

# De energietransitie door een complexiteitsbril

Peter M.A. Sloot, Roland Kupers en Bob van der Zwaan

Institute for Advanced Study, Universiteit van Amsterdam

Amsterdam, september 2019

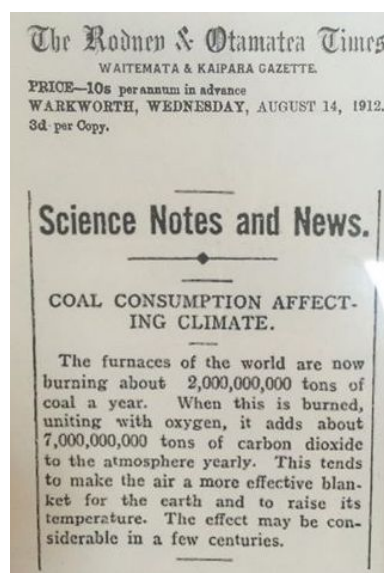
## Klimaatverandering is al een oud verhaal

Ruim een eeuw geleden, in maart 1912, verscheen in het tijdschrift *Popular Mechanics* een opmerkelijk artikel van Francis Molena over het effect van de verbranding van steenkool op het klimaat. In datzelfde jaar stond in de *Rodney and Otamatea Times*, *Waitemata and Kaipara Gazette* uit Nieuw-Zeeland de kop: 'Coal Consumption Affecting Climate'. Dit waren enkele van de eerste publieke berichtgevingen over de ingewikkelde koppeling tussen mensen en natuurlijke systemen.

Een belangrijk verschil met andere milieukwesties, zoals het gat in de ozonlaag of de vervuiling van de Europese rivieren in de twintigste eeuw, is dat mitigatie van klimaatverandering aan veel meer maatschappelijke en economische systemen raakt. Voor het gat in de ozonlaag waren ingrepen nodig in slechts enkele, relatief geïsoleerde, industrieën. Mitigatie van klimaatverandering betreft daarentegen veel meer systemen, die op hun beurt ook nog eens sterk met elkaar verbonden zijn, zoals de bouw, landbouw, maatschappelijke normen, IT, energie, transport, consumptie, etc.

Het goede nieuws is echter dat we de afgelopen decennia opmerkelijke vooruitgang hebben geboekt in het begrijpen van de dynamiek van zulke sterk verbonden systemen. Het onderzoeksgebied dat dergelijke dynamiek bestudeert wordt tegenwoordig aangeduid met 'complexiteitswetenschap', naar het woord *plexus*, dat 'gevlochten' betekent. Complexiteit gaat over vervlochten of onderling verbonden systemen. Deze systemen vertonen eindeloos veel verschillende vormen van orde, wanorde, zelforganisatie, zelfvernietiging en kantelpunten. Het begrijpen van complexiteit is een van de grootste wetenschappelijke uitdagingen van onze tijd. De afgelopen jaren hebben Nederlandse wetenschappelijke instellingen, zoals het [Institute for Advanced Study](#) aan de UvA in Amsterdam, in hoog tempo hun kennis en inzicht op het gebied van complexiteit vergroot.

De uitdaging waar we voor staan is duidelijk en er heerst een hoge mate van consensus: zoals vastgelegd in het Akkoord van Parijs moeten we in 2050 een netto CO<sub>2</sub>-uitstoot van nul realiseren om twee derde kans te hebben om het doel van maximaal 1,5 °C gemiddelde temperatuurstijging ten opzichte van het pre-industriële tijdperk te bereiken [IPCC 2018]. Daarom moet ons wereldwijde energiesysteem, dat tot nu toe grotendeels gebaseerd was op de verbranding van CO<sub>2</sub>-uitstotende fossiele brandstoffen, een fundamentele transformatie ondergaan. In Nederland wordt dit wel de 'energietransitie' genoemd.



De term 'energietransitie' kan in veel opzichten misleidend zijn, omdat deze suggereert dat alleen het energiesysteem moet worden veranderd. Termen zoals *Green New Deal* in de VS, of de Chinese visie van een 'ecologische beschaving', of de Europese *Green Deal*, geven een beter beeld van het systemische karakter van de uitdaging. Deze termen impliceren dat het probleem veel breder is dan alleen het veranderen van het energiesysteem en geven een signaal aan de samenleving dat veel meer systemen er gevolgen van zullen ondervinden. Klimaatactivisten beseffen dit intuïtief wanneer ze oproepen tot "[Systeemverandering in plaats van klimaatverandering](#)". Maar hoe vertalen we zulke slogans naar beleid?

