

Aggregatie-dynamica: problemen en oplossingen beschouwd vanuit een veralgemeniseerde ecologie

Bas van Vlijmen

draft, versie:
17 januari 2023

Samenvatting

De ecologie bestudeert de verspreiding en mate van aanwezigheid van organismen en de interacties, onderling en met de omgeving, die deze verspreiding en mate van aanwezigheid bepalen. De aggregatie-dynamica kijkt ruimer en denkt in aggregaties. Aggregaties omvatten de organismen als voorheen maar ook gereedschappen, producten, organisaties en tijdelijke constellaties, zoals een voetbalstadion met spelers en publiek. Het wezenlijke punt is dat een verzameling materie als aggregatie telt als een al erkende aggregatie eenheid en betekenis eraan toekent.

De aggregatie-dynamica meent dat de acties van aggregaties weliswaar onvoorspelbaar zijn maar niet willekeurig. Ze worden sterk ingeperkt door de fysieke mogelijkheden van structuren en de beschikbare energie, informatie en denkracht. De situatie is vergelijkbaar met een spel waarvan de regels langzaam veranderen. De patronen volgens welke het spel zich kan ontwikkelen zijn op enig moment bij benadering bekend, welke zetten daadwerkelijk gekozen worden is niet aan te geven.

In dit stuk worden vanuit het aggregatie-dynamische gezichtspunt de menselijke noties van probleem en oplossing onderzocht in een essayistische stijl. De resultaten zijn drie hypothesen: de innovatie-illusie, de controle-illusie en de versmallende autonomieladder. Deze eerste drukt uit dat mensen niet innoveren: ze veranderen de wereld door herhaalde toepassing van bekende ingrepen. De tweede zegt dat mensen niet sturen maar worden geleefd door de nukken van hun materiaal- en energiebronnen en artefacten. De versmallende autonomieladder drukt uit dat opwaarts in een voedselpiramide de afhankelijkheid toeneemt en de autonomie afneemt. Tot slot wordt kort ingegaan op de betekenis van de resultaten voor de uitdagingen waar de mensheid zich voor gesteld ziet zoals klimaatverandering.

1 Inleiding

In dit document presenteer ik een theorie: de aggregatie-dynamica. Deze theorie is op te vatten als een veralgemenisering van een bestaande discipline: de ecologie. Ecologie wordt in het handboek van Michael Begon en Colin Townsend gedefinieerd als “*the scientific study of the distribution and abundance of organisms and the interactions that determine distribution and abundance*” [2].

Bij *organisms* kan iedereen zich wel wat voorstellen: planten, dieren, schimmels, bacteriën. Kortom levende wezens.

Ik vat organismen anders en ruimer op en spreek van aggregaties. Het wezenlijke punt hier is dat een verzameling materie telt als aggregatie als een al erkende aggregatie de verzameling materie eenheid en betekenis toekent. Aggregaties definiëren elkaar. Omdat mensen en honden elkaar erkennen tellen die als aggregaties. En omdat honden katten erkennen tellen die ook mee. Daar wij ook veel andere organismen erkennen, alsmede structuren als gereedschappen, producten en organisaties tellen die ook mee. De wezenlijke uitbreiding ten opzichte van de ecologie bestaat dus uit meer of minder ingebeelde wezens. Ik ben een aggregatie, mijn huis is een aggregatie, het congres dat ik 10 december bezoek is een aggregatie. Voor Nederlandse minister Van der Wal (portefeuille Natuur en Stikstof) is het stikstofdossier een aggregatie. Aggregaties kunnen dynamisch zijn en maar kort bestaan, zoals een vlucht vogels. Ze kunnen ook meer of minder conceptueel en virtueel zijn zoals een geloofsgemeenschap of de Nederlandse democratie. Een aggregatie hoeft niet in staat te zijn om op eigen kracht acties te ondernemen. Zo hebben huizen er geen idee van dat ze aggregaties zijn, laat staan dat ze actief acties plannen, zoals het schilderwerk van de kozijnen. Bij mijn huis is de relatie tot de voor ieder verifieerbare fysieke werkelijkheid heel duidelijk, maar er is dus een glijdende schaal naar meer abstracte en vluchtige aggregaties. De clusteringen en grenzen die wij de wereld normaliter opleggen worden in de aggregatie-dynamica wel erkend maar zijn niet leidend. Elk onderdeel van een aggregatie, of een coalitie van onderdelen, kan zijn eigen beeld hebben van andere aggregaties, deze monitoren of er in interactie mee zijn. Een paar voorbeelden om dit te illustreren.

Hoe kijkt de Guineaworm aan tegen de wereld? Voor deze parasiet is de ideale cyclus de volgende. De wormen leven in het menselijk lichaam. Na de bevruchting sterft het mannetje. Als het broed rijp is zoekt het vrouwtje een weg naar buiten. Aldaar ontstaat een pijnlijke blaas die wordt opengekrabt in oppervlakte water. De worm loost miljoenen minuscule larfjes in het water. De larfjes worden opgegeten door minuscule kreeftjes maar zij verteren niet en leven voort in het weefsel van de kreeftjes. Iemand drinkt uit het water met de geïnfecteerde kreeftjes. In de ingewanden daarvan verteren de kreeftjes maar de larfjes niet. Die verlaten het spijsverteringskanaal en groeien uit tot volwassen wormen en daarmee zijn we terug bij het begin [3]. De wormen verhouden zich tot bepaalde structuren maar het zijn niet onze categorieën en indelingen. Een ander voorbeeld levert een robotwagentje op Mars. Als wij er over x jaar niet meer zijn om het die betekenis te geven, wat is het dan nog? Stel andere levensvormen bezoeken Mars. Zullen die het wagentje ophalen en in een museum zetten met tekst en uitleg over mensen? Niet zo zeker. J. Scott Turner beschrijft in *The Extended Organism* de relatie tussen organismen en de door hen gebouwde structuren [46]. Hij beschrijft de interactie tussen de grond die het hol van een aardworm vormt en de aardworm en betoogt dat ze een geheel vormen. Tot slot, een koe is een grappig wit-zwart dier in een wei dat melk geeft. Maar vanuit een collectief van miljarden bacteriën is het een middel om te verhuizen naar vers gras.

Gebruik makend van de eerdere definitie en de notie van aggregatie, kom ik dan op: *aggregation-dynamics is the scientific study of the distribution and abundance of aggregates and the interactions that determine distribution and abundance*. In de aggregatie-dynamica gaat het niet alleen over de distribu-

tion and abundance van pantoffeldiertjes en korstmossen maar ook over die van ijskasten en politieke kwesties. Het gaat niet alleen over de *interactions* van leeuwen en gnoes maar ook over die van presidenten en naties. Zoals al gezegd zijn aggregaties deels conceptueel en virtueel. Naast energie en materie dringt zich hier een derde elementaire component op die samenhangt met waarnemen, registreren, noteren, communiceren, denken, plannen en met visies en meningsvorming. Ik vat dat samen in het woord informatie. Informeren betekent letterlijk in vorm brengen.

Dit klinkt misschien wat esoterisch: energie, informatie. Zo is het niet bedoeld. Het is misschien goed om daarom de herkomst van het woord ecologie in herinnering te roepen. ‘Eco’ komt van oikos en dat betekent in het oud-Grieks huis en huishouding [45]. Ecologie is huishoudkunde. De aggregatie-dynamica blijft dicht bij huis. Waarom een ander woord? Dat is omdat naar mijn idee de bekende abstracties van huisje, boompje en beestje onvoldoende recht doen aan interacties die de grenzen daarvan niet respecteren en onvoldoende recht doen aan vluchtige en uiterst dynamische constellaties van huisjes, boompjes en beestjes en hun onderdelen.

Het vermoeden van de aggregatie-dynamica is dat daar waar leven ontstaat intrinsieke wisselwerkingen tussen structuur, energie en informatie dwingen tot specifieke vormen van samenlevende structuren en specifieke interactiepatronen. Deze vormen en patronen zijn typeerbaar en zijn misschien wel universeel. Ze zijn niet willekeurig. Leven is vergelijkbaar met een spel waarvan de regels langzaam ontstaan en veranderen maar binnen zekere fysieke beperkingen die voortvloeien uit de genoemde wisselwerkingen tussen structuur, energie en informatie. De patronen volgens welke het spel zich kan ontwikkelen zijn op enig moment bij benadering bekend, hoe de regels veranderen en welke zetten daadwerkelijk gekozen worden is niet aan te geven. Mensen doen hier gewoon in mee; we zijn geen uitzondering.

De vraag komt direct op of aggregaties te ordenen zijn in afstammingsrelaties. De taxonomie is een onderdeel van de biologie dat afstammingsrelaties bestudeert. Bijvoorbeeld, huiskatten (*Felis catus*), tijgers en leeuwen horen bij elkaar. Ze behoren tot de Kattenfamilie, de Felidae. In de taxonomie worden groepen organismen samengenomen tot algemenere groepen. De Felidae behoren tot de orde van de Vleeseters, en die behoren tot de klasse van de Zoogdieren en die sorteren onder de stam van de Gewervelde dieren. Die laatste behoren tot een heel algemene groep: het rijk van de Dieren. Een bekende indeling op dat niveau is: planten, dieren, schimmels en twee soorten bacteriën [22]. Zo beschreven lijkt taxonomie mogelijk een gelopen race, maar niets is minder waar. De taxonomie is voortdurend in beweging. Met regelmaat verschuiven er relaties. Zo komt het heel vaak voor dat een plant verhuist naar een ander geslacht of een andere familie. Maar ook op het niveau van rijken is er discussie over herordening van stammen en rijken door gebruik te maken van supergroepen en domeinen. Tussen aggregaties zijn ook taxonomische relaties te ontdekken. Een combinatietang, een draadkniptang en een waterpomptang zijn alledrie tangen. Toch is er ook een wezenlijk verschil.

In de biologische taxonomie staat tegenwoordig de erfelijkheid via DNA en RNA centraal. Genetisch onderzoek heeft een enorme golf van verandering in de taxonomie teweeg gebracht. Maar, tangen hebben geen RNA of DNA. Dergelijke polymeren coderen informatie. Die notie, informatie, speelt wel een rol in de aggregatie-dynamica. Informatie werkt vaak via een omweg sturend, bijvoor-

beeld in de evolutie van tangen. Informatie kan door een aggregatie verzameld worden en in gecodeerde vorm overgedragen aan een andere aggregatie, bijvoorbeeld in de vorm van DNA. Voor de aggregatie-dynamica is het verschijnsel DNA of RNA een voorbeeld van een algemenere mechanismen en verschijnselen: taalvorming, semantiek en codering. Voor een aggregatie-dynamische taxonomie is het nu nog te vroeg, eerst moeten de te ordenen elementen nader geïnventariseerd.

Samenvattend, de aggregatie-dynamica heeft de ambitie de dynamiek een breed scala aan complexe structuren te beschrijven en van ultieme verklaringen te voorzien. Dit artikel poogt via de menselijke noties van probleem en oplossing de wisselwerking van structuur, energie en informatie te onderzoeken en daarmee enkele patronen bloot te leggen. Dit leidt tot de formulering van hypothesen over enkele eigenschappen van aggregaties, ook van mensen.

De aggregatie-dynamica kan ook gezien worden als een theorie over het ontstaan van nauw verweven structuren of complexe structuren. Wij weten ons geen raad met complexiteit en dat toegeven maakt sympathiek en ontslaat ons van verdere verwachtingen, zo stelde columnist Maxim Februari vast [14]. Mogelijk biedt de aggregatie-dynamica een andere kijk op complexiteit en onze ervaring ervan. Dat zou betekenis kunnen hebben voor de actualiteit. Ik bedoel daarmee niet dat de aggregatie-dynamica de oplossing kan aandragen voor de Nederlandse stikstofcrisis of de bestrijding van klimaatverandering. De bijdrage zit er mogelijk in dat de aggregatie-dynamica kan helpen los te komen van onze standaard reflexen in de confrontatie met problemen en het obligate zoeken naar passende oplossingen. Een discussie dienaangaande biedt dit artikel echter niet.

2 Problemen en oplossingen

Problemen en oplossingen zijn centrale noties in menselijke activiteiten. Dat kan iedereen eenvoudig vaststellen bij zichzelf, en als dat niet voldoende is dan vraag je mensen in je omgeving waar ze druk mee zijn. Er zal dan een situatieschets volgen en daarin wordt dan vrijwel zeker gemeld dat er een probleem is dat opgelost dient te worden. Dat soort uitleg is ons allemaal heel vertrouwd. Misschien zien we daarom een aantal aspecten erin over het hoofd, en daar wil ik nu juist de aandacht op vestigen. Bijvoorbeeld, oplossingen falen vaak al tijdens de realisatie en zeker na de realisatie ontstaan er complicaties.

