

XII

Twée decennia van onderzoek naar grote technische systemen: thema's, afbakening en kritiek

ERIK VAN DER VLEUTEN

In de jaren tachtig en negentig van de twintigste eeuw is het techniekhistorische en -sociologische onderzoeksveld dat zich bezig houdt met zogenaamde 'grote technische systemen' (*large technical systems*, vaak ook LTS-veld genoemd) sterk gegroeid. De inspiratie en het gros van de begrippen worden toegeschreven aan het werk van de Amerikaanse historicus Thomas Hughes, wiens 'systeembenadering' uit de jaren tachtig geldt als een van de meest belangrijke richtingen in de moderne techniekstudies – hij wordt wel gezien als de Chandler van de techniekgeschiedenis.¹ In *Networks of Power* (1983), dat vrijwel iedere techniekhistoricus bekend zal zijn, brak Hughes met de techniekhistorische traditie die afzonderlijke artefacten bestudeert. In plaats daarvan stelde hij het geheel centraal, waarvan deze deel uitmaken. In zijn paradigmatische voorbeeld was Edison's primaire bijdrage aan de geschiedenis van de elektriciteitsvoorziening niet de uitvinding van de gloeilamp, maar de constructie van een commercieel verlichtingssysteem, waarvan een verbeterde gloeilamp slechts één van vele benodigde en met elkaar wisselwerkende elementen was. Hughes' systemen bevatten zowel elementen van technische aard (zoals generatoren, distributieleidingen, en gloeilampen in het geval van Edison's verlichtingssysteem) als van niet-technische aard (zoals het concept van elektriciteitsverkoop, concessies, en productiebedrijven): aldus claimde hij niet alleen de systeem-aspecten van de moderne techniek, maar ook het zogenaamde 'naadloos weefsel' van techniek en maatschappij te kunnen beschrijven.²

1 Met dank aan Henk van den Belt, Geert Verbong en Onno de Wit voor uitvoerig commentaar op een eerdere versie van dit artikel. David A. Hounshell, 'Hughesian history of technology and Chandlerian business history: Parallels, departures, and critics', *History and Technology* 12 (1995), 205-224.

2 Hughes introduceerde zijn systeembenadering vooral in Thomas P. Hughes, *Networks of Power. Electrification in Western society 1880-1930* (Baltimore, 1983). Voor de claim van naadloze beschrijving van techniek en maatschappij zie Thomas P. Hughes, 'The seam-

Het lijkt nuttig onderscheid te maken tussen ten minste vier mogelijke interpretaties van 'de systeembenadering' in Hughes' werk. Ten eerste is de systeembenadering een begrippenapparaat om de systeem- en sociotechnische aspecten van technologische ontwikkeling te beschrijven en te analyseren. Dit begrippenapparaat kan in principe op iedere technologie worden toegepast, en heeft veel nieuw onderzoek gegenereerd. Ten tweede verwijst de systeembenadering naar de studie van een bepaalde groep van technologieën, de 'grote technische systemen', waarvan elektriciteitsvoorzieningssystemen en telefoonsystemen archetypische voorbeelden zijn. Vaak definieert men dergelijke technologieën met hun sociotechnische- en systeemkarakter, en de systeembenadering *als analysekader* lijkt dan ook vooral hier toepasbaar. Deze interpretatie is de primaire leidraad van het LTS-veld. Ten derde heeft de systeembenadering ook enigszins het karakter van 'grand theory' over het ontstaan van de moderne samenleving, dat wil zeggen de twintigste-eeuwse geïndustrialiseerde samenleving. Hughes' eigen these is dat grote technische systemen deze samenleving in steeds hogere graad zijn gaan structureren. Daarbij hebben ze de maatschappijstructurende rol overgenomen, die politiek en natuurlijke geografie in vroegere eeuwen hadden.³ Tenslotte verwijst de systeembenadering voor Hughes in meer beperkte zin naar een groep van managementtechnieken, zoals 'systems engineering', 'operations research' and 'systems analysis', die zich in de jaren vijftig en zestig aan het front van de technische ontwikkeling zouden hebben bevonden.

In dit essay zal ik proberen het LTS-veld, dat dus vooral op de tweede interpretatie aansluit, in kaart te brengen. Het onderzoeksveld is inmiddels zo groot, dat dit nuttig lijkt. Het is echter ook te groot om volledig te kunnen zijn. Ik zal mij daarom beperken tot de centrale thema's in een aantal publicaties, die de ontwikkeling van grote technische systemen breed beschouwen, als fenomeen *sui generis*. Naast een reeks Engelstalige anthologieën, die als primair internationaal discussieforum lijken te functioneren, zijn dergelijke brede bijdragen ook verschenen in de Duitse, Zweedse en Franse taalgebieden.⁴ Deze beperking gaat ten koste van

less web: Technology, science, et cetera, et cetera', in Brian Elliot (red.), *Technology and social process* (Edinburgh, 1988), 9-19.

3 Voor deze ambitieuze formulering zie Thomas Hughes, 'Historical overview' in Todd La Porte (red.), *Social responses to large technical systems. Control or anticipation* (Dordrecht, 1991), 185-189 op 185-186.