In Nederland liggen de grootste uitdagingen voor de energietransitie in stedelijke gebieden. Terwijl de natuur directe energie uit de zon haalt, deze in leven omzet, de aarde afkoelt, water reinigt, CO<sub>2</sub> absorbeert en zuurstof afgeeft, doen steden het omgekeerde. We zijn veranderd van plattelandsbewoners die 300 watt verbruikten in gulzige stadsbewoners die 11.000 watt vreten. Wereldwijd wonen nu meer mensen *in* de stad dan *erbuiten* [UN 2007; Pop 2007]. Dit heeft gevolgen voor alle aspecten van het leven. Van fysieke en biologische, tot sociologische, psychologische en politieke aspecten: alles is met elkaar verweven, alles wordt door alles beïnvloed. Juist door de wisselwerking tussen al deze componenten is de energietransitie een echt complex probleem. Als we bij de uitdaging van de energietransitie niet verder kijken dan de afzonderlijke delen, dan zien we juist de belangrijkste aspecten over het hoofd. We hebben een integrale, allesomvattende aanpak nodig.

### **De urgentie van het probleem**

Haast is geboden, want door de geopolitieke situatie verandert onze manier van leven in hoog tempo. China bijvoorbeeld dringt met zijn Belt and Road Initiative, ook wel de Nieuwe Zijderoute genoemd, snel door in onze maatschappelijke, economische en energie-infrastructuur. China heeft zijn transformatie tot een van de grootste economische, technologische, politieke en misschien zelfs culturele grootmachten ter wereld bijna voltooid en andere regio's gaan waarschijnlijk volgen. Over een paar jaar heeft India de meeste inwoners ter wereld. Momenteel groeit de economie van dat land in een tempo dat vergelijkbaar is met dat van de Chinese economie in de afgelopen decennia. Daardoor zal India waarschijnlijk binnen een of twee decennia uitgroeien tot een wereldspeler in economisch, politiek en strategisch opzicht. Ook Afrika is de afgelopen jaren begonnen met cruciale sociaaleconomische veranderingen. Niet alleen wat bijvoorbeeld demografie en economie betreft, maar ook op het gebied van energie. In 2050 of eerder kunnen klimaat en milieu niet meer buiten beschouwing worden gelaten wanneer we naar de mondiale machtsverhoudingen kijken [Van der Zwaan 2018]. Al deze ontwikkelingen hebben belangrijke gevolgen voor de wereldwijde energietransitie.

Van sommige aspecten weten we zeker dat ze een rol zullen spelen in de vereiste energietransitie tot 2050, met name de grootschalige toepassing van hernieuwbare technologieën zoals bio-, zonne- en windenergie [IPCC 2014; IEA 2018; IRENA 2018; IPCC 2018]. Strategieën hiervoor moeten nog verder worden uitgewerkt. We moeten bijvoorbeeld uitzoeken hoe we precies de uitstoot van broeikasgassen door de industrie gaan elimineren, of elektrificatie voldoende is om het wegvervoer emissievrij te maken, en met welke middelen we de luchtvaart en de scheepvaart kunnen decarboniseren. Nog een grotere uitdaging wordt het om oplossingen te vinden voor het probleem dat er na (of misschien zelfs al voor) 2050 een aanzienlijke netto *negatieve* CO<sub>2</sub>-uitstoot moet worden gerealiseerd als we de ambitie willen waarmaken om de atmosfeer met hoogstens 1,5°C te laten stijgen [Detz 2019]. Een netto negatieve CO<sub>2</sub>-balans betekent

dat de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die jaarlijks aan de atmosfeer wordt onttrokken, groter is dan de hoeveelheid die de mens er jaarlijks aan toevoegt.

### **Wat is er anders aan een aanpak vanuit de complexiteitswetenschap?**

Complexe systemen hebben *emergente eigenschappen*. Dit zijn collectieve eigenschappen op systeemniveau, die niet alleen bepaald worden door de individuele componenten van het systeem, maar ook door de collectieve structuur en dynamiek ervan. Een bekend voorbeeld is het ontstaan van spookfiles: ondanks voldoende capaciteit op de weg zorgen de onderlinge verbindingen tussen de individuele bestuurders voor een opstopping. Deze lijkt spontaan en willekeurig, maar kan worden gemodelleerd, begrepen en gemitigeerd. Een ander voorbeeld betreft zwaarlijvigheid: complexiteitswetenschappers hebben vastgesteld dat dit grotendeels een netwerkfenomeen is en niet enkel een optelsom van individuen die te veel eten en te weinig bewegen [Christakis, 2007]. Dit impliceert een heel andere benadering: het klassieke beleid dat gericht is op individueel gedrag maakt plaats voor interventiebeleid dat als doel heeft om de structuur van het beïnvloedingsnetwerk te veranderen.