Dat falen is spijtig want ‘oplossen’ betekent voor veel mensen verlossen, en ze geloven erin. Namelijk, een situatie eens en voor altijd beslechten of goed regelen. Maar eind-goed-al-goed oplossingen zijn schaars. Dat de oplossing vaak niet levert wat was gehoopt wekt weliswaar enige wrevel op bij degenen die er hoge verwachtingen van hadden, maar daarom niet lang getreurd. Met een onuitputtelijke drift, even goede moed en veel enthousiasme worden deze nieuwe problemen óók weer aangepakt. Enzovoort. Oplossingen leiden tot nieuwe problemen en hup dan gaan we daar achteraan. *De wet van behoud van ellende* noemde Hans Peters dat in 1973 in een boek gemotiveerd door het uitkomen van het rapport van Rome [24]. Peters legt hierin uit hoe veel oplossingen slechts symptoombestrijding zijn en dus niet helpen of tot nieuwe problemen leiden. Bovendien laat hij zien dat rigoureuzere ingrepen ook op complicaties stuiten omdat we eigenlijk niet goed begrijpen wat we doen [26].

Oplossers staan meestal niet alleen in hun geloof in een zekere oplossing.

Een buitenstaander die de probleemsituatie van anderen voorgelegd krijgt zal zeggen: ‘Ja, als ze die en die oplossing zouden realiseren dan zijn ze van de problemen af’. Misschien zou hij het net anders doen, maar hij kan zich de situatie goed voorstellen, en zich de problemen en oplossingen die er spelen inbeelden. Het moet dan toch frustrerend zijn dat oplossen zelden zomaar lukt. We zien dat falen ook, we proberen te leren van fouten en misrekeningen. Ten gevolge daarvan veranderen er voortdurend procedures, werkwijzen, methoden en technieken, producten, organisaties en diensten. We doen allerlei dingen anders dan eerder, en ook de actuele werkwijzen staan onder druk van weer nieuwe.

Een observator op enige afstand ziet het volgende zich herhalende proces. De inspanningen in de vorm van onderzoek, veranderingen en verbeteringen leiden tot nieuwe situaties waarin weer problemen optreden. Meestal niet direct exact dezelfde problemen, er is ten slotte een oplossing geïmplementeerd, er is wat veranderd. In de samenleving van vandaag lijkt het wel alsof het aantal problemen dat uit oplossingen voorkomt toeneemt. Dat geeft te denken. Zijn we handig bezig? Het effect dat ik observeer lijkt een vlucht naar voren: dus nóg anders, nóg beter, nóg sneller. Innovatie moet! Hier begint het voor mij te schuren.

Die innovaties worden meestal als een vondst gepresenteerd, als iets nieuws, maar is dat zo? Bekijk je een greep van kwesties uit een krant of een tijdschrift dan dringt zich echter een gevoel van herhaling op. Weer een commissie, weer een onderzoek, weer extra regels, weer een aanpassing van een norm, weer een mechanisch foefje, weer een rechtszaak en een gerechtelijke uitspraak, weer een systeem dat zus of zo gaat ‘oplossen’. Niet alleen leiden oplossingen tot problemen, qua type ingrepen lijkt er ook herhaling op te treden.

Het vermoeden rijst dat er wat valt af te dingen op onze oploskracht. Alvoorens we verder gaan zijn enige begrippen praktisch.

2.1 Probleemposities en andere hulpbegrippen

Het is voor dit betoog niet nodig om de noties probleem en oplossing precies te definiëren. Probleem en oplossing zijn zoals vastgesteld geen esoterische begrippen en de gewone intuïtie van lezer voldoet.

Bij problemen en oplossingen spelen vaak meerdere partijen een rol. De veralgemenisering van partij is aggregatie. Om de intuïtie van de lezer niet teveel op de proef te stellen vermijd ik dat woord liever in dit informele stuk. Een ander woord dat zou kunnen dienen is actor, een woord dat vaak gebruikt wordt in filosofische beschouwingen. Actor is neutraal, een partij heeft een belang. Dat is een aspect dat ik wil benadrukken, dus liever ‘partij’.

Het woord oplossing heeft drie betekenissen: 1. een voorstel voor een concrete ingreep, 2. een dienstspecificatie van condities aan een ingreep wil die als oplossing kunnen doorgaan, 3. een aanwijsbare gerealiseerde oplossing.¹ Een voorbeeld. Stel je buurvrouw heeft een kat. Ze klaagt dat de kat van andere burens steeds binnenkomt en het bakje van haar eigen kat leeg eet. Deze kattenvrijpostigheid vat zij als een probleem op. Een oplossing, als voorstel, is het

¹Misschien kan het woord implementatie dienen als vervanging voor de omschrijvende term ‘aanwijsbare gerealiseerde oplossing’. Maar in het Nederlands en Engels staat dit woord in de eerste plaats voor het proces van het invoeren van een oplossing en niet zozeer voor het eindresultaat. Dat laatste lijkt een specifieke betekenis uit een beperkt domein: de Informatica.

bestaande kattenluik te vervangen door een slim kattenluik dat alleen specifieke elektronisch gemerkte katten doorlaat. Een dienstspecificatie zou kunnen luiden: een ingreep zodanig dat de buurkat niet meer meeëet. Je geeft hierin dus aan *wat* je wilt bereiken, niet *hoe*. Als de buurvrouw het voorstel ‘slimme luik’ gerealiseerd heeft, en dat bevalt, dan was die ingreep de oplossing in de derde betekenis.

‘Probleem’ komt in twee varianten: *bedreiging* en *kans*. De eerste kwam naar voren in het vorige voorbeeld: die vervelende buurkat! Bij een bedreiging ervaart een partij een situatie direct als onwelgevallig. Het klinkt een beetje zwaar, bedreiging, in dit geval. Ik maak bewust geen onderscheid tussen grote en kleine problemen.

Bij een kans is het betere de vijand van het goede. Hierin stelt een partij zich een andere situatie voor en acht die preferabel boven de bestaande situatie, en niet alleen denkbaar maar ook mogelijkerwijze te realiseren. Daar gloort een kans. De ontstentenis van de preferabele situatie is nu het probleem.

Vaak zijn er meerdere partijen bij een probleem betrokken. Je buurvrouw vertelt jou over het kattenluik. Jij bent een partij. Je hebt er een bepaalde kijk op. Misschien breng jij het idee in over het slimme luik. De burens met de uitvreetkat is gevraagd of hun kat thuis eet; zij hebben nu ook kennis over de kwestie, en vast ook een visie erop. Een winkelier is om advies over het slimme luik gevraagd. Die ziet misschien een kans om een oud model te slijten. Een bedreiging van de een is vaak een kans voor de ander. De katten zijn ook partijen, de luiken ook. Zo’n acht partijen aldus. Elke partij heeft zijn eigen kijk op het probleem. Die kijk noem ik de *probleempositie* of kortweg positie van de partij.

Een probleempositie kan een voorstel voor een oplossing omvatten maar ook slechts een impasse blootleggen. In elk geval, in een probleempositie is er nog geen oplossing uitgevoerd. Soms is het voorstel concreet, zoals ‘monteer een slim kattenluik’, soms is een oplossing een planmatig antwoord op de vraag ‘hoe verder?’. Dan is het voorstel een plan voor een route naar oplossing, of een aantal scenario’s.

Een positie van partij kan deels overlappen met die van een andere, zij hebben dan deels dezelfde kijk op het probleem. De probleemposities samen genomen noem ik de *probleemsituatie*. Een probleempositie is ingebed in een probleemsituatie. De partijen in een situatie hebben soms een mening over elkaars positie, maar soms weten ze niet van elkaars bestaan laat staan dat ze weten van de particuliere overwegingen die een andere partij erbij sleept. Om het voorbeeld te vervolgen, je ziet al aankomen dat jou gevraagd gaat worden het slimme luik te monteren, dat is enerzijds een bedreiging voor de weinige uren dat je vrij hebt, maar anderzijds biedt het een kans om je buurvrouw mee te krijgen in je plan voor een egelpassage in de gezamenlijke schutting. Ga je dat nu al suggereren of later? De buurvrouw weet nog niet wat een egelpassage is, laat staan dat jij er belang aan hecht.

Zoals al aangegeven in de inleiding, oplossingen geven vaak aanleiding tot nieuwe problemen. Om bij het kattenluik te blijven. De kat is aanleiding tot het kattenluik. Dat luik is mede aanleiding tot ongewenst bezoek. Dat wordt opgelost met een slim kattenluik. Daarvan is de batterij na enige tijd leeg. Daardoor wordt de kat een weekend buitengesloten. Van probleem naar oplossing naar probleem. Ik noem dat een *probleem-oplossingketen*, of kortweg keten. Een probleem dat direct samenhangt met een zekere oplossing noem ik

een *vervolgprobleem*.

De wereld is onvoorspelbaar, terugkijkend zijn problemen in zo'n keten vaak onnavolgbaar. Maar ook vaak liggen vervolgproblemen al besloten in eerdere oplossingen. Een ruime categorie heeft te maken met slijtage en onderhoud. Zit ergens een batterij in dan is dat een potentieel probleem. Het is voorspelbaar, zij het statistisch, dat die batterij vervolgproblemen kan veroorzaken.

De keten uit het kattenvoorbeeld is kort. Maar langere kan de lezer zo zelf construeren uit zijn eigen ervaring in zijn eigen omgeving. Doe je dat dan wordt snel duidelijk dat ketens een versimpeling zijn. Er is eerder sprake van vertakkende, cyclische en uitdijende structuren van problemen en oplossingen. De neerslag ervan, in de fysieke wereld, is een structuur in de vorm van bijvoorbeeld regels, diensten, producten, organisaties, kennis en systemen. Een geschiedschrijving van een structuur beschrijft een proces dat ik *probleemproliferatie* noem. Een keten is een pad in een probleemproliferatie. Beide zijn conceptuele structuren, abstracties. Daar waar oplossingen gerealiseerd worden spreek ik van het *probleemfront*.

Het is niet zo dat proliferatie per definitie een uitdijende en steeds complexere structuur oplevert. Er is energie nodig om een structuur in stand te houden en om het probleemfront in beweging te houden. Bij energietekort zakt de structuur en het front in, bij een overschot kan het uitdijen, dat hoeft niet maar is vaak wel het geval.

3 Kwantificeren van wetendheid en onwetendheid

In geschiedschrijving moet je oppassen voor de teleologische verleiding, trap je daar in dan wordt geschiedenis een juichverhaal over visionairs. Kijken we bijvoorbeeld naar computergeschiedenis, dan stel je vast dat het grote fenomeen van de PC zich begin jaren 1980 aankondigde. Het werk aan vroege computers in de jaren 1940 heeft daar op een of andere manier mee te maken. Zeker. Maar hebben de computerpioniers al slim toegewerkt naar de PC? Nee, in het geheel niet. Die pioniers hadden andere belangen en andere dromen. De geschiedschrijving leert dat mensen in toen actuele situaties toen actuele problemen ervoeren, belangen afwogen en oplossingen realiseerden [1].

Dat lokale en tijdelijke wil ik verder onderzoeken, in een gedachtenexperiment. Hoeveel weet iemand in zijn of haar probleempositie? Je zou dat wat iemand weet in zijn positie de *informatie-inhoud* van die positie kunnen noemen. Zou ik de informatie-inhoud van een probleempositie kunnen vergelijken met de informatie-inhoud van de bijbehorende probleemsituatie? Ook interessant, hoe groot is de kans dat iemand iets vergeet of verkeerd ziet? Het gaat hier niet om een exacte getallen, ik ben al tevreden als ik aannemelijk kan maken of iets klein, groot of heel groot is. Ik wil ook probleemsituaties vergelijken, namelijk met een nog ruimere omhullende.

Een probleemsituatie ligt ingebed in een omhullende die ik de *voorwaarden-gemeenschap* noem. Dat zit zo. Elke partij is afhankelijk voor zijn functioneren van omstandigheden: de welwillendheid van anderen, de beschikbaarheid van zekere middelen. Noem maar op. Deze structuren vormen de voorwaarden, of condities, waaronder de partij zijn rol als partij kan spelen. Elke structuur in

zo'n gemeenschap heeft ook weer een voorwaardengemeenschap en zo verder. Je zou je de voorwaardengemeenschap kunnen voorstellen als een groot netwerk van elkaar ondersteunende voorwaarden die los staan van de direct aan het probleem gerelateerde voorwaarden zoals een hongerige buurkat. In het kattenluikvoorbeeld: je bent partij zolang je huis niet instort, de waterkoker vanzelf afslaat, de zekeringen in de meterkast goed zijn, je auto geen mankement heeft, er geen familieleden ziek worden, er geen oorlog uitbreekt, het weer bestendig blijft, de schroefboormachine opgeladen klaarligt, enzovoort. Hoever dijt die gemeenschap uit?

