

[return](#)

## **De non-lineaire dynamica's van wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen**

pp. 65-70 in: M.F. van den Bergh, R. A. de Klerk, G.J. de Reuver (redactie), *Bouwen aan academisch onderwijs: Verkenningen bij gelegenheid van het afscheid van professor Karel van Dam*, Universiteit van Amsterdam, 2002.

In de schaduw van het wetenschapsbeleid is het wetenschaps- en technologie-onderzoek in de afgelopen decennia uitgegroeid tot een wetenschappelijk specialisme, dat in Nederland ook wel bekend staat onder de naam *wetenschapsdynamica*. Hoe kunnen nationale overheden wetenschaps- en technologiebeleid voeren als wetenschappelijke kennis moet worden ontwikkeld op internationaal niveau? Stuurt men dan niet op de verkeerde parameters, namelijk alleen maar op de toepassingen zonder het inhoudelijke proces van kennisontwikkeling zelf te beïnvloeden?

Aanvankelijk werd in het wetenschapsonderzoek onderscheid gemaakt tussen de organisatie van wetenschap en technologie in (bijvoorbeeld nationale) organisaties aan de ene kant en inhoudelijke wetenschapsontwikkeling op het niveau van het internationale veld aan de andere. De instituties dragen de functie van culturele kennisontwikkeling. Door middelen gericht in te zetten kan de institutionele laag worden gestuurd en indirect kunnen daarmee misschien accenten worden aangebracht op het niveau van de inhoudelijke ontwikkeling. Dit model geeft aan beleidsmakers een duidelijke functie.

De werkelijkheid bleek echter weerbarstiger dan de leer. In een vergelijkend onderzoek (in 1987) naar het Nationaal Onderzoeksprogramma Windenergie (NOW) en het Nationaal Onderzoeksprogramma Zonne-energie (NOZ) vonden we voor het ene programma een heel andere opbrengst aan wetenschappelijke publicaties dan voor het andere. Als beleidskaders waren deze twee programma's vrijwel identiek. Toch ontstonden in het geval van zonne-energie nieuwe wetenschappelijke centra van expertise, bijvoorbeeld op het gebied van zonnecellen, terwijl op het gebied van windenergie de nadruk meer lag op de toepassingen.<sup>1</sup>

Voor de betrokken wetenschappers bood windenergie zodoende onvoldoende perspectief om te kunnen publiceren. Velen van hen keerden na verloop van tijd terug naar de discipline van herkomst (vaak natuurkunde), terwijl bij zonne-energie wel degelijk inhoudelijke ontwikkelingen op gang kwamen. Soortgelijke resultaten werden ook door wetenschapsonderzoekers in Duitsland en de Verenigde Staten

---

<sup>1</sup> Leydesdorff, Loet, & Peter van der Schaar (1987). 'The Use of Scientometric Indicators for Evaluating National Research Programmes.' *Science & Technology Studies* 5, 22-31.

gemeld.<sup>2</sup> Kennelijk gaat van de intellectuele organisatie van een vakgebied zelf een sturende werking uit waaraan niet zonder meer door lokale overheden en geld een tegenwicht kan worden geboden. Hoe kunnen we deze ‘zelf-organisatie’ van wetenschapsonwikkeling begrijpen?

De Amerikaanse wetenschapshistoricus Thomas Kuhn heeft al in 1962 voorgesteld om over wetenschapsonwikkeling te denken in termen van paradigma's.<sup>3</sup> Paradigma's kunnen we begrijpen als taalspelen waarin bepaalde ‘jargonistische’ regels gelden, zodat het mogelijk wordt om gedetailleerd met elkaar van gedachten te wisselen over specifieke fenomenen. Eigenlijk ontstaat pas door het aanbrengen en bediscussiëren van de fijnmazige onderscheidingen een scherp perspectief op die fenomenen. Zonder quantumfysica geen dualiteit, zonder psychologie geen begrip zoals ‘IQ’ of ‘neurose’. Wetenschappers leven in een universum dat ze opspannen met hun begrippen. De constructies zijn niet willekeurig, omdat de codes van de communicatie de kwaliteit streng bewaken.