4 Naast de monografieën van Hughes is er een Engelstalige LTS-serie met: Renate Mayntz & Thomas P. Hughes, *The development of large technical systems* (Frankfurt, 1988); La Porte (red.), *Social responses to large technical systems*; Jane Summerton (red.), *Changing large technical systems* (Boulder, 1994); en Olivier Coutard (red.), *Governing large technical systems* (N.Y., 1999). Brede LTS studies uit andere taalgebieden omvatten Ingo Braun & Bernward Joerges (red.), *Technik ohne Grenzen* (Frankfurt am Main, 1994); Arne Kaijser, *I fädrens spår. Den svenske infrastrukturens historiska utveckling och framtida utmaningar* (Stockholm, 1994); Pär Blomkvist & Arne Kaijser (red.), *Den konstruerade*

de vele meer gespecialiseerde studies, die bijvoorbeeld de geschiedenis van één groot technisch systeem in één bepaalde (vaak nationale) context beschrijven.

De ambitie van deze tekst is drieërlei. Eerst worden drie belangrijke onderzoeksgebieden binnen het LTS-veld behandeld (die bij sommige schrijvers overigens samen kunnen vallen): de geschiedenis, de dynamiek, en de beheersing van grote technische systemen, met de nadruk op het eerste. In tegenstelling tot het type literatuuroverzicht, dat om het bestaansrecht van het veld te verdedigen de gemeenschappelijke vooruitgang benadrukt, zal ik pogen auteurs met verschillende aanpak en posities naast elkaar te zetten. Naar een vierde potentieel onderzoeksgebied, dat van de maatschappelijke invloed van grote technische systemen, is – individuele, niet-engelstalige bijdragen daargelaten⁵ – weinig systematisch onderzoek gedaan in de kern-publicaties van het LTS veld. In deze publicaties lijkt de *externe* invloed van grote technische systemen primair aangehaald te worden om studies naar *interne* aspecten van deze systemen te legitimeren. Dit onderzoeksgebied verdient grotere aandacht, maar blijft hier buiten beschouwing.⁶

Een tweede ambitie is het inhoudelijk afbakenen van het begrip grote technische systemen, zowel binnen het LTS-veld zelf, als van andere systeembegrippen die binnen en buiten de techniekgeschiedenis in omloop zijn. Hierbij komen enkele strategieën om grote technische systemen te definiëren ter sprake, waarbij opvalt, dat veel LTS-auteurs weinig onderscheid maken tussen onderzoeksobject (de grote technische systemen) en analysemethode (de systeembenadering).

världen. Tekniska system i historiskt perspektiv (Stockholm, 1998); Alain Gras, *Grandeur et dépendance. Sociologie des macro-systèmes techniques* (Parijs, 1994); en Alain Gras, *Les macro-systèmes techniques* (Parijs, 1997). LTS studies over speciale techniekgebieden zijn bijvoorbeeld Arne Kaijser & Marika Hedin (red.), *Nordic energy systems. Historical perspectives and current issues* (Canton, Ma. 1995) en een special issue over 'New energy systems' van *Centaurus. International magazine of the history of mathematics, science, and technology*, Vol. 41(1999), nr. 1-2, met daarin ook Nederlandse bijdragen. Een Nederlands voorbeeld van een studie van een afzonderlijk systeem is Onno de Wit, *Telefonie in Nederland 1877-1940. Opkomst en ontwikkeling van een grootschalig technisch systeem* (Rotterdam, 1998).

5 Zo noemt Renate Mayntz enkele maatschappijtheoretische aanknopingspunten in Renate Mayntz, 'Grosse technische Systeme und ihre gesellschaftstheoretische Bedeutung', *Kölnener Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie*, Jg. 45 (1993), 97-108. Ook Kaijser geeft een overzicht over gevolgen van grote technische systemen, maar dezen lijken secundair t.o.v. zijn studie naar de dynamiek, geschiedenis en sturing ervan. Kaijser, *I fädrens spår*, 21-36. Alleen in Gras, *Les macro-systèmes techniques*, staat de opkomst van grote technische systemen als gevolg en oorzaak van maatschappijveranderingen centraal (zie onder).

6 Voor een aanzet tot een dergelijk onderzoek zie Erik van der Vleuten, "The systemic society revisited. Conceptualising the development of large technical systems in the Netherlands during the 20th century" in Johan Schot (red.), *Perspectives on the History of Technology in the Netherlands. A series of project proposals* (te verschijnen).

Tenslotte zullen enkele belangrijke kritiekpunten op het Hughesiaanse systeemdenken genoemd worden. Verschillende auteurs buiten het LTS-veld suggereren dat het gebruik van een systeembenadering in de analyse van grote technische systemen niet alleen inzichten geeft, maar tevens andere inzichten verhindert. Dit maakt het gebrek aan onderscheid tussen onderzoeksobject en analysekader, en de daaruit volgende dominante praktijk om grote technische systemen alleen met begrippen uit de Hughesiaanse systeembenadering te bestuderen, problematisch. Een duidelijker onderscheid tussen onderzoeksobject en analysekader kan de weg vrij maken voor andere benaderingen in de studie van grote technische systemen.

1. Grote technische systemen als historisch fenomeen

Historische aandacht voor grote technische systemen als categorie van techniek wordt ten dele gelegitimeerd door te wijzen op het historische belang ervan voor de moderne technologie en samenleving. De techniekgeschiedenis, beweerde Hughes, ziet door een traditie van studie van objecten de 'diepere stromingen' in de moderne technologie over het hoofd: systemen voor energievoorziening, productie, communicatie en transport vormden het front van de technologische ontwikkeling in de twintigste eeuw.⁷ De algemene geschiedenis en de sociologie zien òf de rol van de techniek in het ontstaan van de moderne samenleving over het hoofd, òf noemen 'de machine' als drijfkracht, zoals Siegfried Giedion in *Mechanization takes command* (1948). Maar volgens Hughes zat Giedion er 'helemaal naast': het zijn technische systemen, die de manier van wonen, werken, spelen en oorlog voeren van de moderne Westerse mens bepalen, en dus de maatschappij-structurende rol van natuurlijke geografie en politiek hebben overgenomen.⁸ Met deze formulering plaatst hij zich in de traditie van de Franse *Annales* school, die in het Interbellum afstand nam van de traditionele politieke geschiedenis met het argument, dat er diepere structuren waren, die de ontwikkeling van de samenleving bepaalden, en waarbij politiek van secundair belang was. Hoewel deze school zich vooral toelegde op economische en sociale geschiedenis, en techniek slechts oppervlakkig onderzocht, werd techniek wel genoemd als zo'n diepere structuur. Zo citeerde Marc Bloch in de jaren veertig de klacht van Paul Valéry, dat de geschiedenis van de elektriciteitsvoorziening niet onderzocht was, hoewel deze 'meer mogelijkheden heeft om de toekomst te vormen dan alle politieke gebeurtenissen bij elkaar.'⁹