Er is een stopcriterium nodig voor het zojuist geschetste proces dat steeds weer nieuwe voorwaardengemeenschappen aanboort en toevoegt aan de voorwaardengemeenschap van een probleemsituatie. Het komt in dit gedachte-experiment niet op de millimeter aan. Een conditie telt mee als de beroemde filmregisseur Steven Spielberg een plausibel plot zou kunnen bedenken voor een thriller waarin deze conditie een sleutelrol speelt.

Stel de informatie-inhoud van een partij bepaal je als volgt: je vraagt die partij om een rapport over haar probleempositie te schrijven waarin zij alle aannamen, eigenschappen, condities, relevante partijen en latente kennis die zij van belang acht opsomt. Laten we dit beweringen noemen. De informatie-inhoud is de verzameling van deze beweringen.

Dat verzamelen van beweringen levert natuurlijk allerlei complicaties op: onthoudt even welke regel om die complicaties te overwinnen jij hebt bedacht en de partij heeft bedacht bij het maken van het rapport. Bij het samenstellen van de informatie-inhoud van probleemsituaties en voorwaardengemeenschappen, wat we hieronder gaan bespreken, pas je dezelfde regels toe en breidt deze zonodig uit.

De notie informatie-inhoud kan simpel uitgebreid worden voor de probleemsituatie en voorwaardengemeenschap die een probleempositie omhullen. De informatie-inhoud van een situatie is simpel het bundelen van de informatie-inhoud van de posities van alle partijen. En bundel je dat met de condities in de respectievelijke voorwaardengemeenschappen van de partijen dan heb je de informatie-inhoud van de voorwaardengemeenschap.

Voor ik verder ga met de redenatie moet ik wat uitleggen over een verschijnsel dat de combinatorische explosie wordt genoemd. Stel je gaat verhuizen. In je huis staan een aantal objecten en je hebt een doos met onbeperkte capaciteit in handen om te gaan vullen. Op hoeveel manieren kan je die doos vullen? Stel er staat één object in je huis dan kan je de doos vullen met niks of met dat ene object. Met een lege doos het huis uitlopen zal je partner niet waarderen, maar daar gaat het nu niet om. Twee mogelijke vullingen dus, in principe. Bij twee objecten kan je weer niks in de doos doen, óf het ene óf het andere object, óf allebei. Vier mogelijke vullingen dus. Bij drie objecten kan je de doos op acht manieren vullen. Dat ziet er overzichtelijk uit. Bij 10 kan het op 1024 manier. Oh, dat is wel flink meer. En twintig geeft 1.048.576, veel meer. En bij honderd? 1.267.650.600.228.230.000.000.000.000.000.000 doosvullingen. Oeps, dat moet een tikfout zijn! Nee, helaas niet. De formule erachter is 2^{100} .

Laten we terug gaan naar de informatie-inhoud van probleempositie, probleemsituatie en voorwaardengemeenschap. De beweringen uit de informatie-inhoud gaan over dingen of concepten, zaken kortweg. Bijvoorbeeld, 'de buurkat is een kater', of 'een wit kattenluik staat mooier op een groene deur dan een rood luik'. Vat nu een bewering op als een doosvulling zoals gebruikt in de

uitleg over combinatorische explosie. Hoeveel doosvullingen eh... beweringen zou je minstens kunnen uiten over 10 zaken? Dat is 1024 als eerder. Maar dit is niet helemaal juist. In tegenstelling tot de doosvullingen moet dit getal niet exact worden opgevat, het is een indicatieve orde van grootte. Over 10 zaken is namelijk veel meer dan 1024 beweringen te doen. Deze indicatie van de orde van grootte noem ik de *indicatieve potentiële complexiteit van de informatie-inhoud* van dat wat we beschouwen, dus van een probleempositie, probleemsituatie of voorwaardengemeenschap.

Zo bekeken is het is best voorstelbaar dat een partij iets belangrijks vergeet op te merken over 10 zaken. Bedenk nu dat doorsnee projecten, het soort projecten waar veel mensen dagelijks aan werken, al gauw gaan over tientallen zaken en via de voorwaardengemeenschap samenhangen met nog eens tientallen zaken. Op 100 zaken zit je zo. Het aantal beweringen daarover, de indicatieve potentiële complexiteit van de informatie-inhoud, is astronomisch groot hebben we hierboven berekend. De kans dat iemand wat over het hoofd ziet is 100%. De potentiële complexiteit van de informatie-inhoud drukt uit hoeveel interacties er in potentie denkbaar zijn tussen de genoemde zaken, om nog maar te zwijgen van de ongenoemde.

Het is een belachelijke rekensom, toegegeven. De methoden van tellen en de definities rammelen aan alle kanten. Veel van de beweringen die ik meeneem in de berekening van de indicatieve potentiële complexiteit zijn inconsistent kan iemand tegenwerpen, en een ander kan zeggen dat voorwaardengemeenschappen niet zo groot zijn. Niet tevreden, dan neem je toch de helft, ook goed. Hoe je de cijfers ook kiest je ontkomt niet aan de combinatorische explosie. De 'rekensom' laat zien dat onze beeldvorming van een probleem nogal oppervlakkig is vergeleken met de potentiële complexiteit van de aanpalende situatie waarin dat probleem speelt.

Hoe kan het dat we dan vaak zo zeker zijn van onze zaak? Een paradox. Ik kom daarop terug in Sectie 1. Ik heb echter nog een observatie nodig voor ik verder kan met deze paradox. Namelijk de ongezeglijkheid van oplossingen. Die behandel ik eerst.

4 Oplossingen van dichtbij

De menselijke toeschouwer die ergens een oplossing gerealiseerd ziet worden, of op een oplossing gewezen wordt, zal zich bij het meeste hiervan een voorstelling kunnen maken en de logica erachter begrijpen, ook als deze het er niet mee eens is. De toeschouwer heeft naast een gevoel voor een zekere logica van oplossingen ook gevoel over een categorie. Iets zit in de organisatorische hoek, of aan de psychologische kant, of het is een medische ingreep, of in de techniek, en daarbinnen betreft het telecommunicatie et cetera.

De toeschouwer zou zichzelf misschien kunnen voorstellen om een catalogus met oplossingen te vullen met beschrijvingen, ordeningen en een index van concrete dingen. Dus, schroeven en bouten bij de verbindingsmiddelen, de windmolens bij de energiegeneratoren, ijskasten bij de koelinstallaties met daarbij opmerkingen over milieulabels, het verbruik et cetera. Deze zou misschien zelfs kunnen proberen erbij te vermelden wat goed en minder goed geslaagde oplossingen waren. Maar als de toeschouwer de catalogus zou proberen samen te stellen dan stuit deze direct op rare complicaties. Systematisch beschrijven lukt

niet, ordenen lukt niet. Die zo evidente en concrete oplossingen blijken niet zo simpel te ordenen. Een hamer is zoveel een gereedschap om spijkers in hout te drijven maar kan ook als moordwapen dienen. Maar zo wordt de catalogus een netwerk zonder kop of staart in plaats van een nette hiërarchie. Waar zit het essentiële punt? Laten we een oplossingscasus bekijken.

Stel de verwarming in huis doet het niet. De ketel geeft geen sjoege, wel lampjes, maar hij slaat niet aan. Een herstart helpt niet. De oplossing zou kunnen zijn: een trui aantrekken en je voornemen morgen direct een installatiebedrijf te bellen. Dat is een oplossing als voorstel. Des avonds komt toevallig een handige buurman langs en die zegt ‘laat maar even zien’. De waterdruk blijkt nogal laag. Hij vult de ketel bij, en floep de ketel start weer. Het bijgevuld-zijn was de oplossing, terugkijkend.

Toch zijn er drie aspecten die deze oplossing apart maken. Ten eerste, stel je boort een gat in de ketel; er loopt water uit en je vangt het op in een emmer. Was dit water dé oplossing. Niet te zeggen. Daarbij, tijdens het bijvullen had je de toevoerkraan best een seconde langer open kunnen laten. Een iets ‘grotere’ oplossing had dat opgeleverd, maar evengoed een oplossing. Ten tweede, ergens is tijdens de openstelling van de toevoerkraan het toegevoerde volume tot oplossing geworden. Exact wanneer is niet te bepalen. Ten derde, stel je bent er toch in geslaagd dat toegevoerde water dat voldeed als oplossing exact te traceren en te isoleren. Zeg het is 2,2 liter, en je hebt het in drie oude frisdrankflessen zitten. Je partner stapt de ruimte in waar je aan het klooiën bent en zegt, ‘oh handig, leg er even twee in auto, dan hebben we wat te drinken onderweg zo’. Jouw oplossing werd niet herkend, sterker nog, zij werd aangezien als oplossing voor een ander probleem. Samenvattend: de oplossing is niet in ruimte en tijd te begrenzen en ook in isolement niet als zodanig herkenbaar.

Bij monumentale en complexe oplossingen treden deze constateringën nog sterker op. Neem de Tweede van Brienenoordbrug. Waar houdt een dergelijk object op? Nadat de brug feestelijk was geopend ging het werk er aan door want de grens tussen afmaken en onderhouden valt niet te trekken. En de betekenis hangt af van de verstaander. Voor ijzer minnende planten is het een mineralenbron, voor vissers een stek, voor automobilisten een file met uitzicht, voor wandelaars tijdens een bui een schuilplek, voor graffitispuiters een doek.

Oplossingen, wat zijn het nu? De eerder genoemde catalogus valt niet te maken om twee redenen. Ten eerste, van al die ogenschijnlijk zo evidente voortbrengselen zijn de grenzen niet eenduidig aan te geven in ruimte en tijd. En ten tweede, de structuren om ons heen hebben geen universele betekenis. Ze zijn in isolement betekenisloos. Tijdens de realisatie van een oplossing weten we precies waar we het over hebben en iedereen zal het begrijpen als je de oplossing uitlegt. Maar bekijk een oplossing sec, dan krijg je er geen grip op. Oplossingen zijn als het in de inleiding genoemde robotwagentje op Mars: zonder betekenisgevende context zijn ze betekenisloos. Wederom een paradox.

Desalniettemin, wat dan ook de betekenis is van een ingreep. Per saldo worden bepaalde stoffen verplaatst en van toestand veranderd bij de realisatie van een oplossing. Bijvoorbeeld het water dat van een waterleiding in het ketelsysteem stroomt. Ik zoek een woord om die verandering mee aan te duiden dat neutraal is, een woord zonder – hoop ik – al te veel bagage: *transconfiguratie*.

5 De innovatie-illusie

De vorige twee secties eindigen elk met een paradox. Sectie 3 maakte schattingen van de geïnvolveerdheid van partijen in vergelijking met bovengrenzen voor probleemposities, -situaties en voorwaardegemeenschappen. Er kwam uit dat we heel oppervlakkig kijken maar ons tegelijk zo zeker voelen van onze zaak. Sectie 4 stelde aan de orde dat oplossingen niet zijn wat we ze toedichten en toch ervaren we ze wel als oplossing. Hoe zijn deze paradoxen te overbruggen?

De bioloog Humberto R. Maturana en cognitiewetenschapper en epistemoloog Francisco J. Varela onderzoeken in *The tree of knowledge. The biological roots of human understanding* hoe levende wezens hun omgeving waarnemen, er begrip over opbouwen en ernaar handelen [23]. Ze betogen uitgebreid dat deze wezens, en dat geldt dus ook voor mensen, in een projectie leven. Wij verbeelden onze wereld en denken dat dat de echte wereld is. Maar dat is niet zo. Onze zintuigen tasten de wereld af en de hersenen bouwen daarmee een wereldbeeld op, dat is wat je ‘waarneemt’. Maar dat kan ver afstaan van wat er werkelijk aan de hand is. Een plat voorbeeld maakt dat duidelijk. Als je denkt dat de koffie op is, dan zou je op zoek kunnen gaan in de lades en kastjes van de keuken naar een rood pak. Zo’n Douwe Egberts-pak. Je kijkt dan met gemak over het wit-groene Fairtrade-pak heen. Zou je jezelf anders programmeren, dat wil zeggen jezelf verlossen van dat rode beeld, dan zou je het wit-groene pak wél zien staan.