Een eerste voorbeeld van een paradigma levert de Newtoniaanse fysica. Niemand van ons heeft ooit een puntmassa gezien, maar toch kunnen we gemakkelijk met de wetten van Newton de fenomenen beschrijven en voorspellingen doen. Sommige uitspraken blijken na toetsing meer ‘waar’ dan andere en alleen maar door die nieuwe uitspraken ter discussie te stellen komen we in de wetenschap verder. Meer algemeen maken individuele wetenschappelijke ontdekkers en onderzoekers aanvankelijk alleen maar kennisclaims. Pas door de ontdekkingen en ideeën in te voegen in een argumentatie ontstaat een wetenschappelijk weefsel van kennis.<sup>4</sup>

Zo gevalideerde kennis kunnen we ook weer toepassen in andere contexten. Om dit type wetenschapsonwikkeling op gang te krijgen, moeten we op die twee niveaus kunnen bediscussiëren, namelijk op dat van het (lokaal) vrijelijk ontwikkelen van ideeën en op dat van het (boven-lokaal) vrijelijk kunnen kritiseren van die ideeën. Je zou kunnen zeggen dat het eerste niveau de variatie genereert, terwijl het tweede niveau een selectie-omgeving biedt. Wetenschappelijke specialismen kunnen dan als niches van gespecialiseerde communicatie worden beschouwd.

Op het niveau van de maatschappij is deze vrijheid van onderzoek nauw verbonden met de wetenschappelijke revolutie in de tijd van Galilei (1632)<sup>5</sup> en Newton (1687).<sup>6</sup>

---

<sup>2</sup> Van den Daele, Wolfgang, Wolfgang Krohn, & Peter Weingart (Eds.) (1977). *Geplante Forschung: Vergleichende Studien über den Einfluss politischer Programme auf die Wissenschaftsentwicklung*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.

<sup>3</sup> Kuhn, Thomas S. (1962, <sup>2</sup>1970). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.

<sup>4</sup> Amsterdamska, Olga, & Loet Leydesdorff (1989). ‘Citations: Indicators of Significance,’ *Scientometrics* 15, 449-471.

<sup>5</sup> Galilei, Galileo (1632). *Dialogo*. [*Dialogue concerning the two chief world systems, Ptolemaic and Copernican*, translated by Stillman Drake (London) 1953.]

Het recht van de kerk om te interveniëren in de wetenschapontwikkeling ten gunste van een van God gegeven waarheid moest worden gebroken. In de wetenschappen moeten ‘waarheden’ kunnen worden onderzocht en ze gelden per definitie alleen tot nader orde. Als het wetenschappelijk taalspel zijn verklarende kracht verliest - of eigenlijk precieser geformuleerd: als het oude paradigma geen nieuwe ontwikkelingsmogelijkheden meer biedt - dan verdwijnt het en ontstaan er mogelijk nieuwe.

Op het niveau van de culturele evolutie staan de systemen ook onder selectie-druk. Alleen de sterkste ‘soorten’ overleven. Wij kunnen ons bijvoorbeeld nauwelijks meer voorstellen waarom men een zieke zou moeten aderlaten. Het is ook erg lastig om vandaag de dag de achttiende eeuwse phlogiston-theorie uit te leggen. Met andere woorden: een zelf-organiserend communicatiesysteem heeft een zelfreinigende werking, namelijk omdat men steeds opnieuw moet selecteren uit de mogelijke ontwikkelingsrichtingen met het oog op wat in het heden de meeste perspectieven lijkt te bieden. Die keuzen worden door de wetenschappelijke gemeenschappen gemaakt in termen van kwaliteit, dat wil zeggen door gebruik te maken van de specifieke code van de communicatie in het vakgebied. Dit is een interactief en recursief proces dat complexiteit genereert en dat we in toenemende mate kunnen analyseren met behulp van non-lineaire dynamica.