7 Thomas Hughes, *American Genesis. A century of invention and technological enthusiasm* (N.Y., 1989), 184-185.

8 Hughes, 'Historical overview', 187.

9 Valéry wordt geciteerd in Marc Bloch's postume *The historians craft* (Manchester, 1954), 66. Deze passage wordt aangehaald door zowel Hughes, *Networks of power*, 5 als David Nye, *Electrifying America* (Cambridge, Ma, 1990).

De opkomst van grote technische systemen is dus een belangrijke historische gebeurtenis en daarom een verplicht object voor historische beschrijving. Hughes zelf opende hiervoor een deur in zijn studie van de elektriciteitsvoorziening in de Verenigde Staten, Duitsland en Engeland.¹⁰ Hier noemde hij de indrukwekkende schaalvergroting van de elektriciteitsvoorziening als de belangrijkste te beschrijven en analyseren gebeurtenis: de elektriciteitsvoorziening groeide in schaal van een stedelijk voorzieningssysteem in de jaren 1880, via systemen die hele stedelijke of landelijke districten bedienden aan de vooravond van de Eerste Wereldoorlog, tot systemen die rond 1930 regio's omvatten ter grootte van Amerikaanse of Duitse deelstaten, of zelfs hele naties, zoals het Britse systeem dat ontstond in de jaren twintig en dertig. Een andere lijn in zijn studie is het volgen van de systeembouwers, de individuen die – zoals Edison – de verschillende elementen samsmeden tot één systeem. Zulke systeembouwers zijn te vinden bij iedere nieuwe fase in de ontwikkeling van de elektriciteitsvoorziening. Zoals al eerder opgemerkt heeft Hughes werk als inspiratiebron gediend voor vele studies van afzonderlijke grote technische systemen. Ik zal mij echter hier beperken tot vier typen van studie van de *algemene* geschiedenis van grote technische systemen, met duidelijke verschillen in keuze van invalshoek en van historische periode.

Systeembouwen in de moderne en postmoderne tijd

Een eerste manier om de algemene geschiedenis van grote technische systemen te benaderen is uitgewerkt door Hughes zelf. In zijn latere boeken *American Genesis* (1989) en *Rescuing Prometheus* (1998) beschrijft hij de geschiedenis van het systeembouwen in de twintigste eeuw. Het systeembouwen, een in tegenstelling tot democratie en 'free enterprise' niet-erkende 'basiskarakteristiek van de Amerikaan', maakte Amerika de voorloper van de technologische natie. Er is zelfs sprake van een 'tweede schepping', de Amerikaanse Genesis. In Amerika's voetspoor werd het grootste deel van de geïndustrialiseerde wereld omgevormd tot een gemaakte omgeving gestructureerd door grote technische systemen.¹¹

Men zou Hughes' beschrijving van de geschiedenis van het systeembouwen kunnen zien als een ontwikkeling in vier fasen. Een eerste fase beslaat de tijd van de onafhankelijke uitvinders, grofweg de halve eeuw na 1870. Sommigen van hen, de zogenaamde 'uitvinder-entrepreneurs', waren de eerste systeembouwers: zij deden niet alleen uitvindingen, maar introduceerden dezen ook op de markt. Edison, al enkele keren genoemd, blijft het ideaaltypische voorbeeld van de uitvinder-entrepreneur.

In een tweede fase, het Interbellum, konden de onafhankelijke uitvinders zich niet langer handhaven in de steeds meer geïnstitutionaliseerde octrooiensrijd: zij maakten plaats voor de industriële onderzoekers. In deze fase van systeemgroei

10 Hughes, *Networks of Power*, introduction.

11 Hughes, *American Genesis*, introduction.

werd de technische ontwikkeling 'conservatief' (systeem instandhoudend) in plaats van 'radicaal'. De managers van grote bedrijven, de 'manager-entrepreneurs', werden de nieuwe systeembouwers. Samuel Insull is het archetype van de manager-entrepreneur: met als doel om de stap naar massaconsumptie van elektriciteit te zetten, fuseerde hij elektriciteitsbedrijven en koppelde hij verschillende voorzieningstechnieken. Daarmee schiep hij in de eerste twee decennia van de twintigste eeuw een zeer uitgestrekt regionaal elektriciteitssysteem, dat in deze periode te boek stond als 's werelds meest geavanceerde. Op het gebied van de industriële productie volgde vooral Ford dit voorbeeld (hij werkte zelf acht jaar bij een openbaar elektriciteitsbedrijf). Het gaat hierbij in Hughes' optiek niet om het uitvinden van de lopende band, maar om het systematisch integreren van mijnen, spoor-, schip- en wegvervoer, ijzer- en glasproductie, elektriciteitsopwekking, en autoproductie in één gecontroleerde flow van materialen en energie – organisatorisch beheerst door een nieuwe klasse van witte-boord werkers en ingenieurs.