Het werk van Daniel Kahneman, psycholoog en Nobelprijswinnaar, en zijn collega’s is een lange aaneenschakeling van empirische bewijzen dat mensen niet zo rationeel zijn als ze denken te zijn. Mensen hebben sterk de neiging om op basis van de schaarse informatie die ze verzamelen uit de buitenwereld een vooringenomen en smakelijk verhaaltje op te dissen. Daar hechten ze tevreden het stempel aan ‘Zo zit het. Goedgekeurd’. In *Thinking Fast and Slow* formuleert Kahneman het principe WYSIATI. Een acroniem voor de zin *what you see is all there is*. Dit wil zeggen dat het projectieve verhaaltje gemaakt wordt, of beter, geforceerd samengesteld, met elementen die toevallig voor handen zijn. De snelle beeldvorming is het resultaat van hersenprocessen die aangeduid worden als systeem 1. De theorie van Kahneman c.s. is geheel in lijn met dat wat Maturana en Varela vanuit een ander perspectief naar voren brachten. Kahneman laat ook zien dat mensen tot betere beeldvorming staat zijn door andere vermogens in hun hersenen aan te spreken (systeem 2 genaamd), maar dat kost tijd en moeite. Als het even kan verlaten mensen zich op systeem 1 [21].

Van vooringenomen projecties maken filosofen Herman de Regt en Hans Dooremalen van de Tilburg University een groot punt in *Het snapgevoel. Hoe de illusie van begrip ons denken gijzelt*. In de context van de bespreking van de twee eerdere boeken behoeft deze derde titel eigenlijk geen uitleg meer [39].

De twee eerder gemelde paradoxen zijn inderdaad schijntegenstellingen. Want het is een eigenschap van onze hersenen om op basis van gebrekkige informatie tevreden stellende en ogenschijnlijk sluitende wereldbeelden te construeren. Ook al weten we vrijwel niks, zoals ik Sectie 3 liet zien, we gaan ostentatief en met zelfvertrouwen aan de slag. Aan de slag, met dingen die kennelijk juist zo reageren dat het beeld dat wij van ze hebben gevoed en overeind gehouden wordt, zolang het duurt dan.

Zijn problemen en oplossingen ook projectieve verhaaltjes? Dat lijkt aannemelijk. Gegeven de marginale informatie-inhoud van probleemposities relatief

aan de indicatieve potentiële complexiteit ervan zou je dan kunnen denken: het totaal aantal verhaaltjes, ofwel probleemposities is beperkt. Wij kunnen maar een beperkt aantal partijen, factoren en verbanden verhapstukken en daarmee kunnen we maar een eindig aantal verhaaltjes componeren.

Dat kunnen er dan nog steeds heel veel zijn. We hebben alleen al duizenden woorden tot onze beschikking. Echter, zoals al eerder gesuggereerd, je ziet vaak hetzelfde type oplossingen toegepast worden, althans zo lijkt het. Misschien is er wel een niveau van abstractie dat voldoende onderscheidend vermogen overlaat en waarmee een ordening in deze probleem-oplossing-verhaaltjes kan worden blootgelegd. Het is dienstig om enkele casus te bespreken om de beeldvorming verder te voeden. Ik bespreek hieronder drie voorbeelden van ontwikkelingen uit het recente verleden en koppel die aan de actualiteit.

5.1 Heterogeniteit

Smog is mistachtige en stinkende lucht, meestal vervuild met fijnstof, stikstof- en zwaveloxiden en ozon. Dit verschijnsel kwam op met de industrialisatie in de negentiende eeuw in grote steden. In Los Angeles County waren ‘fumes’ geen volkomen onbekend verschijnsel; ‘smog’ was als woord nog niet in zwang in deze regio. In 1943 namen de fumes zulke vormen aan dat duizenden in paniek de politie belden. Waren het rookgordijntesten, was het een Japanse chemische aanval? Er was nauwelijks zicht en veel mensen hadden last van brandende ogen en luchtwegen. Het verschijnsel werd een thema onder de naam smog dat niet meer van de publieke en politieke agenda verdween. Al gauw werd het verband gelegd tussen smog en menselijke activiteit zoals industriële processen, wegverkeer en particuliere vuilverbranding.

Binnen de county hadden steden, dorpen en rurale gemeenschappen eigen wetgeving over *air pollution*. Die wetgeving verschilde en ook de smogproblematiek werd verschillend ervaren. Er ontstonden conflicten tussen de bestuurlijke eenheden, bijvoorbeeld over de bron van de vervuiling en wie daar verantwoordelijk voor was. Deze werden in 1947 beslecht met de invoering van Assembly Bill No. 1. Hiermee kon een county in de Staat Californië, na volksraadpleging, uniforme *air pollution control* wetgeving invoeren. Los Angeles county greep die kans al meteen dat jaar [13, 20].

De probleemsituatie is te beschrijven als volgt. Een aantal partijen kampen met gerelateerde problemen maar ervaren en behandelen die verschillend en dat leidt tot onderlinge conflicten. De oplossing is uniformering van regels binnen een nieuwe structuur met lokale interpretatie en invullingen. Je zou die nieuwe structuur een koepel kunnen noemen. Dat heeft hier de juiste gevoelswaarde: een soort conceptueel dak waaronder de partijen gelijk zijn en waar gelijke regels gelden.

Er zijn natuurlijk ook andere oplossingen voor dit type probleem. Men kan het probleem negeren, of er bilateraal uitkomen, of lokaal de oorzaken wegnemen zodat de wederzijdse problemen verdwijnen. Een nieuwe techniek zou de kwestie achterhaald kunnen maken. Wat er gebeurt, uiteindelijk, is niet voorspelbaar.

In de casus zijn een aantal vervolproblemen aan te wijzen, die zal ik niet in detail beschrijven. Maar ik vermoed dat iedereen zich kan voorstellen dat de invoering van Assembly Bill No. 1 in LA county ten koste ging van enige autonomie van de deelnemers en bij gebrek aan successen en transparantie werkte dat wantrouwen in de hand, onder andere bij het publiek. Een nieuw probleem

[35]. Op het raakvlak van de juridische praktijk van een deelnemer en de koepel ontstonden interpretatiekwesties. Weer een probleem [32]. Een apart vervolgp probleem is het terugkomen van het probleem. Om dat verschijnsel te bespreken ontrol ik de casus nog wat verder.

De federale overheid voerde in 1955 een wet in die bekend staat als de Air Pollution Control Act. Een koepel over de staten. Dat kan je zien als een herhaling van de oplossing op een hoger niveau in de organisatie van de overheid. Deze wet groeide via allerlei stappen uit tot een mijlpaal in de milieuwetgeving: de federale Clear Air Act van 1970. Lokaal werd er ook herhaald. De aanpalende counties Los Angeles, Orange, Riverside en San Bernardino besloten midden jaren 1970 nauwer samen te werken in het South Coast Air Quality Management District [20, p. 261]. Dus weer, problemen intern aan een county worden opgelost (1947) en verschuiven naar problemen tussen counties en die worden opgelost (midden jaren 1970). Samenvattend, een koepel kan de condities scheppen voor zijn eigen hertoepassing. Naar analogie van wiskundige terminologie kan je zeggen: de koepel is een *invariant*.

Deze invariantie moet niet letterlijk genomen worden anders was er geen sprake van een verandering die voor een oplossing kon doorgaan. Het punt is dat een invariant de omgeving zo verandert dat de condities voor het motiverende probleem of ergens anders terugkomen of in wezen behouden blijven. Het eerste geval zien we in de casus hierboven: de conflicten binnen een county werden opgelost en deden zich vervolgens weer voor als conflicten tussen counties, idem voor conflicten tussen staten. Verhaalelementen die het tweede geval illustreren heb ik niet beschreven. Even kort door de bocht. Assembly Bill No. 1 regelde ‘zus en zo’, maar niet het aanpalende en vergelijkbare ‘dit en dat’. Omdat de smog bleef bestaan, werd op enig moment besloten ook ‘dit en dat’ gezamenlijk te regelen. Mijn vermoeden is dat invarianten een bepalende rol spelen in een verschijnsel dat Edward Tenner aanduidt als chronische problemen [44]. Op Tenner kom ik nader terug in Sectie 5.3.

Koepelvorming is een veel voorkomend patroon. De Clear Air Act was een internationaal voorbeeld. De IPCC-afspraken liggen in het verlengde hiervan. De EU is een koepel. Maar je vindt koepels niet alleen in het juridische domein. Veel producten hangen samen met koepels: het Internet, dat is een inter-net; de Compact disk van Philips en Sony is een standaard, dat is een koepel; een DIN-norm voor bouten en schroeven is een koepel. Mooie herhaling is te zien in organisatie van bedrijfsclusters: de BOVAG (koepel) is lid van VNO-NCW (ook een koepel). In 2018 kwam de belangenorganisatie Cyberveilig Nederland tot stand, die zich inzet ‘voor het vergroten van kwaliteit en transparantie in de cybersecuritysector’ [38]. De organisatie is een koepel bij uitstek. Na oprichting ging men werken aan een keurmerk en een cybersecurity woordenboek voor de sector, typisch versterkingen van de koepel.

5.2 Congestie

Met files in het autoverkeer is iedereen bekend. Met name de verstoppingen op snelwegen in de spits spreken tot de verbeelding. De ANWB houdt lijstjes bij met de totale filelengte. Daar staan totalen op van over de 1000 km. Erg, maar erger is dat veel files er dagelijks staan en een paar honderd kilometer files op een doorsnee dag is heel gewoon. Files leveren permanent veel stress, verlies aan werktijd en vervuiling op. Kortom ze zijn een groot probleem, en dat al vele

decennia. Er wordt dan ook al decennia geprobeerd de files op te lossen. Het is interessant twee momentopnamen te vergelijken qua geponeerde oplossingen.

De socioloog Hans van de Braak noemt er zo'n 13, als ik goed geturfd heb, in *Weg met de file* uit 1996 [9]: A. nieuwe wegen, B. vergroten van de wegcapaciteit C. beperken mobiliteitsgroei D. beter openbaar vervoer E. knelpunten oplossen F. toeritdosering G. tolheffing op de weg H. carpooling I. parkeerbeleid als autoweringsmiddel J. vrije baan voor beroepsgoederenvervoer K. bewustwording L. vergunningstelsel M. minder ongelukken door beter auto-onderhoud.

De ANWB hield een enquête onder 12000 leden waarbij onder andere gestemd kon worden op een toptien van oplossingen. De resultaten werden in 2016 aan het kabinet overhandigd [19]. De toptien is: 1. geef vrachtverkeer een eigen rijstrook 2. verbeter het openbaar vervoer 3. verminder het woon-werkverkeer 4. breid het wegennet uit 5. investeer in slimme technologie 6. verminder snelheidsverschillen 7. stimuleer het gebruik van de fiets 8. meer politie op de snelweg 9. leer van verkeersongevallen 10. zorg voor betere reisinformatie.

Op het eerste oog twee verschillende lijsten, maar als je beter kijkt, dan zijn ze in elkaar te schuiven op thema: *i.* ruwe capaciteit (A, B, 4) *ii.* uitsluiting (C, G, I, K, L, 3) *iii.* optimalisatie (E, F, H, J, M, 1, 5, 6, 8, 9, 10) *iv.* alternatieve modaliteit (D, 2, 7). Het zijn misschien wat ruime categorieën, maar ze zijn niet betekenisloos abstract naar mijn smaak. Vrijwel alle oplossingen zijn invarianten, dat wil zeggen oplossingen die de condities voor het heroptreden van het probleem laten voortbestaan. Er is maar een duidelijk andere oplossing: Van de Braaks vergunningstelsel. Dat het meestal invarianten zijn is wel gebleken want het fileprobleem is niet weg. Het fileprobleem is chronisch.

We laten de files even voor wat ze zijn en bekijken een voorbeeld in een ander domein. In het Haarlems Dagblad van 9 juli 2022 stond een artikel van de hand van journalist Bart Boele met als titel een citaat van één van de betrokkenen: 'Omwonenden dupe van panelen op schooldaken' [8].

Basisschool De Kameleon had subsidie van het Rijk gekregen voor verbouwing en verduurzaming. Volgens raadslid Vermeulen zullen er 300 zonnepanelen op het dak komen. Hij meent dat de omwonenden dan de dupe zijn, want, 'Overdag kan het beperkte elektriciteitsnet de zonnestroom niet opnemen en worden de zonnepanelen van particulieren losgekoppeld'.

Boele verhaalde ook de positie van het college van B&W. Dat ontzenuwde de situatie met verschillende feiten en argumenten. Ten eerste stond het aantal van 300 panelen niet vast. Ten tweede had het Rijk de netwerkbeheerder opgedragen de capaciteit te vergroten. De school zal gereedkomen in 2024 en dan zou de situatie dus anders kunnen zijn. Ten derde, sprak B&W van een nog uit te voeren 'netcheck'. Die zou moeten uitwijzen wat het net aankan. Tot slot, voegde B&W toe dat de school de opgewekte stroom doordeweeks gebruikt en de omwonenden in het weekend.