De Duitse socioloog Niklas Luhmann heeft in 1984 deze volgende stap gezet door voor te stellen om intermenselijke communicaties te modelleren met zelf-organisatie-modellen uit de biologie.<sup>7</sup> We zouden de maatschappij daartoe kunnen herdefiniëren als bestaande uit intermenselijke communicaties. De mensen die de communicaties dragen, vormen vanuit dit perspectief analytisch de omgeving van de maatschappij. Ze zijn de knopen van het netwerk, maar de sociologie richt zich op de ontwikkeling van het netwerk als zodanig. De sociologie bestudeert dan wat er tussen mensen gebeurt, terwijl de psychologie individuele mensen tot onderwerp van studie maakt. Dit zijn dus twee afzonderlijke, zij het samenhangende domeinen. De mensen verwerken gedachten, ervaringen en gevoelens, maar het netwerk communiceert. Door te communiceren leert het netwerk *in a distributed mode*, dat wil zeggen volgens een eigen dynamiek.<sup>8</sup>

---

<sup>6</sup> Newton, Isaac (1687). *Principia*; F. Cajori (ed.), *Sir Isaac Newton's Mathematical Principles of natural philosophy and his system of the world*; translated into English by Andrew Motte in 1729 (University of California Press, Berkeley, 1934).

<sup>7</sup> Luhmann, Niklas (1984). *Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie* (Frankfurt a.M.: Suhrkamp).

<sup>8</sup> Loet Leydesdorff, *A Sociological Theory of Communication: The Self-Organization of the Knowledge-Based Society*. Parkland, FL: Universal Publishers, 2001; at <http://www.upublish.com/books/leydesdorff.htm>

In een vrije samenleving kan men weer verder communiceren over communicaties en de verschillende soorten van communicaties kunnen worden onderscheiden en gedifferentieerd. De marktdynamiek wordt bijvoorbeeld anders dan de wetenschappelijke dynamiek of de dynamiek van communicatie in intieme relaties. Zo'n recursief systeem loopt in lussen, maar omdat communicaties zowel geformaliseerd als informeel kunnen zijn, storen de verschillende communicatieniveaus elkaar continu en op een manier die in een formele computertaal verboden zou zijn. We krijgen als het ware een neuraal netwerk, waarin wij zelf de neuronen zijn en onze steeds wisselende communicaties de dendrieten. Maar omdat deze dendrieten niet fysiek of biologisch zijn, zijn ze ook veel flexibeler. Wat het ene moment nog voor 'waar' werd gehouden, kan het volgende moment al weer achterhaald zijn. Kortom: sociale communicatiesystemen kunnen in principe veel sneller leren dan biologische systemen.

Anders dan virtuele communicatiesystemen zijn intermenselijke communicatiesystemen gekoppeld aan de leerprocessen in de humane dragers van de interactiesystemen. Met een biologisch begrip noemen we dit 'structurele koppeling'.<sup>9</sup> De communicaties vormen de omgeving van de mensen en omgekeerd zijn de mensen nodig voor de communicaties. Maar beide systemen hebben ook interne vrijheidsgraden om zich te herstructureren. Met dit perspectief kunnen we een veel scherpere beschrijving maken van de ontwikkeling van de moderne maatschappij in termen van een culturele evolutie, dan wanneer we moeten aannemen dat de maatschappij door elke generatie opnieuw vorm moet worden gegeven. De nieuwe generatie treft een toestand van culturele evolutie aan die alreeds verwachtingspatronen en heuristische bevat, omdat door vorige generaties oplossingen voor bepaalde coördinatieproblemen zijn gevonden waarop kan worden verder gebouwd.