Meer in het algemeen zijn we bij klimaatbeleid geïnteresseerd in het veranderen van de emergente eigenschappen van sociaaleconomische systemen. Hiervoor moeten we eerst begrijpen hoe deze emergentie optreedt en hoe deze kan worden beïnvloed. Door middel van parallelle experimenten kunnen we manieren vinden om mogelijke toekomstige toestanden te beoordelen op basis van verschillende interventie-hypothesen en kunnen we methoden vinden om succesvolle interventies te vertalen naar adaptief beleid.

Complexe systemen gedragen zich in hoge mate *niet-lineair*. Een van de fundamentele gevolgen van ingrijpen in complexe systemen is dat het systeem zich onmiddellijk of met vertraging zal aanpassen aan de interventie en dat het resultaat soms een totaal onvoorspelbare en ongewenste richting uit gaat. Denk aan de discussies over het verminderen van aardgasverbruik, waardoor steenkoolmijnbouw juist een nieuwe impuls zou kunnen krijgen. De belangrijkste reden voor dit onvoorspelbare gedrag is dat we te maken hebben met een reeks onderling verweven infrastructurele, maatschappelijke, sociale en politieke netwerken die op niet-lineaire ruimte- en tijdschalen opereren. In de complexiteitswetenschap worden dergelijke systemen bestudeerd door de dynamiek te kwantificeren van de processen die werken *op* de netwerken en van de structurele veranderingen *van* de onderliggende netwerken [Sloot 2013].

Terwijl traditionele wetenschappelijke reductionistische methodes de eliminatie van *onzekerheid* centraal stellen, herdefinieert de complexiteitswetenschap het domein van complexe dynamische probleemoplossing als 'besluitvorming bij irreducibele onzekerheid'. De gedachte dat meer data de onzekerheid zullen verminderen, geldt niet voor complexe systemen. Meer data betekent vaak meer uitzonderingen en meer ruis. Dit moet niet worden gezien als een pleidooi voor het negeren van data, integendeel, maar deze kunnen alleen worden geïnterpreteerd door een hypothese te toetsen die de causale structuur van de data weergeeft. De data zelf geven geen antwoord. Bovendien verspreiden micro-willekeurige effecten zich in complexe systemen; deze effecten worden versterkt tot macroniveau en maken het systeem inherent onzeker. Maar dat betekent niet dat we niets weten. Complexiteitswetenschap beschouwt systemen zoals ze zijn en brengt aan het licht wat er bekend is over hun dynamica.

In tegenstelling tot de meer traditionele twintigste-eeuwse methodes van academisch onderzoek en reductionisme heeft de complexiteitswetenschap aanzienlijke vooruitgang geboekt in het begrijpen van enkele van de meest urgente problemen en complexe vraagstukken ter wereld. Bijvoorbeeld door met behulp van een Bayesiaanse aanpak te doorgronden wat een situatie beheersbaar maakt, of controleerbaar lijkt te maken voor een probleemoplosser en welke cognitieve, maatschappelijke en psychologische factoren op de situatie van toepassing zijn [OECD 2017].

## **Enkele illustraties**

### **Gebruikmaken van netwerkdynamiek**

Onze kennis over het gedrag van netwerken is aanzienlijk verbeterd en dat kan helpen bij het maken van beleidsbeslissingen. Zo is de spreiding van de aanschaf van zonnepanelen goed gedocumenteerd als netwerkverschijnsel, maar alleen specifieke kennis van de structuur van het netwerk binnen bepaalde Nederlandse regio's en bevolkingsgroepen kan de weg wijzen naar een versnelling van de netwerkeffecten.