Abstractie van de oplossingen die hier gesuggereerd worden geeft een rijtje dat als bekend was uit de filecasus: *i.* ruwe capaciteit (netwerk verzwaren) *ii.* uitsluiting (de vrees van Vermeulen) *iii.* optimalisatie (school doordeweeks, omwonenden in het weekend). Niet genoemd is *iv.* alternatieve modaliteit. Een bewoner of de school zou kunnen redeneren: 'ik zet wel een accupakket neer, dan heb ik niks meer met jullie te maken'.

Ik meen in het fileverhaal en het Zwanenburgverhaal eenzelfde type probleem te zien: een congestieprobleem. Er daarvoor worden in beide casus dezelfde soort

oplossingen aangedragen. In het fileverhaal zelfs 2x, in 1996 en 2016.

5.3 Wildgroei

De uniforme wetgeving in Los Angeles county in 1947 loste de smog niet op, het zorgde voor een basis voor gezamenlijke actie. De wet vereiste een dienst. De eerste directeur van dit Air Pollution Control District (APCD) was geoloog dr. Louis C. McCabe uit Arkansas. Hij had een grote staat van dienst in onderzoek en bij industrie en overheid. Hij zette onderzoeksprojecten op en voerde een vergunningstelsel in. De APCD ging aan de slag met reguleren, normeren en controleren. Dat was een lang en ingewikkeld proces en de dienst groeide dan ook als kool.

In het oog springende rokende vrachtauto's en locomotieven, stinkende dampen opslag van olieproducten, *open pit* vuilverbranding, dikke rookwolken uitbrakende fabrieken konden rekenen op belangstelling van inspecteurs en juristen. De *Los Angeles Times* rapporteerde op 17 november 1947 over 150 studenten van de politieacademie die les kregen in het hanteren van de Ringelmann chart [30]. Dat laatste was een simpel optisch meetinstrument om de duisterheid van rook te schatten en daarmee te bepalen of er sprake was van een overtreding. Zwaveldioxide werd een gespreksonderwerp in de krant. Er werd gedacht dat die stof een belangrijke bron van de ellende was.

De meteorologen James G. Edinger en Morris Neiburger stelden in 1946 het volgende vast. Los Angeles county ligt aan zee en is landinwaarts grotendeels ingesloten tussen geologische formaties. De meteorologische omstandigheden in het smogseizoen veroorzaken temperatuurinversie. Hierbij ligt een deken van warme lucht over een luchtlaag van relatief koele lucht heen en houdt deze op zijn plaats [28, 31, 29].

Even later ging de bij het California Institute of Technology werkzame Nederlandse chemicus Arie Haagen-Smit smog concentreren en analyseren. Hij ontdekte dat onverbrande koolwaterstoffen uit automotoren bijdroegen aan smogvorming. De olie-industrie was al in beeld als vervuiler, maar nu bleek dat niet alleen het productieproces maar ook de producten een rol speelden in smogvorming. Bovendien kwamen er een nieuwe partijen in beeld: de auto-industrie en het autorijdende publiek zelf.

In juni 1952 kon Haagen-Smit een complete theorie ontvouwen [17, 18]. Onder invloed van fel zonlicht valt stikstofdioxide uiteen in stikstofmonoxide en een vrij zuurstof atoom. In de aanwezigheid van een waaier aan onverzadigde koolwaterstoffen uit olieproducten ontwikkelde zich hieruit een kettingreactie die peroxiden, ozon, aldehyden en zuren opleverde. Polymerisatie en interacties met zwavelverbindingen deden de aerosolen ontstaan. De zon had vrij spel om de reacties in de door temperatuurinversie opgesloten onderste luchtlaag aan de praat te houden. Het raadsel was opgelost.

Instrumentmakers maakten overuren. Ze bouwden rookgaswassers en filters, bijvoorbeeld voor het afvangen van zwaveloxiden. De industrie nam ook zelf de handschoen op. 'Smog installations OK'd for 78 Plants' kopte de *Los Angeles Times* enthousiast op 29 januari 1949. De APCD deed zijn werk met het keuren van installaties en het stellen van normen.

De firma Liston-Becker ontwikkelde apparatuur om auto-uitlaatgassen te analyseren en leverde deze apparatuur aan General Motors en Chrysler. Er ontstond een markt voor dergelijke apparatuur. Liston-Becker werd overgenomen

door het grotere Beckman Instruments dat ook apparatuur voor garagebedrijven ging maken om auto's goed af te stellen. Op 28 juli 1955 rapporteerde de *Pasadena Independent* over een nieuw *gadget* dat de uitstoot van koolwaterstoffen in auto-emissies met 80% zou reduceren. Het betrof een voorloper van de driewegkatalysator.

De APCD was druk met het keuren van installaties, normering en handhaving. De County Regional Planning commission dacht na over ruimtelijke ordening in relatie tot smog, de notie *industrial zoning* kwam in de aandacht om enige jaren later onderdeel te worden van een gezamenlijke strategie [10, 36]. In 1955 werd begonnen met het opzetten van een meetnet in de county voor permanente monitoring van de concentratie en verspreiding van verschillende stoffen zoals ozon, zwaveloxiden, stikstofoxiden. Auto-emissies zijn dan al enige jaren onderwerp van discussie. In de Los Angeles Times valt in 1958 het woord *smog-emission standard* met betrekking tot auto's [37]. In 1970 voert California zijn eigen normen in en gaat daar op testen [20].

Wat valt er over deze geschiedenis te zeggen. Er is een ongrijpbaar probleem dat bestreden wordt met wetten, vergunningen, normen en controle en dat gevoed wordt door modelvorming en onderzoek. De maatregelen blijken steeds onvoldoende en de oplossing wordt gezocht in verfijning, aanscherping en verbreding van de regels en aangepaste processen gevoed door meer onderzoek. In het proces ontstaan allerlei afhankelijkheden, verworven rechten en claims op of gebruik van nog beschikbare vrije ruimte voor het uitoefenen van business modellen.² Met die afhankelijkheden, rechten en claims ontstaan complicaties bij vervolproblemen.

Dus, de eerste norm kan betrekkelijk simpel worden opgelegd. Aanpassen van die norm betekent echter het aanpassen van een stelsel. En dat stelsel groeit met elke toevoeging of aanpassing. Het wordt moeilijker om de ingezette weg, van normering, optimalisatie en nieuwe techniek, voort te zetten. Maar, tegelijk wordt het moeilijker de ingezette weg te verlaten, door alle verworven posities, afspraken en investeringen. We lezen dat terug in de krant. In de begin jaren van de smogbestrijding heerste er een zeker gevoel van saamhorigheid en optimisme. Dit spreekt uit een citaat als 'Local oil refineries announced their Christmas present to the Los Angeles area today, a \$2.000.000 smog-preventive installation' [34]. Er begint ook wrovel te ontstaan over bemoeizucht en ongeduld bij politiek en publiek. Reese H. Taylor, voorzitter van de Western Oil and Gas Association, liet weten dat 'The oil industry is fed up with being the whipping boy for every misinformed person claiming to be an expert on smog' [33]. In de loop der jaren ontstond met alle betrokkenen gesteggel over de koers, normen, tempo, het moment van invoering van maatregelen en economische haalbaarheid ervan.

Edward Tenner maakt in *Why things bite back* een groot thema van het soort proces als boven geschetst [44]. De teneur van zijn verhaal is dat wij probleemsituaties zo aanpassen dat de problemen niet echt opgelost worden maar een tijdje gesust waarna onvoorziene zijeffecten of onbegrepen bedoelde effecten voor nieuwe problemen zorgen. Hij noemt dat *revenge effects*. Allicht lossen we die ook maar gedeeltelijk op. Waar we uiteindelijk in uitkomen is een chronisch probleem, we vergroeiën met dat probleem. Het is Peters' Wet van behoud van ellende in andere termen. Smog is typisch zo'n chronisch probleem.

²Dit door mij gesuggereerde opvullen van vrije ruimte is vermoed ik verwant aan de Jevons paradox en afgeleiden daarvan [43].

Mijn vermoeden is dat bij chronische problemen vaak invarianten een rol spelen.

Naast wat al besproken is, welke andere oplossingen speelden in de casus of komen bij mij op bij het lezen erover? Een proces dat wildgroei vertoont kan rigoureuus worden aangepakt. Je kan de boom die te groot wordt voor het stadstuinje geheel omhakken. Dat gebeurde niet in deze casus. Veel oplossingen lagen in het optimaliseren, herverdelen van ruimte en alternatieve vormen van transport en bestaan, dat laatste bleef echter marginaal. De vraag kwam op of zware industrie wel in de regio kon blijven, en sommige ondernemingen vertrokken inderdaad. Net zo zijn er Nederlandse boeren vertrokken naar Polen en Oekraïne. Ook bewoners trokken weg, naar *smog free areas*.

Cyclische modelvorming, innovatie, optimalisatie en regulering uitmondend in een chronisch probleem is een patroon dat ook in het heden terug te vinden valt. Een voorbeeld is het stikstofdossier. De neerslag van stikstofverbindingen leidt tot verlies aan diversiteit in de natuur en dat wordt niet aanvaardbaar geacht. Dit is geen nieuws. Al decennia wordt via milieuvergunning gereguleerd én economische groei mogelijk gemaakt. Conflicten tussen partijen hebben ertoe geleid dat voor stikstof de boekhouding van alle betrokken processen in één model wordt behandeld, een vorm van uniformering. Volgens de Raad van State, de hoogste bestuursrechter in Nederland, voldeed de wetgeving die in 2015 was ingevoerd niet aan de Europese Habitatrichtlijn en stelde deze buiten werking in 2019 [40]. Daarmee ontstond een impasse die nog verre van opgelost is. Hier is van belang om vast te stellen dat de meeste inspanning erop gericht is om met wederom modelvorming, innovatie, optimalisatie en regulering tot een oplossing te komen. Naar mijn idee gaat het daarmee de kant op van een invariant die veel geld zal kosten en per saldo complexiteit toevoegt door nieuwe afspraken, overbruggingsregelingen, uitgebreidere modellen, afhankelijkheid van nieuwe techniek en beloften.

5.4 Probleemtypen en hun oplossingsrepertoire

In de hierboven besproken casus valt op twee manieren herhaling te zien. De eerste vorm is dat problemen en hun oplossingen in een zeker domein in een zeker tijdsgewricht mutatis mutandis terug te zien zijn in andere domeinen in een ander tijdsgewricht. Soms is dat op een andere schaal. De dreigende congestie van Zwanenburg is kleinschalig vergeleken met de congestie van verkeer in Nederland. De tweede vorm is dat sommige oplossingen het karakter van een invariant hebben. Dat betekent dat zulke oplossingen de voorwaarden scheppen voor de terugkeer van het probleem dat ze beogen op te lossen en voor hun eigen hertoepassing.

Mijn neiging is hier een groter patroon te zien door middel van inductie. De eerste vorm van herhaling is het patroon. De tweede vorm van herhaling is een extra aanwijzing, naast de casusobservaties, voor het eerste patroon, namelijk dat problemen en oplossingen structuur en eigenschappen hebben.

Hypothese 1 (Innovatie-illusie) *Mensen nemen geen willekeurige problemen waar. Mensen denken in een beperkte verzameling van probleemtypen. Het denken duwt een onwelgevallige situatie in een type, een gepercipieerd probleem. Gepercipieerd, want er gaat waarneming aan vooraf, maar het is een projectie.*

Gepercipieerde problemen hebben een karakteristieke verzameling van oplossingen. De geconcipieerde oplossingen. Geconcipieerd, in plaats van gepercipi-

eerd, omdat een oplossing uit onszelf opborrelt.³

Bij elk gepercipieerd probleem hoort een beperkte en vaste verzameling van geconcipieerde oplossingen. Die verzameling noem ik het repertoire van het gepercipieerde probleem.

Gepercipieerde problemen en hun respectievelijke repertoire zijn schaalvrij. Daarmee bedoel ik dat partijen op verschillende niveaus van aggregatie dezelfde gepercipieerde problemen ervaren en hetzelfde repertoire toepassen. Bijvoorbeeld, Het Kabinet Rutte ervaart qua type dezelfde problemen als Wijkagent Pieterse en past hetzelfde repertoire toe.

De hypothese werpt enerzijds empirische vragen op met als doel bewijzen en tegenvoorbeelden te zoeken en anderzijds vragen over het rijmen van de hypothesen met ons gevoel van creativiteit en beheersing van probleemsituaties. De innovatie-illusie doet immers een minder leuke bewering over de werking van ons brein. Dit punt pak ik op in Sectie 6. Wat betreft de empirische vragen wil ik kort zijn, hier volgen slechts enige suggesties.