In een derde fase verschoof het front van het systeembouwen van grote bedrijven naar samenwerking tussen overheid, universiteiten en grote bedrijven, het zogenaamde militair-universitaire-industriële complex. Enkele incidentele gevallen van vroegere staatsbemoening daargelaten, vormden drie megaprojecten de leerscholen voor deze vorm van systeembouwen. Het Manhattan project in de Tweede Wereldoorlog, een centraal gecoördineerd productiesysteem met de regering als financier, generaal Leslie Grooves als top-systeembouwer, en massale mobilisering van wetenschappelijke kennis en industriële productiecapaciteit, leverde tijdens de Tweede Wereldoorlog de atoombom op. Hughes benadrukt dat vanaf nu 'het collectief', georganiseerde groepen onderzoekers, de radicale uitvindingen produceerden, die tot maatschappijdominerende systemen zouden uitgroeien.¹² De daarvoor benodigde coördinatie technieken werden vooral ontwikkeld in de jaren vijftig. In het SAGE-project ontwikkelden academici van MIT digitale computers voor een on-line geautomatiseerd luchtverdedigingssysteem voor de hele VS. Computers in regionale controlecentra ontvingen telefonisch hun data van een fijnmazig net van radarstations, en analyseerden deze in real time, zodat meteen luchtafweer kon worden aangestuurd. In het Atlas-project (de ontwikkeling van een systeem van intercontinentale ballistische raketten) tenslotte schoof top-systeembouwer generaal Bernard Schriever een uitgebreide managementafdeling tussen de opdrachtgever (de luchtmacht) en de industriële hoofdleveranciers. Samen met een gespecialiseerd bedrijf, de Ramo-Wooldridge Corporation, perfectioneerden zij de 'systems engineering', het coördineren tussen vele leveranciers en toeleveranciers en de vele componenten, tot een verfijnd management instrument.

12 Thomas Hughes, *Rescuing Prometheus* (N.Y., 1998), 4. Het door Hughes eerder zwaar aangezette onderscheid tussen de radicale uitvindingen van onafhankelijke uitvinders en conservatieve uitvindingen van industriële onderzoekers wordt hier impliciet teruggewezen naar de eerste helft van de twintigste eeuw.

In de jaren zeventig raakte deze vorm van systeembouwen echter in ongenade met de waarden van de 'counter culture' en het in opspraak raken van militaire systemen tijdens de oorlog in Vietnam. Waar sommige planners meenden dat de tijd van het systeembouwen definitief voorbij was, ging het systeembouwen een vierde fase in, waarin het zich opende voor waarden van de tegencultuur. De planning en bouw van een grotendeels ondergronds autowegstelsel in centraal Boston diende en dient als leerschool voor modern participatief management in systeembouwprojecten: de leidende systeembouwer Frederick Salvucci schiep een 'open systeem', dat in tegenstelling tot de 'gesloten systemen' van SAGE en Atlas het ontwerpproces open stelde voor belanghebbende groepen (zoals etnische bewonersgroepen, de commerciële sector, milieubewegingen en verschillende lagen van bestuur). Dit open systeembouwen bleek flexibel genoeg om mee te groeien met veranderende maatschappelijke eisen. Met het project ARPANET, dat begin jaren zeventig de voorloper van internet produceerde, tenslotte, volgde de verwerping van hiërarchische organisatiestructuren. Gefinancierd door militaire fondsen maar opgezet door civiele wetenschappers en ingenieurs, had het een relatief kleine en informele managementafdeling. Deze stuurde toeleveranciers niet aan via micro-management, dat wil zeggen bemoeienis met ieder detail, maar met specificaties waaraan het element moest voldoen, dus ruimte latend voor lokaal initiatief. Met deze twee innovaties ontstond wat Hughes noemt het 'postmoderne systeembouwen', afgezet tegen het 'moderne systeembouwen' uit de tweede fase en ook de 'overgangperiode' van de derde fase: 'Prometheus, de schepper, is daarmee vrij om de politieke, sociale en milieumatige complexiteit van de postindustriële wereld te omvatten.'¹³

Infrasystemen en staatsbemoeïing in Zweden vanaf de zeventiende eeuw

Terwijl Hughes op deze manier zijn vroege inzichten generaliseerde voor wat betreft schaalvergroting en de algemene ontwikkeling van het systeembouwen in de twintigste eeuw, heeft Arne Kaijser Hughes' studie van de elektriciteitsvoorziening verbreed tot een studie van de geschiedenis van een aantal gelijksoortige infrastructuur-systemen ('infrasystemen') in de periode vanaf de zeventiende eeuw. Hierbij horen communicatiesystemen als post, telegraaf, telefoon, telex, fax en mobiele telefonie (punt-punt communicatie) en kranten, radio en T.V (massacommunicatie); energiesystemen als elektriciteits-, gas-, stadsverwarmings-, olie-, atoomenergie- en kolensystemen; en transportsystemen als zeevaart, luchtvaart, wegensysteem en spoorwegen. Het betreft dus zowel systemen met hun eigen netwerk (zoals spoorwegen) als systemen, die andere netwerken gebruiken voor transport (zoals de kolenvoorziening).¹⁴ In de praktijk echter beperkt Kaijser zijn algemene geschiedenis van grote technische systemen tot die systemen, waar de staat

13 Hughes, *Rescuing Prometheus*, 14.

14 Kaijser, *I Fädrens spår*, 37-74.

een beslissende rol speelde als systeembouwer, en waarvoor ze een infrastructuurpolitiek ontwikkelde.¹⁵

