



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Dissemination models: applications in epidemiology, rumour spreading, wealth distribution, and opinion formation

Chan, K.M.D.

Citation

Chan, K. M. D. (2026, September 16). *Dissemination models: applications in epidemiology, rumour spreading, wealth distribution, and opinion formation*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/4309746>

Version: Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/4309746>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Samenvatting

Disseminatie modellen: toepassingen in epidemiologie, geruchtenverspreiding, vermogensverdeling en opinievorming

Over de afgelopen eeuw zijn samenlevingen steeds sterker met elkaar verbonden geraakt. Dat heeft grote voordelen opgeleverd, zoals online communicatie en goedkoop vervoer over zee en door de lucht. Tegelijkertijd brengt die verbondenheid ook risico's met zich mee: virussen en desinformatie kunnen zich sneller verspreiden, waardoor epidemieën kunnen verergeren en polarisatie kan toenemen. Om zulke dynamiek te kunnen voorspellen en effectieve interventies te ontwerpen, is inzicht nodig in de mechanismen achter deze verspreidingsprocessen. Dit proefschrift levert een bijdrage hieraan met wiskundige modellering. Daarbij onderzoeken we hoe interactieregels op individueel niveau en de structuur van de populatie zich vertalen naar uitkomsten op populatieniveau.

In dit proefschrift bestuderen we verspreidingsmodellen in de epidemiologie, geruchtenverspreiding, vermogensverdeling en opinievorming, met bijzondere aandacht voor lange-termijngedrag en kwalitatieve regimes. In deze contexten onderzoeken we wanneer groot-schalige verspreiding optreedt, welke vormen van langetermijndynamiek mogelijk zijn (bijvoorbeeld uitsterven, co-existentie en oscillaties), en hoe modelaannames, zoals interactiestructuur, heterogeniteit en de definitie van de te verspreiden grootte, de uitkomsten op populatieniveau beïnvloeden. We beantwoorden deze vragen met een combinatie van methoden uit de dynamische-systeemtheorie, matrix- en spectrale analyse en technieken uit de Markov-proceestheorie, waar nodig aangevuld met numerieke berekeningen.

In Hoofdstuk 2 formuleren we een algemene klasse van deterministische compartimentmodellen, waarin de mogelijke toestandsovergangen vrij gekozen kunnen worden en de overgangssnelheden mogen afhangen van de omvang van de andere toestanden. Deze opzet brengt klassieke modellen uit de epidemiologie (SIR) en de geruchtenverspreiding (Daley-Kendall/Maki-Thompson), evenals hun compartimentele uitbreidingen, onder in één uniform raamwerk. Daardoor zijn onze theoretische resultaten direct toepasbaar op een breed scala aan modellen. We tonen aan dat de modellen asymptotisch stabiel zijn zodra de overangsgraaf acyclisch is, dat wil zeggen wanneer de overgangen een duidelijke richting hebben. Onder deze aanname, aangevuld met een zwakkere dan acycliciteit voorwaarde op de bijbehorende afhankelijkheidsgraaf (die vastlegt welke contacten welke overgangen aandrijven), leiden we een classificatieregel af. Met deze regel is iteratief te bepalen welke toestanden op de lange termijn verdwijnen en welke niet. De classificatie suggereert bovendien dat verdwijnende toestanden exponentieel afnemen. Wanneer de

aannames worden geschonden, laten we zien dat de afname trager dan exponentieel kan zijn en dat de regel niet hoeft te gelden.

In Hoofdstuk 3 introduceren we, geïnspireerd door dynamiek in vermogensverdeling, een algemeen stochastisch verspreidingsmodel dat ook toepasbaar is in andere contexten, zoals opinievorming en bestandsopslag. Het model wordt gestuurd door twee typen mechanismen: (i) eenheden van vermogen stromen van buitenaf naar individuen toe, en (ii) eenheden van vermogen worden tussen individuen herverdeeld. Om veranderende externe omstandigheden te beschrijven, laten we het achtergrondregime Markov-gemoduleerd zijn. Ondanks deze algemene opzet tonen we aan dat de tijdsafhankelijke gezamenlijke kansgenererende functie voldoet aan een systeem van gekoppelde differentiaalvergelijkingen. Voor de gemiddelden en (co-)varianties vereenvoudigt dit systeem bovendien tot *lineaire* differentiaalvergelijkingen. Aan de hand van voorbeelden uit vermogensverdeling, opinievorming en bestandsopslagsystemen laten we zien hoe deze vergelijkingen een analytische beschrijving van de dynamiek opleveren, die we vervolgens met numerieke berekeningen valideren.

In Hoofdstuk 4 bestuderen we SIR-modellen met groepsstructuur. Daarbij interpreteren we de groepen als leeftijdsklassen, maar het raamwerk is ook toepasbaar op andere indelingen, bijvoorbeeld naar beroep, gedrag of geografie. Hoewel groepsgestructureerde SIR-modellen uitgebreid zijn onderzocht, richten wij ons op een specifieke koppeling tussen individueel en populatieniveau: hoe passen contactstructuren zich aan op veranderingen in de populatiestructuur, zoals vergrijzing, en wat betekent dat voor de ernst van de epidemie? Om deze vraag te beantwoorden stellen we een familie van relaties voor tussen populatiestructuur en interactiestructuur, doorgaans onder de aanname van wederkerige contacten. Voor de meeste relaties leiden we analytische gevoeligheidsresultaten af die veranderingen in populatiestructuur verbinden met kwalitatieve veranderingen in het basisreproductiegetal en de uiteindelijke omvang van de uitbraak. In het bijzonder tonen we, onder de aanname dat ouderen hun aantal contacten aanpassen aan de contactcapaciteit van jongere familieleden en zorgprofessionals, dat vergrijzing leidt tot minder ernstige epidemische uitbraken.

In het laatste hoofdstuk, Hoofdstuk 5, onderzoeken we de gevolgen van het definiëren van opinie *in relatie tot* de populatie. Deze keuze wordt gemotiveerd door de observatie dat de betekenis van links georiënteerd verandert wanneer de populatie geen rechts georiënteerde individuen bevat. Vanuit die gedachte bestuderen we *relatieve* opinies in het klassieke DeGroot-model en generaliseren we het (in lijn met Altafini) zodat individuen elkaars opinies kunnen afstoten of aantrekken. Dergelijke modellen leiden op de lange termijn doorgaans tot consensusvorming en kunnen, onder aanvullende aanpassingen zoals het begrenzen van de opinieruimte, polarisatie vertonen. Wij laten zien dat polarisatie ook kan ontstaan wanneer uitsluitend een relatieve opvatting van opinies wordt ingevoerd, en dat ook langetermijnoscellaties mogelijk worden. Tegelijkertijd blijft het model analytisch hanteerbaar: het gebruikelijke instrumentarium van matrix- en spectrale methoden blijft op deze modelopzet van toepassing. Voor zover wij weten is deze combinatie van langetermijngedragingen, polarisatie, consensusvorming en oscillaties, samen met deze mate van analytische tractabiliteit niet eerder beschreven.

Alles bij elkaar laat dit proefschrift zien dat het langetermijngedrag van verspreidingsprocessen sterk gevoelig kan zijn voor details op individueel niveau. Over verschillende toepassingsgebieden heen tonen we aan dat veranderingen in interactiestructuur, populatie-

heterogeniteit of de definitie van het diffusieobject kunnen leiden tot kwalitatief verschillend gedrag. De kernboodschap is dat contextspecifieke aannames geen technische bijzaak zijn, maar vaak doorslaggevend voor de uitkomsten op populatieniveau.