Netwerken ontwikkelen zich in de loop van de tijd en tonen een opmerkelijke robuustheid en veerkracht bij interventies. Voorbeelden zijn eiwit-eiwitnetwerken [Van Dijk 2010], slijmzwamnetwerken [Adamatsky 2013], fylogenetisch-sociale netwerken [Zarrabi 2013], seksuele netwerken [Mei 2011] en criminele netwerken [Duijn 2015]. Deze robuustheid en veerkracht worden vaak gerealiseerd door dynamische aanpassingen van de netwerktopologie en door gedrags- en functionele veranderingen van de verbindingen en knooppunten. De dynamiek *op* en *van* het netwerk kan voortkomen uit verschillende oorzaken en leidt tot specifieke soorten gedrag. Een belangrijk aspect is veerkracht ten opzichte van onzekerheid en ruis. Zo is bijvoorbeeld aangetoond dat stochastische resonantie in de aanwezigheid van ruis de informatieoverdracht in hiërarchische complexe sociale netwerken juist kan verbeteren [Czaplicka 2013]. Het lijkt waarschijnlijk dat veerkracht in complexe netwerken is voortgekomen uit 'evolutionaire' aanpassingen, maar daar is weinig over bekend. Veerkracht van complexe systemen is een relatief onontgonnen onderzoeksgebied.

Recent onderzoek heeft aangetoond dat de meest effectieve manier om de uitkomst van een interventie in dergelijke netwerken te beïnvloeden niet is om de sterkst verbonden knooppunten aan te pakken (hubs: zoals influencers in sociale netwerken, leiders in criminele netwerken, of sterk verbonden virusverspreiders in seksuele netwerken), maar juist de tussenliggende knooppunten, de 'Goudlokjes', van het systeem [Quax 2013]. Maar zelfs dan blijft de reactie van het systeem op de lange termijn grotendeels onvoorspelbaar. Wat nodig is, zijn kleine interventies op tussenliggende knooppunten, gevolgd door een intensieve monitoring van de resultaten, die op hun beurt leiden tot nieuwe interventies. Op die manier kunnen we het systeem iteratief naar de vereiste toestand bijsturen.

Om de energietransitie tot een succes te maken zou men bijvoorbeeld kunnen beginnen met het opleggen van veranderingen in kleine en middelgrote ondernemingen, in plaats van het uitrollen van transitie strategieën bij grote industriële bedrijven. Door de neveneffecten van interventies zorgvuldig te monitoren kunnen we leren hoe het totale verweven systeem reageert en hoe we het resultaat op de gewenste manier kunnen sturen.

Complexiteitswetenschap kan ook een rol spelen in het onderzoek naar hoe een steeds heterogener en decentraler energieaanbod optimaal kan inspelen op de fluctuerende gedistribueerde energievraag en in het bepalen van de evolutie van de energieprijzen in

een complex netwerk van entiteiten die zowel energiediensten produceren als verbruiken (zogenaamde ‘prosumenten’).

### **De evolutie van maatschappelijke normen**

Uit onderzoek weten we dat maatschappelijke normen zich door netwerken verspreiden en evolueren. De energietransitie vereist dat de huidige maatschappelijke normen in veel opzichten veranderen, zoals de vermindering van de vleesconsumptie, het intomen van vliegwenen en veel andere aspecten van consumentenkeuze. Het is in een open samenleving simpelweg niet realistisch om te denken dat we deze normen kunnen veranderen door middel van top-down overheidsinterventies. Inzicht in de manier waarop maatschappelijke normen veranderen en zich verspreiden is essentieel om de opkomst van andere maatschappelijke normen te stimuleren. Dit is een effectievere aanpak dan proberen elk individu te veranderen [Kupers, 2020].

### **De economische impact van klimaatbeleid**

Macro-economie is zeer geschikt voor evenwichtssystemen, of kleine afwijkingen daarvan, maar minder voor niet-lineaire verandering zoals een financiële crisis, of bij de vraag wat er nu eigenlijk nodig is in de beheersing van de klimaatcrisis. Complexe systemen zijn zeker geen evenwichtssystemen. De macro-economische prognoses van op DSAE (Dynamisch Stochastisch Algemeen-Evenwichtsmodellering) gebaseerde beleidsmodellen zoals GEM-E3 benaderen de groei- en werkgelegenheidseffecten van het klimaatbeleid waarschijnlijk niet eens goed [Jaeger 2011]. Een complexiteitswetenschappelijke aanpak gebruikt vele soorten multischaalmodellen, die verschillen van en een aanvulling vormen op de lineaire regressiemodellen die gewoonlijk worden gebruikt om beleidsmakers te informeren over mogelijke scenario's voor energiegebruik en klimaatbeheer [IPCC 2014; IPCC 2018].