De relatie van het wetenschapsonderzoek met het technologie-onderzoek kan nu opnieuw worden geformuleerd. Technologieën ontwikkelen zich langs trajecten en soms ook in de vorm van globale regimes. Het gebruik van de auto in het vervoerssysteem kan als een regime worden gekarakteriseerd. Als de overheid de benzineprijs verhoogt, dan leidt dit tot de ontwikkeling van efficiëntere motoren en niet vanzelf tot meer gebruik van het openbaar vervoer.<sup>10</sup>

Technologische ontwikkelingen kunnen worden beschouwd als het maatschappelijk interface-systemen tussen wetenschapsonwikkeling enerzijds en marktontwikkelingen anderzijds. Zulke emergente interfacesystemen zijn eigenlijk pas mogelijk geworden vanaf ongeveer 1870. Nadat de religieuze integratie van de samenleving in West-Europa teloor was gegaan, moest er in elk land eerst een

---

<sup>9</sup> Maturana, Humberto R., & Francisco J. Varela (1984). *The Tree of Knowledge*. Boston: New Science Library.

<sup>10</sup> Leydesdorff, Loet & Peter van den Besselaar (1998). Technological Development and Factor Substitution in a Non-linear Model, *Journal of Social and Evolutionary Systems* 21(2), 173-192.

maatschappelijke puzzel worden opgelost, namelijk hoe al die interfaces tussen maatschappelijke subsystemen zouden moeten worden geregeld. Frankrijk en Amerika waren de eerste landen die tegen het eind van de achttiende eeuw daarvoor maatschappelijke stelsels hebben ontwikkeld. De andere ‘nationale staten’ volgden in de eerste helft van de negentiende eeuw en nadat die puzzels rond ongeveer 1870 overal waren opgelost, kon men beginnen te experimenteren met andere dan ‘natuurlijke’ vormen van integratie.

De periode van 1870 tot 1910 wordt wel beschouwd als de ‘technologisch-wetenschappelijke revolutie’. Nu ontstaan voor het eerst bedrijfslaboratoria; eerst in Duitsland, maar later ook elders. Patentwetgeving wordt belangrijk in de international competitie.<sup>11</sup> Wetenschappers zoals Ernst Mach stellen zich de vraag waarin wetenschappelijke uitspraken dan nog verschillen van andere, zoals bijvoorbeeld politieke of religieuze. In de wetenschapsfilosofie is dit probleem uitgewerkt als het ‘demarcatievraagstuk’ van Popper.<sup>12</sup>

Naarmate de maatschappij in de twintigste eeuw kennisintensiever wordt, verschuift de klemtoon naar ‘vertalen’: hoe vertalen we een wetenschappelijk inzicht in een politiek relevant argument? Hoe zetten we wetenschappelijke kennis om in economische activiteiten? Hoe ook kunnen financiële middelen worden ingezet in kennisintensieve communicatiesystemen? De verschillende communicatiesystemen opereren op elkaar in termen van specifieke selecties. De politieke discussie gebruikt bijvoorbeeld van de wetenschap alleen dat wat de politieke discours voedt en de economie is niet geïnteresseerd in voorshands onrendabele projecten. Omgekeerd proberen wetenschappers middelen te werven om hun eigen wetenschappelijke doelen na te kunnen streven. Ook maatschappelijk opereren hier dus codes van de communicatie op elkaar, waarbij de dragers aan de interfaces als vertalers optreden.

Anders dan bij de vertaling tussen ‘natuurlijke’ talen, liggen de spelregels bij ‘functionele’ vertalingen, dat wil zeggen tussen functionele differentiaties, niet vast. Omdat deze vertaalprocessen ingewikkeld zijn, kunnen de interfaces soms worden verbeterd door wetenschappelijke bestudering en modellering. Omdat het object van onderzoek niet langer de biologische evolutie is, maar selectie door communicatiesystemen, noemen we dit ook wel neo-evolutionaire theorie.