De beperkte verzameling van gepercipieerde problemen en hun repertoire zou verder in beeld gebracht kunnen worden door probleemposities, probleemsituaties en voorwaardengemeenschappen uit casus te verzamelen, te bestuderen en van metrieken te voorzien. Misschien ligt hier een toepassing voor vergelijkbare modellen als *small world models* [47].

Het vermoeden rijst dat er in de probleemproliferatie patronen te vinden zijn, want het is natuurlijk te verwachten dat het herhaald optreden van problemen en oplossingen een soort alliteratie oplevert. Dat wil zeggen dat gepercipieerde problemen en geconcipieerde oplossingen typeerbare ketens opleveren. Ketens die met enige abstractie domein en schaal onafhankelijk zijn. Twee voorbeeldketens in dezen, waarin tussen haakjes met p_n en o_n corresponderende problemen en oplossingen geïdentificeerd en genummerd worden. Haagen-Smit stelde vast dat de verbranding in automotoren eind jaren 1940 verre van volledig was (p_1). Dit leidde tot scherpere normen (o_1). Die normen vormden een probleem voor de fabrikanten (p_2). De fabrikanten pasten hun motorontwerp hierop aan, onder andere werd de verbrandingstemperatuur hoger (o_2). Dit had tot gevolg dat stikstofoxiden een grotere component in de uitstoot werden met bruine smog en meer fijnstof tot gevolg (p_3). Betere oxidatie was onder andere wat de katalysator mogelijk maakte (o_3). Maar die katalysator kon niet tegen lood en vereiste loodvrije benzine (p_4); de olie-industrie raakte nauwer betrokken en die kwam met loodvrijbenzine (o_4). Eenzelfde schema levert de gloeilamp. Die had als probleem te weinig lux/Watt (p_1). Het moest zuiniger vond de overheid en stelde nieuwe normen (o_1). De fabrikanten moesten wat bedenken (p_2). De spaarlamp deed zijn intrede (o_2). Die bevatte kwik en was daarmee chemisch afval (p_3). De ledlamp deed zijn intrede, die kon met het vuilnis mee (o_3). Die ledlamp laat zich niet gemakkelijk dimmen (p_4), de dimmerfabrikant werd deel van de proliferatie en kwam met fijner regelbare dimmer (o_4).

³Het zou praktisch kunnen blijken om voor gepercipieerd probleem en geconcipieerde oplossing specifieke nieuwe namen te bedenken, bijvoorbeeld proframe en solfiguur. Proframe is een samentrekking van *probleem*, en *frame* komt van het werkwoord *to frame*. Maar als zelfstandig naamwoord komt dat niet voor in het Engels in die betekenis; dat is een nadeel. Solfiguur is samentrekking van *solutie* en *figuur*. Figuur moet hier opgevat als een gestandaardiseerde handeling, zoals bijvoorbeeld kunstrijders die maken op het ijs. Een flip of een axel is een figuur. Het lijkt verstandig om even ruimer de tijd te nemen om dergelijke namen te overdenken en om verder te zoeken in de literatuur naar al bestaande passende namen.

6 Onderzoeken van het symbiotisch evenwicht

De innovatie-illusie botst hard met ons zelfbeeld. Een uitroep als de volgende is heel invoelbaar: ‘Zonder een permanente stroom van échte veranderingen, en échte innovaties kun je toch niet een mens op de maan zetten? Dat we rond tasten in een projectie, oké, maar daar binnen zijn we vrij en super creatief!’. Ik zeg, creatief ja, relatief dan, maar de creativiteit is beknot door een eindig aantal probleemtalen.

In de volgende twee secties wil ik de innovatie-illusie nogmaals aannemelijk maken maar nu door een, misschien wel sterkere hypothese te beargumenteren: de controle-illusie. Dit betoog gaat niet uit van zelfinspectie en casus maar kijkt naar evolutionaire processen, informatie en energiestromen.

6.1 Ecologie en thermodynamica

De levende wereld kan worden gezien als een hiërarchie met aan de basis sub-cellulaire deeltjes en hogerop cellen, weefsels en organen. Ecologie houdt zich bezig met de volgende drie lagen: organismen, populaties en gemeenschappen. De ecologie kent twee basisklassen van verklaringen, de proximale en de ultieme verklaringen. Een proximale verklaring richt zich op de actuele verdeling en voorkomen van, bijvoorbeeld, een zeker soort organisme in termen van zijn eigenschappen. Een ultieme verklaring belicht hoe dit organisme aan die eigenschappen gekomen is. Dat is een verklaring die wordt gesteld in evolutionaire termen. Voor een complete verklaring zijn beide typen verklaring nodig [2].

Evolutietheorie zoals geformuleerd door Darwin en Wallace is een ecologische theorie [12]. Evolutietheorie beschrijft hoe variatie van nakomelingen in wisselwerking met de omstandigheden waaronder die opgroeien nieuwe soorten doen ontstaan.

Levende structuren leven van elkaar. Aan de basis van het leven staan organismen die in staat zijn om uit de anorganische wereld energie en bouwstof te oogsten daarmee zichzelf te reproduceren en hun leven te leiden. Elk ander leven bouwt daarop voort, in complexe samenhangen. Een belangrijk deel van die samenhangen bestaat uit zogenaamde metabolische afhankelijkheidsrelaties: eten en gegeten worden. Daar kan je patronen uit isoleren die voedselpiramides worden genoemd. Dit zijn in abstracto boomstructuren. Aan de top ervan staan toppredatoren. Dat hoeven geen vleeseters te zijn, planteneters zijn ook roofdieren. Een voorbeeld van een dergelijke voedselpiramide zou kunnen zijn: algen, plankton, kleine kreeftachtigen, kleine visjes, haringen, tonijnen.

Eten en gegeten worden is een te simpele voorstelling van zaken van de relaties tussen organismen, maar deze voldoet voor de discussie hier. Het is te simpel omdat er een scala van vormen van samenleven, van symbiose is. Bekende vormen zijn: predatie, parasitisme, commensalisme en mutualisme. Maar het is ook te simpel omdat veel uitwisselingen tussen organismen en hun omgeving, zeker op een kleinere schaal, niet simpel in de eten-of-gegeten-woorden beeldvorming past. In de aggregatie-dynamica zijn de systeemgrenzen en -eenheden waarin wij geneigd zijn te denken niet de norm. In abstracte zin zou ik over transconfiguraties moeten spreken: classificeerbare stromingen van materie en energie. Maar zoals eerder opgemerkt, dit soort termen zijn nuttig om structuur te geven aan het theoretische bouwwerk – en worden daarom opgevoerd – maar ze zijn onpraktisch in dit informele betoog.

De voedselketen hierboven wordt in de aggregatie-dynamica verder uitgebouwd. Bijvoorbeeld, vissers vangen de tonijnen en hebben leningen uitstaan, bij banken, en die keren dividend uit aan aandeelhouders, en die aandeelhouders betalen belasting, aan staten, en die dragen bij aan de Verenigde Naties, en de Verenigde Naties betalen loon uit, aan de secretaris-generaal.

De thermodynamica ofwel de warmteleer is een onderdeel van de natuurkunde en kent vier hoofdwetten. Ik bespreek er twee. De eerste hoofdwet van de thermodynamica staat bekend als de behoudswet: er gaat geen energie verloren. De tweede hoofdwet zegt dat omzettingsprocessen nooit 100% efficiënt zijn, een bepaald deel van de verbruikte energie komt niet ten goede aan het proces. Die verloren energie is vaak niet meer herwinbaar [42]. Bijvoorbeeld, een grote energiecentrale of fabriek heeft misschien als restproduct warm koelwater. Daar zou een stadsverwarming nog wat mee kunnen, zij het weer met enig verlies. Maar veel warmte vliegt al direct als straling weg, hup de ruimte in. Die straling is zeker niet herwinbaar voor ons.

Op het probleemfront is beschikbaarheid van energie een voorwaarde voor oplossingen. Alleen al omdat de meeste oplossingen toevoegingen zijn, nieuwe systemen, regels, functies, noem maar op. Die structuren moeten gemaakt en in stand gehouden worden en dat kost energie. Let wel: energie plus het verlies [27]. Om precies te zijn, om x eenheden ‘ordening’ te scheppen moet elders meer dan x eenheden ‘ordening’ weggehaald worden. Oplossingen leggen een claim op de energietoevoer en de toevoercapaciteit van het netwerk van structuren waar de toevoegingen aan gekoppeld worden. Ook iets opruimen kost energie.

Een consequentie is dat zuiver cyclische processen niet bestaan want er is altijd dat verlies. De natuur is niet in evenwicht. En dus, heeft elke transconfiguratie een soort richting want terugdraaien kost meer dan ‘heen draaien’. Het tendeert één kant op. Deze beweginkjes zitten overal en zijn cumulatief. In Sectie 3 werd aangetoond dat wij vrijwel niks uit de werkelijkheid tot ons doordringt. Niet gek dat we steeds voor verrassingen staan want de wereld om ons heen staat niet stil.

6.2 Controle versus autonomie

Stel voor de eenvoud dat een metabolisch netwerk vanuit het beeld van een partij de vorm heeft van een voedselpiramide. Een dergelijke partij bestaat bij de gratie van de lagen eronder, maar de partij draagt vaak ook bij aan het succes van de lagen eronder. Een boer verwijdert onkruid zodat het graan volop kan groeien. De lagen kunnen van alles leveren. Tot voedsel reken ik alles waar partijen belang aan kunnen hechten: van aardbeien tot Russisch gas tot de laatste cijfers over de bevolkingsgroei. Partijen oefenen enige controle uit op elkaar, ze verzamelen informatie om te kunnen anticiperen op veranderingen, ze manipuleren omstandigheden zodat de partijen waar ze mee samen leven spontaan of met meer of minder dwang een bepaalde welgevallige kant op gaan. Een graanhalm bepaalt echter zelf hoe hoog hij groeit, de boer faciliteert. Partijen hebben dus ook eigen initiatief, autonomie. Er is ook sprake van wederzijdse afhankelijkheid. Modern graan trekt het niet buiten de akker, laat staan de boer.

Wat ik in deze sectie wil laten zien is dat in een symbiose de mate van controle van de ene partij op een andere en omgekeerd beperkt is. Er is altijd

sprake van, enige, autonomie. Verder, die autonomie neemt af hoe hoger in de piramide. Dit is in te zien op basis van evolutionaire en thermodynamische argumenten. Om te beginnen, de verhouding is scheef in een voedselpiramide.

Zou er een onderliggende laag wegvallen dan krijgen de bovenliggende lagen het direct moeilijk. Haal je de algen weg uit de zee dan krijgt de hele voedselketen een klap op zijn minst. Haal je een bovenliggende laag weg dan heeft dat ook een effect: minder beperking, misschien zelfs wildgroei. Bijvoorbeeld: damherten in de Amsterdamse waterleiding die geen natuurlijke vijanden hebben. De secretaris-generaal verwijderen maakt echt niks uit voor de algen. De afhankelijkheid neemt naar boven toe.

De lagen in een piramide zou je kunnen nummeren, in het voorbeeld staan de algen dan op 1 en de secretaris-generaal op 12. Algemener kan je zeggen dat een laag op niveau n afhankelijk is van de laag $n - 1$ eronder en dat deze $n - 1$ slechts tot op zekere hoogte beheerst wordt door n . Valt die beheersing nog nader te karakteriseren?

Stel dat n wel gebruikmaakt van $n - 1$ maar ook via een andere tak in de piramide $n - 1'$ in zijn bestaan kan voorzien. Er is dan sprake van een zekere mate van controle van $n - 1$ en ook van die andere laag. Je moet tenslotte een beetje weten wat er gebeurt om in je bestaan te voorzien. Vergelijk dit met de situatie dat n volkomen afhankelijk is van $n - 1$. Dan is n feitelijk overgeleverd aan de nukken van $n - 1$. Een beetje op de hoogte blijven van wat er daar gebeurt is dan misschien toch wel verstandig. Het belang aan adequate controle is een functie van de mate van afhankelijkheid.

Neem weer n en $n - 1$ in gedachten. Er is een zekere mate van afhankelijkheid en een zekere mate van controle. Hoe hoog zou n die controle kunnen opvoeren? Het zou kunnen zijn dat er een concurrent n' is die iets meer controleert en iets meer plezier heeft van $n - 1$. Een omgekeerde redenatie is ook mogelijk. Een partij n kan een zekere mate van controle uitoefenen met een zeker succes, en tegen zekere kosten. Een concurrent slaagt er misschien in meer succes halen tegen lagere kosten, door de controle net wat anders in te steken. In beide gevallen moet n oppassen. Deze partij moet of mee met de concurrent, of een alternatief plan bedenken, of zij raakt gemarginaliseerd of uitgespeeld. Het belang aan adequate controle is een functie van de mate van afhankelijkheid én van de concurrentiedruk.