Vanuit deze invalshoek worden de fysieke expansie en institutionele inbedding van verschillende infrasystemen beschreven. De geschiedenis van dergelijke systemen kan geordend worden naar hun vorm van organisatie.¹⁶ In de zeventiende eeuw organiseerde de militair sterke maar financieel zwakke Zweedse staat een aantal systemen, waarin lokale actoren voor de uitvoering zorg droegen. Zo bouwden en onderhielden boeren onder leiding van gouverneurs het wegensysteem en het winterwegensysteem (voor sleden), terwijl steden werden gemachtigd om havens te bouwen voor het zeetransportsysteem. Beëdigde boeren werden ook ingeschakeld in het centraal gecoördineerde, als estafettesysteem georganiseerde postsysteem. Dit laatste systeem is een voorbeeld van een geografisch uitgestrekt infrasysteem, dat zich voor transport op bestaande transportsystemen baseerde. De eerste verbinding, van Stockholm naar Hamburg (waar aansluiting verkregen werd op het continentale net), werd gebouwd vanaf 1620. Tegen het einde van de zeventiende eeuw verbond het Zweedse postsysteem alle belangrijke Zweedse steden en omsloot een groot deel van de Oostzee, met uitlopers naar Stettin in het huidige Polen, via het huidige Zuid Zweden en Finland, tot Riga in het huidige Letland.¹⁷

In de tweede helft van de negentiende eeuw, in een politieke context waarin economische groei centraal kwam te staan, nam de staat expliciet de rol van systeembouwer op zich. Het telegraafsysteem bouwde de nationale overheid geheel zelf, maar bij het spoorwegsysteem, het telefoonsysteem, het electriciteitsvoorzieningssysteem en het wegensysteem bouwde en beheerde de staat een hoofdnet, terwijl andere actoren lokale en regionale verbindingen beheerden. Op dezelfde manier beheerde een nationaal luchtvaartbureau de belangrijkste vliegvelden in het nationale luchttransportsysteem vanaf de jaren vijftig.

Grote technische systemen vanaf de oudheid

In een derde manier om de algemene geschiedenis van grote technische systemen in beeld te brengen, zoekt de Duitse historicus Joachim Radkau evenals Kaijser de geschiedenis af naar het bestaan van dergelijke systemen.¹⁸ Maar hierbij wijst hij het uitgangspunt van Hughes (en in zekere zin ook van Kaijser) af, dat deze syste-

15 Cultuurpolitiek gemotiveerde systemen, zoals T.V., zijn hier niet bij inbegrepen. *Ibid.*, 98-184.

16 Voor het institutionele gedeelte van deze systeemontwikkeling zie Arne Kaijser, 'The helping hand. In search of a Swedish institutional regime for infrastructural systems', in L. Andersson-Skog & O. Kranz (red.), *Institutions in the transport and communications industries* (Canton, Ma., 1998), 223-44.

17 Kaijser, *I Fädrens spår*, 104-105.

18 Joachim Radkau, 'Zum ewiger Wachstum verdammt? Jugend und Alter grosstechnischer Systeme', in Braun & Joerges (red.), *Technik ohne Grenzen*, 50-106.

men vooral een modern fenomeen zijn, en dat de geschiedenis gekarakteriseerd wordt door een constante systeemgroei. In plaats daarvan tekent hij een soort genealogie op van drie opeenvolgende *typen* van grote technische systemen sinds de oudheid. Daarbij wijst hij ook het idee van systeemgroei als onafhankelijk van tijd en ruimte af, zoals men dat ook bij Hughes en Kaijser vindt (zie paragraaf twee). In plaats daarvan zoekt hij voor ieder afzonderlijk systeem de specifiek historische omstandigheden, die groei begunstigten.

Vóór de Industriële Revolutie vindt men grote technische systemen vooral in de waterbouw.¹⁹ Een vroeg voorbeeld van expanderende waterbouwkundige systemen zijn de grote irrigatiesystemen aan de Nijl, Eufraat en Indus, alsmede in China en het Andes gebergte, die samenvielen met de eerste machtige staatsapparaten. De groei van deze systemen volgde geen immanente systeemdynamiek, want er bestonden veel meer kleine irrigatiesystemen. Hun groei dankten ze eerder aan de grote staten, die in grootschalige techniek een middel zagen om hun inkomsten te verhogen of hun technisch kunnen te demonstreren (zoals dat het geval was bij de Romeinse aquaducten). Een andere groep van op water gebaseerde systemen zijn ontwateringssystemen, vanaf de late Middeleeuwen. Het systeem-karakter daarvan ligt in de omstandigheid dat een verandering in één element (een dijk) eisen stelt aan andere werken in een groot gebied. De ontwikkelingen in Nederland, het pioniersland van de systematisch bedreven ontwatering, lieten zien dat een groot ontwateringscomplex door decentrale actoren ontwikkeld kon worden. Dit geldt ook voor de opbouw van binnenvaartssystemen in een aantal landen.

Pas in de negentiende eeuw verscheen een tweede type grote technische systemen, de materieel 'strak' gekoppelde systemen, waarvan het spoortransport als natie-omspannend stalen systeem het voornaamste voorbeeld is. Ook de vroege spoorlijnen werden vaak decentraal gepland. En voor wat betreft de verharde wegennetten waren de Franse Chaussées aan het Franse centralisme gekoppeld, terwijl deze in Duitsland als ondergeschikt werden beschouwd aan de aanleg van spoorwegen. Een derde systeem uit deze tijd is het telegraafstelsel. Tenslotte werd in de late negentiende en vroege twintigste eeuw een aantal van dergelijke systemen gebouwd in grotere steden, zoals gasvoorziening, lokale elektriciteitsvoorziening, drinkwatervoorziening, riolering, en gemeentelijk openbaar vervoer. Deze hingen – volgens Radkau – sterk samen met de drang van gemeenten om steeds meer taken op zich te nemen.