Nieuwe ontwikkelingen zoals metrieken van economisch aanpassingsvermogen hebben de potentie om tot prognoses van de economische groei in veranderende economische systemen te komen [Cristelli 2017]. Deze algoritmes kwantificeren de padafhankelijkheid die is ingebed in het netwerk van producten (en diensten) dat een land produceert. Dit leidt tot een geloofwaardige prognose van de probabilistische bandbreedte van economische groei, gebaseerd op de unieke structuur van het onderliggende netwerk. Deze methoden kunnen gemakkelijk worden uitgebreid met nauwkeurigere milieu-indicatoren, voortbouwend op het werk van [Sbardella 2019].

Voor het verkrijgen van politieke steun is het van essentieel belang om de groei- en werkgelegenheidseffecten (en de onzekerheden daarvan) van het klimaatbeleid te kunnen beschrijven. Het is niet verstandig om modellen te blijven gebruiken waarvan bekend is dat ze incompatibel zijn met het probleem [Stern 2016].

### **Het energiesysteem veranderen door andere systemen te veranderen**

Het kan vreselijk misleidend zijn om verschijnselen toe te schrijven aan lineaire causaliteit. Wanneer systemen onderling verbonden zijn, rijst dan ook de vraag hoe veranderingen in het ene systeem van invloed kunnen zijn op het andere. Bij klimaatbeleid gaat dit om de vraag welke veranderingen in aanpalende systemen de uitstoot van broeikasgassen door het energiesysteem kunnen verminderen.

Het is duidelijk dat wanneer we mogelijk beleid bekijken door een complexiteitsbril, we tot plausibele oplossingen kunnen komen die anders niet overwogen zouden worden [Colander 2014]. Een vroege verkenning wordt beschreven in het rapport ‘Wie is de Wolf? Een systeemblik op de Nederlandse energietransitie’ [Kupers 2015], waarin

bijvoorbeeld zelfrijdende voertuigen worden beschouwd als oplossing van een klimaatprobleem in plaats van als oplossing van een vervoersprobleem. Dit is een visie die een minder starre omgang met maatschappelijke normen en stedenbouwkundig ontwerp mogelijk kan maken.

## **Conclusie**

Het lijkt erop dat de waarschuwingen van Francis Molena uit 1912 de spijker op de kop sloegen, al waren ze wel veel te optimistisch: we beïnvloeden het klimaat niet in een paar eeuwen, maar op een schaal van slechts tientallen jaren. In dit essay stellen we dat we, om antwoord te kunnen geven op een aantal fundamentele vragen die aan de orde komen bij de benodigde energietransitie, de meer conventionele benaderingen moeten aanvullen met complexiteitsonderzoek, waarbij alle wetenschapsgebieden betrokken zijn. Gezamenlijk kunnen deze verschillende gebieden bijdragen aan het oplossen van een van de grootste uitdagingen waar de mensheid in de 21<sup>e</sup> eeuw voor staat: mitigatie van klimaatverandering. We kunnen het ons niet veroorloven om bij de uitdaging van de energietransitie de lessen van de complexiteitswetenschap te negeren.