Met name in de economie heeft deze evolutionaire benadering een grote vlucht genomen bij het bestuderen van technologische ontwikkelingen, innovaties en de herstructurering van markten die daarvan uit kan gaan. Soms wordt daarbij de markt als een gegeven genomen, maar de idee dat markten door technologische ontwikkelingen en soms ook door maatschappelijke regulering kunnen worden geherstructureerd heeft flink terrein gewonnen. Met name, in de kennis-intensieve

---

<sup>11</sup> Noble, David (1977). *America by Design*. New York: Knopf.

<sup>12</sup> Popper, Karl R. [1935]/ 1959. *The Logic of Scientific Discovery*. London: Hutchinson; Popper, Karl R. (1972). *Objective Knowledge. An Evolutionary Approach*. Oxford: Oxford University Press.

sectoren worden marktverwachtingen niet langer in termen van eenvoudige prijsvorming gespecificeerd, maar de prijs wordt afgewogen tegen *performance*. In de verwachting met betrekking tot de *performance* zit de technologische ontwikkeling ‘vertaald’ door deze economisch te waarderen.

Relaties tussen universiteit, industrie en overheid vormen in toenemende mate een ‘triple helix’ die samen de kennisinfrastructuur van moderne maatschappijen biedt. Van een drievoudige dynamiek kan niet verwacht worden dat er blijvende stabiliteiten ontstaan. Op sommige punten ontstaan co-evoluties die lange tijd trajecten kunnen dragen, zoals bijvoorbeeld in de energie-sector of in de gezondheidszorg. Elders raakt de overheid juist de greep op de ontwikkeling kwijt. Dit complexe plaatje laat zich zowel modelleren alsook meer analytisch bestuderen. We kunnen daarbij nu gebruik maken van de enorme data-bestanden die on-line beschikbaar komen. Zo stellen zowel de Verenigde Staten als de Europese Unie hun complete patentbestanden on line beschikbaar. De *Index Medicus* is als on line versie op het internet verregaand superieur aan alle vorige versies. Bibliometrie, scientometrie, webometrie etc. leveren ons in toenemende mate technieken om evolutionaire patronen in deze rijke data te herkennen.<sup>13</sup>

De ontwikkeling kan worden gekenmerkt als een fortuinlijke botsing tussen ontwikkelingen in de systeemtheorie, de evolutietheorie en de communicatietheorie. Shannons mathematische theorie van de communicatie is al sinds 1948 beschikbaar voor de modellering,<sup>14</sup> maar tot nu toe is die theorie vooral uitgewerkt voor de analyse van datastromen over ‘vaste telefoonlijnen’.<sup>15</sup> Niet alleen zijn in maatschappelijke systemen de lijnen niet langer ‘vast’ in de zin van voorgeprogrammeerd en ge-engineerd, maar de interacties zijn zelf maatschappelijk aan het leren geslagen. Een culturele evolutie is gegeneerd die we ook wel ‘moderniteit’ noemen. Wat daarbij voorlopig als vaststaand wordt aangenomen en wat niet, kan steeds zelf weer onderwerp van gesprek worden en naarmate we kwaliteit in die discussie winnen, kan deze kennisintensiviteit innovatief werken op het systeem dat wordt bestudeerd. De sociologische theorie van de communicatie bestudeert deze zelf-organisatie van de kennisintensieve ontwikkeling.

Loet Leydesdorff  
Amsterdam, februari 2002

[return](#)

---

<sup>13</sup> Leydesdorff, Loet (1995). *The Challenge of Scientometrics: The development, measurement, and self-organization of scientific communications*. Leiden: DSWO/Leiden University Press; 2nd edition at <http://www.upublish.com/books/leydesdorff-sci.htm>.

<sup>14</sup> Shannon, C. E. (1948). ‘A Mathematical Theory of Communication,’ *Bell System Technical Journal* 27, 379-423 and 623-656.

<sup>15</sup> Theil, Henry (1972). *Statistical Decomposition Analysis*. Amsterdam: North-Holland.