In de twintigste eeuw, tenslotte, ontstond een derde type groot technisch systeem, dat door verschillende aspecten gekarakteriseerd kan worden. Een eerste aspect is

19 Radkau is zich er van bewust dat deze systemen zich nog sterk ontwikkelden in de twintigste eeuw. Men denke hierbij ook aan het Nederlandse watersysteem. Zie C. Disco, 'De verdeling van zoet water over heel Nederland 1940-1970' in J. W. Schot e.a. (red.), *Techniek in Nederland in de twintigste eeuw. Deel 1* (Zutphen, 1998), 111-121 en C. Disco & M. L. ten Horn-van Nispen, 'Op weg naar een integraal waterbeheer', *Ibid.* 181-197.

de groeiende betekenis van communicatie. De telefoon, hoewel daterend uit de negentiende eeuw, hoort als systeem bij de twintigste eeuw. De groei ervan hing samen met een verandering in de dagelijkse levensgewoonten, waar men verder van elkaar verwijderd gingen wonen. Een tweede aspect is de grotere keuzevrijheid van de verbruikers, zoals die zich uit in de liberalisering in de telefoonsector en het succes van het gemotoriseerde straatverkeer ten opzichte van het 'systeem-technisch ideale' spoorvervoer. Een derde kenmerk, tenslotte, is het zogenaamde 'tweede orde' karakter van een aantal nieuwe grote technische systemen. Ingo Braun definieerde tweede orde systemen als systemen, die in tegenstelling tot 'eerste orde systemen' geen eigen kunstmatig net (zoals een spoorwegennet) hebben. In plaats daarvan creëren zij een nieuwe materiële 'flow' door elementen van reeds bestaande eerste orde systemen te mobiliseren. Braun's voorbeeld is dat van het Europese orgaantransplantatiesysteem, dat vanaf eind jaren zeventig elementen van medische systemen, wegvervoer, luchtvervoer, communicatiesystemen en computersystemen combineerde tot één nieuw systeem dat de stroom van menselijke organen door Europa verwezenlijkte.²⁰ Hier voegt Radkau het containersysteem aan toe, dat bestaande structuren in zee- en landvervoer gebruikt, maar ook nieuwe elementen introduceerde (zoals overslaginstallaties).²¹ Het magneetweefbaantransportsysteem geldt als een negatief voorbeeld: een strak gekoppeld systeem, dat geen kans meer krijgt op een gebied, dat al lang door concurrenten bezet is.

De nieuwe tijdruimte van grote technische systemen

De Franse socioloog Alain Gras, tenslotte, geeft een vierde interpretatie van de algemene geschiedenis van grote technische systemen. In tegenstelling tot Radkau gaat zijn interesse uit naar grote technische systemen (*macro-systèmes techniques*) als specifieke *constellaties* van grote technische objecten, materiële netwerken, sociale netwerken, en een manier van denken. Deze constellaties zijn intiem ver-

20 Ingo Braun, 'Geflügelte Saurier. Zur intersystemischen Vernetzung grosser technische Netze' in Braun & Joerges (red.), *Technik ohne Grenzen*, 446-500. Zie ook Ingo Braun & Bernward Joerges, "How to recombine Large technical Systems: The case of European organ transplantation" in Summerton (red.), *Changing Large technical Systems*, 25-52. Ekardt voegt hier nog zg. systemen van de '0e orde' aan toe, namelijk de bouwtechnische infrastructures, die het functionele fundament zijn van eerste orde systemen. Hans-Peter Ekardt, 'Unter-Gestell. Die bautechnischen Fundamente grosser technischer Systeme', in Braun & Joerges (red.), *Technik ohne Grenzen*, 166-211.

21 Kaijser noemt de containerrevolutie overigens ook, maar dan als interface tussen verschillende transportsystemen. Als zodanig maakt het deel uit van de schaalvergroting van het transportsysteem middels de koppeling van deelsystemen. Containers hebben hier dezelfde functie als omvormers in Hughes' geschiedenis van de elektriciteitsvoorziening, die het integreren van gelijkstroomnetten en wisselstroomnetten mogelijk maakten. Kaijser, *I Fädrens spår*, 90.

bonden met de industriële maatschappij, en dus *wel* historisch nieuw.²² Ze worden gekenmerkt door machtsnetwerken gedomineerd door grote organisaties, die de controle over de stromen in de materiële netwerken centraliseren. Bij Gras is het autoverkeer, waar centrale controle op de automobilist ontbreekt, daarom geen groot technisch systeem; treinverkeer, waar de machinist op vele punten gecontroleerd wordt, is dat wel. Tenslotte zijn in deze constellaties de materiële netwerken verbonden met een nieuwe ideologie, die grote waarde toekent aan het beschikbaar maken van technisch kunnen op iedere plaats en op ieder moment.

