel grotere regelmaat dan eens per jaar. De hoop is dat hierdoor onder andere de SDG's beter voorspelbaar binnen bereik komen. De bedoeling voor bestuurders en beleidsmakers is om al van tevoren een veel zuiverder beeld te krijgen van het effect dat een voorgenomen maatregel, wetgeving, subsidie, belastingheffing et cetera waarschijnlijk gaat hebben, inclusief de indirecte, onbedoelde effecten. Zolang de simulatiekennis wordt gebruikt om bijvoorbeeld van bepaalde mogelijke keuzes af te zien, zou dat uiteinde-

lijk tot minder reparatiewetgeving kunnen leiden, of minder noodzaak voor compensaties voor onbedoeld toegebrachte schade. Ten slotte; voor het completeren van een feedbacklus is het belangrijk dat beleidsmakers ook echt reflecteren op hun eigen voorkeuren en keuzes in het licht van dergelijke evaluaties en bereid zijn die keuzes te wijzigen. «

Bronnen

- Monitor Brede Welvaart 2022, CBS, <https://www.cbs.nl/nl-nl/publicatie/2022/20/monitor-brede-welvaart>.
- Dynamics of Wealth Inequality, SFI, <https://www.santafe.edu/research/projects/dynamics-wealth-inequality>.
- Dynamical Social Systems, IAS, <https://ias.uva.nl/research/dynamical-social-systems/about.html>.
- Arthur, W.B. (2009). *Handbook of Research on Complexity* (Chapter 2: Complexity and the Economy), Edward Elgar Publishing.
- Dekker M.M., Coffeng, L.E., Pijpers, F.P., Panja, D., de Vlas, S.J. (2022, preprint). 'Reducing societal impacts of SARS-CoV-2 interventions through subnational implementation' <https://doi.org/10.1101/2022.03.31.22273222>.
- Farmer, J. D., Foley, D. (2009). 'The economy needs agent-based modelling'. *Nature*, 460, 685-686 <https://doi.org/10.1038/460685a>.
- Farmer, J.D., Hepburn, C., Ives, M.C., Hale, T., Wetzler, T., Mealy, P., Rafaty, R., Srivastav, S., Way, R. (2019). 'Sensitive intervention points in the post-carbon transition', *Science*, 364 (6436), 132-134 <https://doi.org/10.1126/science.aaw7287>.
- Newman, M.E.J. (2003). 'The Structure and Function of Complex Networks'. *SIAM Review*, 45, 167-256. <https://doi.org/10.1137/S003614450342480>.
- Pijpers, F. P. (2021). 'A non-parametric method for determining epidemiological reproduction numbers'. *Journal of Mathematical Biology*, 82(5) <https://doi.org/10.1007/s00285-021-01590-6>.
- Prins, C., (2022). Lezing verantwoordingsdag 18 Mei 2022, Wetenschappelijke Raad voor Regeringsbeleid <https://www.wrr.nl/>
- Tàbara, J. D., Della Santina, C., Zaman, R., Ismail, C., Takama, T. (2022). 'On the discovery and enactment of positive socio-ecological tipping points', *Sustainability Science*, 17 (2), 565-571 <https://doi.org/10.1007/s11625-021-01050-6>.