## **References**

- [Adamatzky 2013]: Adamatzky, M. Lees, and P.M.A. Sloot. *Bio-development of motorway networks in the Netherlands: a slime mould approach*. *Advances in Complex Systems* 16(02n03), 1250034.
- [Christakis 2007]: Christakis, Nicholas A. 2007. *The Spread of Obesity in a Large Social Network over 32 Years*. *N Engl J Med*, 10.
- [Colander 2014] Colander, David, and Roland Kupers. *Complexity and the Art of Public Policy: Solving Society's Problems from the Bottom Up*. Princeton University Press. 2014.
- [Cristelli 2017]: Cristelli, Matthieu Claudio Ascagne; Tacchella, Andrea; Cader, Masud Z.; Roster, Kirstin Ingrid; Pietronero, Luciano. 2017. *On the predictability of growth (English)*. Policy Research working paper; no. WPS 8117. Washington, D.C.: World Bank Group.  
<http://documents.worldbank.org/curated/en/632611498503242103/On-the-predictability-of-growth>
- [Czaplicka 2013]: A. Czaplicka, J.A. Holyst, P.M.A. Sloot, *Noise enhances information transfer in hierarchical networks*. *Nature Science Reports Scientific Reports* 3, Article number: 1223doi: 10.1038/srep01223, Feb. (2013)
- [Detz 2019]: Detz, R.J. and B.C.C. van der Zwaan, *Transitioning Towards Negative CO<sub>2</sub> Emissions*, *Energy Policy*, 133, 2019, 110938, 1-4.
- [van Dijk 2010]: D. van Dijk, G. Ertaylan, C. A. B. Boucher, and P. M. A. Sloot. *Identifying potential survival strategies of HIV-1 through virus-host protein interaction networks*. *BMC Systems Biology* 4, p. 96.
- [Duijn 2015]: P. A. C. Duijn and P. M. A. Sloot. *From Data to Disruption*. *Digital Investigation* 11, pp. 39-45.
- [IEA 2018]: International Energy Agency (IEA), OECD, *World Energy Outlook (WEO)*, Paris, France.
- [IPCC 2014]: *Climate Change Mitigation*, Fifth Assessment Report (AR5), Working Group III, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- [IPCC 2018]: *Special Report on Global Warming of 1.5°C*, Summary for Policymakers, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- [IRENA 2018]: *Global Energy Transformation - A roadmap to 2050*, International Renewable Energy Agency, Bonn / Abu Dhabi.
- [Jaeger 2011]: Jaeger, Carlo, Leonidas Paroussos, Diana Mangalagiu, Roland Kupers, Antoine Mandel, and Joan David Tabara. 2011. *A New Growth Path for Europe: Generating Prosperity and Jobs - Synthesis Report*. ISBN: 978-3-941663-09-1. Study commissioned by the German Federal Ministry for the Environment.
- [Kupers 2020]: Kupers, Roland. *A Climate Policy Revolution – What the Science of Complexity reveals about Saving the Planet*. Harvard University Press, forthcoming 2020.

- [Kupers 2015]: Kupers, Roland, Albert Faber, and Annemarth Idenburg. 2015. *Wie is de Wolf? Een systeemblik op de Nederlandse Energietransitie*. [http://rolandkupers.iutest.nl/wp-content/uploads/2015/11/Wie-is-de-Wolf\\_final.pdf](http://rolandkupers.iutest.nl/wp-content/uploads/2015/11/Wie-is-de-Wolf_final.pdf).
- [Mei 2011]: S. Mei, R. Quax, D.A.M.C. van de Vijver, Y. Zhu, P.M.A. Sloot, *Increasing risk behaviour can outweigh the benefits of antiretroviral drug treatment on the HIV incidence among men-having-sex-with-men in Amsterdam*, BMC Infectious Diseases, Vol. 11, 17 pages, doi: 10.1186/1471-2334-11-118, <http://www.biomedcentral.com/1471-2334/11/118>(2011)
- [OECD 2017], *Debate the Issues: Complexity and policy making*, OECD Insights, OECD Publishing, Paris, <http://dx.doi.org/10.1787/9789264271531-en>.
- [Pop 2007]: *World Population Highlights*, Population bulletin Vol 62, no 3, September 2007.
- [Quax 2013]: R. Quax, A. Apolloni, and P. M. A. Sloot. *The diminishing role of hubs in dynamical processes on complex networks*. Journal of the Royal Society Interface 10(88), 20130568.
- [Sbardella 2019]: Angelica Sbardella , François Perruchas , Lorenzo Napolitano , Nicolò Barbieri and Davide Consoli. *Green Technology Fitness*. Submitted to Entropy 2019.
- [Sloot 2013]: P. M. A. Sloot, G. Kampis, and L. Gulyás. *Advances in dynamic temporal networks: understanding the temporal dynamics of complex adaptive networks*. The European Physical Journal - Special Topics 222(6), pp. 1287-1293. (2013).
- [Stern, 2016]: Stern, Nicholas. 2016. *Economics: Current Climate Models Are Grossly Misleading*. Nature News 530 (7591).
- [UN 2007]: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, World Populations Prospects: *The 2006 Revision* (2007).
- [Zarrabi 2013]: N. Zarrabi, M. C. F. Prospero, R. G. Belleman, S. Di Giambenedetto, M. Fabbiani, A. De Luca, and P. M. A. Sloot. *Combining social and genetic networks to study HIV transmission in mixing risk groups*. The European Physical Journal - Special Topics 222(6), pp. 1377-1387.
- [van der Zwaan 2018]: van der Zwaan, B.C.C., T. Kober, F. Dalla Longa, A.J. van der Laan, G.J. Kramer, *An Integrated Assessment of Pathways for Low-Carbon Development in Africa*, Energy Policy, 117, 387-395.