In tegenstelling tot Hughes, Kaijser en Radkau beschrijft Gras het ontstaan van dergelijke constellaties niet als een keten van empirische gebeurtenissen in de tijd. Volgens hem is hun oorsprong en oorzaak niet precies aan te geven. Wel is duidelijk dat ze er op een bepaald moment waren. Daarom beschrijft hij hun ontstaan in de vorm van een genealogie (in Nietzsche's, niet Radkau's betekenis van het woord), waar verschillende elementen, met ieder hun eigen geschiedenis, op dat bepaalde moment bijeengekomen zijn in de nieuwe manier van denken en organiseren, die grote technische systemen eigen is.²³ Een eerste element is wat Mumford de *mega-machines* noemde: door menselijke arbeidskracht te mobiliseren werden ongeken- de productiekrachten vrijgemaakt, zoals bij de bouw van de Egyptische piramiden, het Suez kanaal en de Chinese muur. Hoewel hier vaak de oorsprong van de moderne grote organisatie wordt gezocht, waren andere elementen nodig om grote technische systemen juist in de laatste eeuwen te doen groeien. Zo'n element is de – voor techniekhistorici bekende – toenadering tussen natuurwetenschap en techniek, die een snelle toename van technische macht toeliet. Een derde element is de nieuwe waardering voor communicatie en uitwisselingen, die de geboorte van het kapitalisme en de industriële maatschappij vergezeld. Het grijpen van nieuwe technische macht, opgesloten in fossiele brandstoffen, werd gecombineerd met een obsessie voor de mobiliteit van deze macht, dat wil zeggen de wil om deze op iedere tijd en iedere plaats beschikbaar te maken. Het archetypische beeld is dat van de trein, die zelf aangedreven wordt door steenkolen, maar deze ook vervoert en overal beschikbaar maakt. Men ging stromen van mensen en dingen opvatten als de basis voor een beschaving van technisch kunnen en mobiliteit: organisatie, ideologie en fysieke netwerken zijn aldus samen gekomen.

In tegenstelling tot Hughes en anderen vat Gras' begrip van grote technische systemen ook maatschappelijke veranderingen. Deze worden beschreven via veranderingen in de *tijdruimte*. Vier systemen illustreren daar ieder een aspect van. De trein introduceerde een kunstmatige ruimte (het spoornet) en een nieuwe tijd (door de 'uitvinding van snelheid' en van nationaal gestandaardiseerde tijd). De

22 Gras stelt voor om een aantal netwerkbegrippen te mobiliseren als *onderdelen van de grote technische systemen* die hij wil onderzoeken. Gras, *Les macro-systèmes techniques*, 7-21 en 31-33.

23 Gras, *Les macro-systèmes techniques*, 21, 22 ff.

elektriciteitsvoorziening voegde daar de 'extreme delocalisering van technische macht' aan toe, door deze bijna gelijktijdig overal en altijd beschikbaar te maken. Telecommunicatiesystemen, te beginnen met de telegraaf, droegen bij aan de verandering in de tijdruimte door de 'dematerialisering' ervan: rond 1840 kon men de wereld voor de eerste keer opvatten als een potentieel ensemble van verbonden punten, waartussen gelijktijdige communicatie mogelijk is – een ensemble dat daarna gerealiseerd werd door een aantal zeer grote bedrijven. Tenslotte illustreert het vliegverkeer hoe de stromen in de nieuwe tijdruimte zelfregulerend werden: na de Tweede Wereldoorlog werden met behulp van radar, radio en een handvol internationale organisaties de routes genormaliseerd, het gedrag van de piloten en andere actoren gestandaardiseerd in procedures, en afspraken gemaakt over de concurrentie tussen transportbedrijven op de wereldmarkt.²⁴

In deze nieuwe tijdruimte veranderden de relaties tussen mens en natuur en tussen mensen onderling. Zo verwezenlijkten grote technische systemen de Cartesiaanse droom van natuurbeheersing, maar verplaatste het elektrische licht de zichtbare vervuiling van gaslampen in afzonderlijke huizen naar de onzichtbare uitstoot van elektriciteitscentrales. En terwijl grote technische systemen oude gevaren van bijvoorbeeld honger en ziekte berekenbaar en beheersbaar maakten, kunnen ze een nieuwe orde van onberekenbare, onbeheersbare en onzichtbare gevaren scheppen, zoals het broeikaseffect. Op sociaal gebied maakte de nieuwe tijdruimte van grote technische systemen de *Global Village* en wereldwijde productiestructuren mogelijk, maar versterkte ze ook sociale tegenstellingen. Niet alleen werd de aangesloten gebruikers nieuw gedrag opgelegd, maar ook werden en worden niet-aangesloten groepen afgesneden van de moderne middelen van bestaan. Dit is een van de bronnen van ellende voor de daklozen. Daarbij komt dat de knooppunten van grote technische systemen ontstonden op plaatsen, die als centra van industriële, commerciële en financiële macht al rijk waren. De kloof met de tussenliggende gebieden zonder netwerktoegang werd vergroot. Tenslotte maakte de nieuwe tijdruimte een kolonisatie van de wereld mogelijk, waar het andersoortige moest wijken voor de Westerse maatschappijvorm, zowel in het voorbije tijdvak van imperialisme als in het huidige van globalisering.

2. De dynamiek van grote technische systemen

Het onderzoek naar de dynamiek van grote technische systemen poogt beschikbare empirische kennis te systematiseren ten einde theoretische generaliseringsen te maken.²⁵ Dit wordt gelegitimeerd met beleidsrelevantie. LaPorte (1991) stelt bij-

24 Gras, *Les macro-systèmes techniques*, 25-26, 65 ff.

25 Renate Mayntz & Thomas Hughes, 'Foreword' in Mayntz & Hughes (red.), *The development of large technical systems*, 5-8.