Stel nu even dat er geen concurrentie is op het niveau van n . Dan zou je zeggen dan moet n alleen maar zorgen dat deze $n - 1$ kan bijbenen. Er is weliswaar enige controle, maar $n - 1$ is ook deels autonoom. Laag n zou kunnen proberen om $n - 1$ verder uit te nutten. Gebeurt dat rücksichtslos dan gaat hij er zelf aan ten onder, dat is de kip met de gouden eieren slachten. Wil n dat voorkomen dan moet met de controle de beheersing van de situatie meegroeiën. Maar dat brengt kosten met zich mee. Stel n voert de controle steeds een stapje op. In elk stapje gaat n een stukje van het proces en de besluitvorming binnen $n - 1$ nauwkeuriger meten en modelleren om zo de condities waarbinnen $n - 1$ functioneert te manipuleren. Waar eindigt dit? Laag n lost dan geleidelijk op in een simulatie en theorie over $n - 1$ en de omgeving ervan. Maar de thermodynamica steekt hier een stokje voor. Laag n kan niet zoveel energie onttrekken aan $n - 1$, zelfs niet om alleen deze laag volledig te simuleren omdat er altijd energie verloren gaat. Geen enkel systeem is 100% efficiënt. Dus controle kan groeien maar de thermodynamica stelt er een limiet aan. Echt absolute macht is dus zeker uitgesloten. Evolutionaire overwegingen laten zien

dat controle al eerder beknot wordt.

De redenatie van daarnet laat zien dat bij toenemende controle n de autonomie van de onderliggende laag begint te verzwakken. Laag $n - 1$ komt steeds sterker in een door n opgetuigde schijnwereld en n raakt steeds verder gespecialiseerd op het handhaven van een kunstmatige situatie. Het is een dodendans, want als n en $n - 1$ verder verknopen vergeten ze wat er naast hen gebeurt. Het is goed voorstelbaar dat dit wel eens misgaat in de natuur.⁴ Laag n doet er dus slim aan om de controle zo in te richten dat $n - 1$ voldoende autonomie heeft voor maximale ontplooiing en zo dat er voldoende kan worden mee geprofiteerd. Niet te veel, niet te weinig. Maar, de belangrijkste constatering is dat de onderliggende laag zijn autonomie behoudt. Voor de bovenliggende laag ligt dat anders, die heeft minder vrijheid om zelf te kiezen.

De bovenliggende laag kan misschien wat bijsturen door condities in de omgeving van $n - 1$ te beïnvloeden, maar is relatief reactief vergeleken met de onderliggende laag. De onderliggende laag behoudt dus initiatief en juist de bovenliggende laag levert relatief autonomie in. Want de afhankelijkheid neemt naar boven toe en daarmee het belang om de controlemechanismen adequaat te houden. Het onderhoud daarvan is geen vrij keus, het moet.

Hoe hoger in de voedselpiramide hoe permanentier en ingrijpender dat onderhoud van de controlemechanismen zal zijn. En, om het ‘betaalbaar’ te houden: hoe hoger in de voedselpiramide hoe flexibeler de controlemechanismen zullen zijn en hoe lager de kosten voor een elementaire wijziging.

Ik vat al het bovenstaande samen in een hypothese.

Hypothese 2 (de versmallende autonomieladder) *Hoe meer lagen liggen tussen een partij en de primaire voedingsbronnen waar deze op leunt, hoe groter de afhankelijkheid van die lagen, hoe groter het belang van snel aanpasbare en adequate controlemechanismen, hoe meer inspanning het onderhoud daarvan kost, hoe minder autonomie er over blijft.*

Hoge bomen vangen niet alleen meer wind, ze worden ook meer geleefd. Een voorbeeld van dit verschijnsel van versmallende autonomie valt terug te vinden in de informatica. Softwaresystemen zijn over het algemeen ook gelaagd met per laag een of meer bijbehorende programmeertalen. Hoe hoger in deze hiërarchie hoe moeizamer het is om aan uitdrukkingen in zo'n taal stellig te zijn over de betekenis ervan [5]. Een *domain specific language* is de slaaf van het domein.

7 De controle-illusie

In het voorgaande hebben we grenzen aan de controle in een uitgebreide voedselpiramide onderzocht, tot aan de secretaris-generaal. De partijen hierin zijn overwegend complete lichamen, algen, vissen, dat soort. Ik veronderstel nu dat de redenatie uit Sectie 6.2, over het evenwicht tussen controle en autonomie ook overeind blijft voor een veel grotere klasse van voedselpiramiden. Deze symbiotische netwerken bestaan uit de ruimere verzameling van aggregaties.

⁴Bloemen en hun bestuivers kennen soms bizar ingewikkelde relaties en mechanismen. Een voorbeeld is de bevruchting van orchidee *Coryanthes* sp. die bestoven wordt door specifieke bijen uit de euglossine groep van bijengeslachten [25, vanaf p. 57]. In de Nederlandse samenleving lijkt de vervlechting van zorginstellingen, verzekeringsmaatschappijen en overheid steeds meer verstrikt te raken in een zelfgecreëerde schijnwereld.

Denk ik in termen van aggregaties dan vat ik de relaties tussen onderdelen van lichamen symbiotisch op. Alsmede vat ik de dynamische en tijdelijke verbanden waarin deze onderdelen en lichamen optreden symbiotisch op. Zoals al in de inleiding gedefinieerd omvatten de aggregaties elke verzameling fragmenten van de wereld die door een reeds als aggregatie erkende verzameling een rol toegekend wordt. Die rol kan hier verder toegespitst op metabolisme. In essentie bestaat de genoemde rol uit een functie in een projectief schema dat dient tot, uiteindelijk, de onttrekking van grondstof en energie. Een populaire naam voor zo'n schema is een business case.

Een business case projecteert bepaalde eigenschappen op de wereld en geeft routes aan hoe deze eigenschappen benut kunnen worden om energie en materie of iets wat daarmee compatibel is (geld bijvoorbeeld) vrij te spelen. De primaire grootheid in een business case waarvan verondersteld wordt dat die in potentie vertaald kan worden in een relevante vorm van materie en energie noem ik een *potentiaal*. Het is iets dat de potentie heeft om uitgenut te worden, om een functie te vervullen, in een waarde-extractieproces. Een voorbeeld van een potentiaal: stikstofruimte die verhandeld kan worden.

In de hedendaagse voedselpiramide staan mensen bovenaan, en binnen de lichamen van mensen, de neocortex van de hersenen. De neocortex moet een bijzonder snelle controle-eenheid zijn om niet alleen het onderliggende lichaam voor te zijn en er op een slimme manier condities voor te prepareren zodat het lichaam geen dingen doet die strijdig zijn aan het belang van de neocortex. De invloed van de neocortex reikt ook ver buiten het lichaam, er is sprake van een uitgebreid fenotype [46]. Mensen staan aan de top van het symbiotische netwerk, voor zolang het duurt natuurlijk. Volgens de hypothese van de versmalende autonomieladder moeten mensen beschikken over een snel mechanisme om overlevingsstrategieën te zoeken. Hoe zou dat kunnen werken?

7.1 Geëncapsuleerde evolutie

Hoe is controle als mechanisme georganiseerd? Controle zoals mensen dat uitoefenen bestaat niet in de onderste regionen van een voedselpiramide. In die regionen is het voortplanting of nog primitiever, replicatie, die zorgt voor kopieën die variëren. Sommige daarvan doen het beter dan het origineel. Er is dus geen controle. Wat werkt blijft en wat niet werkt sterft af. Het is bijzonder grof. Basale zichzelf replicerende structuren zijn op te vatten als een tabel die gedrag voorschrijft. In de regels van die tabel staat: in situatie x doe y .

Controle in de eerder besproken zin krijgt kansen als er structuren ontstaan die een onderscheid mogelijk maken tussen binnen en buiten. Dat klinkt misschien vergezocht. In feite is de aardkorst ook een binnenwereld relatief ten opzichte van de rest van het heelal. Hetzelfde geldt voor een afgesloten vallei, of het eiland waar de Darwinvinken heen waren gewaaid.

Niets verhindert de evolutionaire krachten om in een binnenmilieu een nieuw evolutieproces op gang te brengen. Het is dat wat het mogelijk maakt dat een levende structuur, of in algemene zin een aggregatie, gedrag kan gaan vertonen dat de situatie van een tabel als boven overstijgt. Namelijk door het evolutionaire proces als functie binnenboord te halen. *Geëncapsuleerde evolutie* dus. De fysieke realisatie hiervan kan verschillende vormen hebben. Netwerken van neuronen zijn er één van. Hoge snelheid evolutie zit in je hoofd. De gedachte die zich aan je openbaart is het winnende wereldbeeld, de winnende projectie.

Die openbaring is wat wij bewustzijn noemen. Maar, het is niet meer dan een echo van dat wat het lichaam denkt en doet. Het koppelt terug aan het lichaam wat het doet en wat het denkt te doen. Het is een bekende positie uit de wetenschappelijke literatuur en al veel langer uit de filosofie. Het bewustzijn is er ook getuige van dat lichamen elkaar vertellen wat ze doen en wat ze van plan zijn en wat ze verwachten. In de evolutie van dergelijke communicatie is het natuurlijk goed voorstelbaar dat daar de notie van een 'ik', een identificatie van wie er spreekt, opduikt. Het bewustzijn loopt achter de feiten aan als interne feedbackloop uit de cybernetica [15].

Hypothese 3 (De controle-illusie) *De gedachten die we ervaren als creatieve vondsten, sterk verbonden aan ons ego, zijn het resultaat van een bottom-up proces in ons hoofd, in reactie op een bottom-up proces in het lichaam en de omgeving die we proberen te controleren.*

Het is weliswaar niet zo dat elke actie die we ondernemen gemotiveerd wordt vanuit de laagste regionen van het metabolische netwerk waar we onderdeel van zijn. Ieder onderdeel daarvan kan de start zijn van een reactieketen naar boven, en dat kan dus ook ergens in het lichaam plaatsvinden, of ergens in de hersenen. Maar het blijft bottom-up.

8 Consolidatie versus exploratie

Zoals alles is ook geëncapsuleerde evolutie onderhevig aan evolutionaire krachten. Een specifiek cognitief toegeruste aggregatie kan erin slagen een bepaalde positie te bereiken. Door de situatie waarin ze verkeert te exploreren en een strategie te ontwikkelen voor meer succes, of om onder concurrentiedruk uit te komen. Maar als die positie bereikt is, en onbedreigd, en alles zijn gangetje gaat, dan kan het misschien wel een tandje minder. Dan is die specifiek opgetuigde aggregatie niet meer nodig. In die situatie is een concurrent die met minder cognitieve capaciteit, en dus minder kosten, dezelfde mate van controle bereikt in het voordeel.⁵ Het is dan ook te verwachten dat geëncapsuleerde evolutie, met andere woorden, exploratieve en dure processen, onder druk staan van goedkopere mechanismen. Een ontwikkeling in die richting zou je consolidatie kunnen noemen, of professionalisering. Consolidatie is een verruiming van het begrip kennismaterialisatie van Bergstra c.s. [7].

De wisselwerking tussen consolidatie en exploratie is van invloed op de vorm van de probleemproliferatie en de keuzes gemaakt aan het front. Exploratieve geconcipieerde oplossingen voegen structuren toe en consoliderende geconcipieerde oplossingen herimplementeren die in meer rigide structuren. Beide type ingrepen hebben hun eigen consequenties voor de vorm van de probleemproliferatie. Consolidatie heeft als zijffect symptoomgedrag en wereldvreemdheid. Exploratieve geconcipieerde oplossingen roepen weerstand op doordat er meer onrust en bedreigingen mee gepaard gaan.

De historicus en socioloog James Beniger heeft zich met coherentie in grote systemen van mensen en machines bezig gehouden in *The Control Revolution*. Hij maakt onderscheid tussen drie niveaus van aanpak bij de behandeling van

⁵Dit is niet de Wet van de remmende voorsprong, want de partij die ingehaald wordt is niet lui geworden, maar is organisatorisch niet tegen inhalers opgewassen [41].

een probleem: *existence, experience, evolution* [4, p. 103 tabel 3.2]. De categorie *existence* omvat standaardhandelingen en -reacties. Het volgende niveau, *experience*, omvat leren van de omgang met een probleem en het repertoire daarop aanpassen of aanvullen. Het laatste niveau, *evolution*, grijpt dieper. Het is een herstart van een lerend systeem, of een kloon daarvan, op basis van nieuwe uitgangspunten waarna er een nieuw stelsel evolueert. Mijn indeling in consolidatie en exploratie in een vereenvoudiging van zijn driedeling; ik neem *existence* en *experience* samen want het verschil daartussen vind ik minder essentieel.

Het is volgens mij niet gewaagd om te stellen dat veel systemen fases van consolidatie en exploratie cyclisch afwisselen. Bijvoorbeeld, bedrijven en organisaties reorganiseren af en toe flink, maar tussen die grote ingrepen vinden kleinere plaats. In systeemtheoretische termen geformuleerd: systemen raken door consolidatie successievelijk buiten hun rationaliteitsgebied, daardoor gaan ze minder goed functioneren en dan biedt een rigoureuze risicovolle evolutionaire fase mogelijk redding, waarna weer consolidatie volgt. Deze herschikking zou opgevat kunnen worden als een vorm van backtracking, mogelijk ligt daar een opening voor een formele formulering van de hierboven beschreven verschijnselen [6].

9 Wat kunnen we hier mee?

Dit artikel is een inleiding tot aggregatie-dynamica en tevens een studie daarin. Het resultaat is samen te vatten als drie hypothesen: de innovatie-illusie, de versmallende autonomieladder en de controle-illusie. Het zijn resultaten die passen in een reeks van krenkingen van de mensheid, een typering van Sigmund Freud: Copernicus plaatste de mens op een onbeduidende planeet; de verlichtingsdenkers gaven de mens verantwoordelijkheid in het nu, los van een God; Darwin en Wallace plaatsten de mens terug in de natuur met de evolutietheorie; Freud voegde eraan toe dat mensen niet de baas zijn over hun gevoelens. Bij herhaling trokken nieuwe inzichten illusoire scheidingen weg tussen mens en omgeving. Gekrenkt hield de zich verheven wanende mens zich vervolgens vast aan wat er nog aan superioriteit restte, zijn vindingrijkheid, zijn morele standvastigheid en beheerskwaliteiten. Die zijn naar mijn idee dus ook illusoir: ons oplossingsvermogen is beperkt, we zijn opportunisten en we zijn reactief.

Dat klinkt natuurlijk allemaal heel stoer. Maar, pas ik de aggregatie-dynamica op zichzelf toe dan moet ik vaststellen dat dit hele betoog een type zal zijn en een complexe toevoeging aan de wereld. Dit artikel is even verdacht als elke andere menselijke activiteit. Het is geen oplossing. Laat ik dergelijke overwegingen even los, dan is de logische en natuurlijke vraag: kunnen we er (toch) wat mee?

Wat betekenen de hypothesen typisch voor de uitdagingen waar de mensheid zich nu voor gesteld ziet, zoals de energietransitie, of de strijd tegen klimaatverandering? De hypothesen zijn in elk geval een waarschuwing aan het adres van diegenen die denken dat we die of die crisis wel even gaan oplossen. De problemen die je aan de voordeur naar buiten duwt komen in een andere vorm door de achterdeur weer naar binnen, als je niet oppast.

Een fundamentele vraag is of er een marge is waarbinnen de huidige vorm van mensheid zich kan bestendigen, voorop gesteld dat dat het doel is. In algemene zin kan je denk ik stellen dat leven een verschijnsel is dat kan opduiken als

entropiegeneratie langs andere wegen maar beperkt mogelijk is. In dit thermodynamische vervalproces moet de mensheid meebewegen. Determinisme is hier niet het punt, dat ervaren we toch niet in het leven van alledag. De innovatie- en controle-illusie geven echter aan dat de bewegingsruimte heel beperkt is, ook voor ‘opgevoerde’ mensen, die zich bijvoorbeeld van kunstmatige intelligentie of andere snufjes optuigen. Is er een pad in de probleemproliferatie naar een duurzame toekomst?

De ecologisch econoom Herman Daly heeft hier een leven lang gewerkt aan duurzame samenleving, hij zag wel een marge. Zijn antwoord is een steady-state economy en een specifieke vorm van ethiek [11]. Het is mij echter niet zo helder hoe je daar als samenleving moet komen, structuren verzetten zich tegen verandering (Sectie 5.3), en ook niet hoe je daar in kan blijven.

Hoopgevend is onze flexibiliteit, zo kan de hypothese over de versmallende autonmieladder, binnen de marges van de twee andere hypothesen, ook opgevat worden. Die flexibiliteit valt ook terug te lezen in de pluriformiteit van samenlevingen van mensen in de laatste millennia. David Gaeber en David Wengrow onderzoeken in *The dawn of everything* het ontstaan van ongelijkheid en verlies aan vrijheid in menselijke samenlevingen [16]. Ze tonen aan dat samenlevingen gegrondvest op verschillende wereldbeelden en met verschillende culturele en technische vaardigheden lang naast elkaar bestonden. Deze samenlevingen zagen bepaalde voor- en nadelen in elkaars organisatie, maar namen die voordelen niet zomaar over, ze hielden vast aan hun eigen tradities. Bijvoorbeeld, de oorspronkelijke bewoners van Canada keken neer op de Franse kolonisten. Ze vonden de technische vaardigheden van de Fransen wel interessant, maar achten de cultuur van onvrijheid en oneerlijkheid waarmee die vaardigheden gepaard gingen te verwerpelijk.

Voor de discussie hier is die indiaanse zelfbeheersing en het indiaanse inzicht in de Franse kolonistencultuur in relatie tot vrijheid iets om verder te onderzoeken. Zo vallen er veel relaties tussen de aggregatie-dynamica en voorstellen in de literatuur te onderzoeken, dat gaat het bestek van dit artikel echter te boven. Maar misschien is het eerste dat dient te gebeuren: in de ivoren toren werken aan verdere empirische onderbouwing van de hypothesen en zoeken naar tegenvoorbeelden ervan.

Referenties

- [1] Gerard Alberts and Bas van Vlijmen, *Computerpioniers. Het begin van het computertijdperk in Nederland*, AUP, Amsterdam, 2016.
- [2] Michael Begon and Colin R. Townsend, *Ecology. from individuals to ecosystems*, 5e editie ed., Wiley Blackwell, 2021.
- [3] Nienke Beintema, *De guineaworm is een gruwelijke parasiet waar de mens bijna van verlost is*, NRC (2020), no. 18 februari.
- [4] James R. Beniger, *The Control Revolution. Technological and Economic Origins of the Information Society*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.), 1986.
- [5] J.A. Bergstra, *persoonlijke communicatie*, 1997 (onzeker).

- [6] J.A. Bergstra, A. Ponse, and J.J. van Wamel, *Process algebra with backtracking*, A Decade of Concurrency Reflections and Perspectives (J.W. de Bakker, W.P. de Roever, and G. Rozenberg, eds.), LNCS, vol. 803, Springer, 1994, pp. 46–91.
- [7] J.A. Bergstra and S.F.M. van Vlijmen, *Theoretische software-engineering. Kenmerken, faseringen en classificaties*, Quaestiones Infnitae, The Leiden – Utrecht Research Institute of Philosophy, Utrecht, 1998.
- [8] Bart Boele, 'Omwonenden dupe van panelen op schooldaken', Haarlems Dagblad (2022), no. 9 juli.
- [9] Hans van de Braak, *Weg met de file. Sociologie van het autorijden*, Enzo Press, Amersfoort, 1996.
- [10] Ernest E. Brashear, *THE SMOG STORY: things to come*, Daily News (1950), p. 3.
- [11] Herman Daly, *Economics for a Full World*, Great Transition Initiative (June 2015).
- [12] Charles Darwin, *The origin of species by means of natural selection*, Penguin books, 1985 (1859).
- [13] S.H. Dewey, *Don't Breathe the Air. Air Pollution and U.S. Environmental Politics, 1945-1970.*, Environmental History Series, no. 16, Texas A&M University Press, 2000.
- [14] Maxim Februari, *De planeet is een raadsel*, NRC (2022), no. 30 april.
- [15] Charles François, *Systemics and cybernetics in a historical perspective*, Systems Research and Behavioral Science **16** (1999), no. 3, pp. 203–219.
- [16] David Graeber and David Wengrow, *The dawn of everything. A new history of humanity*, Penguin Books, 2022 (2021).
- [17] A.J. Haagen-Smit, *Chemistry and Physiology of Los Angeles Smog*, Industrial and engineering chemistry **44** (1952), no. 6, pp. 1342–1346.
- [18] A.J. Haagen-Smit, E.F. Darley, M. Zaitlin, H. Hull, and W. Noble, *Investigation on injury to plants from air pollution in the los angeles area*, Plant physiology (Bethesda) **27** (1952), no. 1, pp. 18–34.
- [19] Ton Hendriks and Sebastiaan van der Veer, *Maak Nederland Filevrij. Aanzet voor een actieplan op basis van 1000+ ideeën van ANWB-leden*, ANWB, 2017.
- [20] Chip Jacobs and William J. Kelly, *Smogtown. The Lung-Burning History of Pollution in Los Angeles*, Overlook Press, Woodstock & New York, 2008.
- [21] Daniel Kahneman, *Thinking, Fast and Slow*, Farrar, Straus & Giroux Inc, 2012.
- [22] Lynn Margulis and Karlene V. Schwartz, *Five Kingdoms. An Illustrated Guide to the Phyla on Earth*, second ed., W.H. Freeman and company, New York, 1988 (1982).

- [23] Humberto R. Maturana and Francisco J. Varela, *The tree of knowledge. the biological roots of human understanding*, revised edition ed., Shambhala Publications Inc., Boston (Mass.), 1998.
- [24] Dennis Meadows, *Rapport van de Club van Rome. Grenzen aan de groei.*, Het Spectrum, 1972, Met commentaar van de club van Rome.
- [25] Bastiaan Meeuse and Sean Morris, *De voortplanting van bloemen*, Het Spectrum, ??, 1984.
- [26] Hans Peters, *De wet van behoud van ellende. De natuurlijke grenzen van de welvaart*, Wetenschappelijke Uitgeverij bv, 1973.
- [27] Ilya Prigogine and Isabelle Stengers, *The end of certainty. time, chaos, and the new laws of nature*, The Free Press, New York, 1999.
- [28] redactie, *Trial Balloons for Smog*, Los Angeles Evening Citizen News (1946), no. 16 september, p. 3.
- [29] _____, *Weather Likely to Give Smog Expert Real Show*, The Los Angeles Times (1946), no. 12 december, p. 1 en 2.
- [30] _____, *Smog Control Class Held for Rookie Police*, The Los Angeles Times (1947), no. 17 november, p. 17.
- [31] _____, *System for Smog Control Unified*, The Los Angeles Times (1947), no. 15 oktober, p. 1 en 2.
- [32] _____, *Delay in Smog Program Asked by Industrialists*, The Los Angeles Times (1948), no. 15 januari, p. 2.
- [33] _____, *Millions Spent To Eliminate Fumes*, Wilmington Daily Press Journal (1949), p. 1.
- [34] _____, *Smog Control Plan Announced by Oil Companies in L.A.*, Evening Vanguard (1949), p. 1.
- [35] _____, *4500 Hear Demand for Smog Probe*, The Los Angeles Times (1954), no. 21 oktober, p. 2 e.v.
- [36] _____, *BATTLE BEING WON. \$100 Million Goes Into Smog Fight*, Valley Times (1958), no. 9 september, p. 38.
- [37] _____, *State Laws Sought on Smog-Control Devices*, The Los Angeles Times (1958), no. 4 december, p. 22.
- [38] _____, *Cyberbeveiligers organiseren zich tegen 'cowboys' op de markt*, Financieel dagblad (2018), no. 14 maart, p. 5.
- [39] Herman de Regt and Hans Dooremalen, *Het snapgevoel. Hoe de illusie van begrip ons denken gijzelt*, Boom, Amsterdam, 2015.
- [40] Johan Remkes, *Remkes presenteert stikstofrapport*, uitzending op NPO Radio 1 Extra, 2022, 5 oktober van 12:57-14.00.

- [41] Jan Romein, *De dialektiek van de vooruitgang*, Forum **4** (1935), pp. 752–777, 828–855.
- [42] Dorion Sagan and Eric D. Schneider, *Into the cool: energy flow, thermodynamics, and life*, The University of Chicago Press, 2005.
- [43] Harty D. Saunders, *The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth*, The Energy Journal **13** (1992), no. 4, pp. 130–148.
- [44] Edward Tenner, *Why things bite back: technology and the revenge of unintended consequences*, Vintage books, New York, July 1997 (1996).
- [45] M. Thain and M. Hickman, *Dictionary of Biology*, 9 ed., Penguin, 1994.
- [46] J. Scott Turner, *The Extended Organism: The Physiology of Animal-Built Structures*, Harvard University Press, 2000.
- [47] Duncan J. Watts and Steven H. Strogatz, *Collective dynamics of ‘small-world’ networks*, Nature (1998), no. 393, pp. 440–442.