voorbeeld dat bestaande historische, economische en sociologische modellen van technische ontwikkeling beleidsmakers geen theoretische basis geven om de ontwikkeling van grote technische systemen, met hun grootschalige voordelen en risico's, te sturen. Het ontwikkelen van begrippen en empirische kennis binnen het LTS-veld, met nadruk op managementaspecten, moet dat wel doen, zodat toekomstige ontwikkelingen beter afgestemd kunnen worden op de wensen van de omringende maatschappij.²⁶ Summerton breidde deze legitimatie op een elegante manier uit: volgens haar is begrip van de dynamiek van grote technische systemen van belang voor de moderne mens in een aantal rollen. Niet alleen in de rol van systeem-verantwoordelijke (politicus, manager of ingenieur), maar ook in de rol van 'consument', omdat de vormgeving van dergelijke systemen het dagelijks leven verandert; in de rol van 'burger', omdat deze systemen vaak openbare functies hebben maar zich aan democratisch toezicht onttrekken; en in de rol van 'onderzoeker', omdat de traditionele academische disciplines deze complexe systemen uitsluiten.²⁷

Onderzoek naar de dynamiek van grote technische systemen is echter niet alleen politiek, maar ook historisch relevant. Er worden begrippen uitgewerkt, die een geschiedenis van grote technische systemen kunnen structureren (zoals het begrip 'systeembouwen' bij Hughes) of kunnen verklaren (zoals het begrip 'economische schaalvoordelen' systeemgroei zou verklaren). Ook worden er algemeen geldige fasemodellen van de ontwikkeling van dergelijke systemen opgesteld, die als een vijfde vorm van algemene geschiedenis ervan kunnen worden gezien.

De dynamiek van grote technische systemen volgens Hughes

Ook het onderzoek naar de dynamiek van grote technische systemen heeft zijn uitgangspunt in het werk van Hughes, wiens begrippenkader en fasemodel de meeste techniekhistorici bekend zullen zijn.²⁸ Het is voornamelijk gebaseerd op zijn studie van de elektriciteitsvoorziening, en ik zal hier volstaan met het noemen van enkele hoofdpunten.

26 Todd La Porte, 'Preface' en 'Foreword. The challenge of understanding Large Technical Systems' in La Porte (red.), *Social responses to Large Technical Systems*, vii-viii en 1-4. Zie ook Kaijser, *I Fädrens spår*, 94.

27 Jane Summerton, 'Introductory essay: the systems approach to technical change', in Summerton (red.), *Changing large technical systems*, 2.

28 Deze begrippen worden vooral uitgewerkt in Hughes, *Networks of Power*, introductie en Thomas Hughes, 'The evolution of large technical systems', in Wiebe Bijker, Thomas Hughes & Trevor Pinch (red.), *The social construction of technological systems. New directions in the sociology and history of technology* (Cambridge, Ma, 1987), 51-56. Voor een meer uitgebreide Nederlandstalige inleiding in Hughes' begrippenwereld zie de Wit, *Telefonie in Nederland*, hoofdstuk 1.

Volgens Hughes volgen groeiende systemen een fasepatroon, waar steeds een bepaalde systeembouw-activiteit dominant is. In de 'uitvindingfase' komt een technisch idee naar voren, dat in de 'ontwikkelingsfase' wordt uitgewerkt en getest om in een bepaalde omgeving te functioneren. In de 'innovatiefase' wordt de uitvinding geïntroduceerd en ingebed in een specifieke omgeving. Hier ontstaat een complex systeem met naast fysieke elementen ook faciliteiten voor productie, verkoop en service. In de 'overdrachtfase' wordt het systeem naar andere omgevingen geëxporteerd. Vaak zal het systeem in technisch opzicht aangepast moeten worden aan de nieuwe natuurlijke, sociale en technische omgeving; deze technische veranderingen drukt Hughes' uit met het begrip 'technologische stijl'. In de 'groei-, concurrentie- en consolidatiefasen', tenslotte, groeien systemen in omvang, worden concurrenten verslagen, en worden ze minder afhankelijk van hun omgeving. Metaforisch opgevat hebben ze een 'impuls' (*momentum*) gekregen, dat wil zeggen ze hebben een massa (in de vorm van geïnvesteerd kapitaal en betrokken actoren), een snelheid en een richting (bijvoorbeeld geografische groei) die een schijn geven van autonomie.

Hughes gebruikt een aantal begrippen om dit groeipatroon te verklaren. Het al vaak genoemde begrip 'systeembouwer', dat verwijst naar doelbewuste entrepreneurs die technische en niet-technische elementen manipuleren, geeft een verklaring op actor-niveau voor het ontstaan en groeien van grote technische systemen. Concreet identificeert een systeembouwer elementen die achter liggen op de rest van het systeem en daarmee de groei van het geheel remmen (de *zg. reverse salients*). Deze worden vertaald in 'kritische problemen', waaraan vervolgens gewerkt kan worden. Hughes vult deze probleemgestuurde systeemgroei op actorniveau aan met een paar structuurconcepten: deze bewerkstelligen dat als ze eenmaal uitgevonden zijn, grootschaligere configuraties van het systeem hun kleinschaligere voorgangers economisch uit de markt kunnen concurreren. Meer dan de bekende 'schaalvoordelen' benadrukt hij de verhoogde 'bezettingsgraad' (*load factor*) van grotere systemen. Deze uit de elektriciteitswereld komende term verwijst naar een betere benutting van de machines (en dus verbetering van het rendement van de investeringen) door een meer constante vraag, die volgt met een grotere diversiteit aan gebruikers in een groter afzetgebied. Een zelfde diversiteit aan de kant van de productie leidt tot een betere 'economische mix' van productie-eenheden, zodat bij een gegeven situatie de goedkoopste eenheid gebruikt kan worden (bijvoorbeeld waterkrachtcentrales in het elektriciteitsnet op tijden dat waterkracht voldoende en goedkoop beschikbaar is).

Het fasemodel en de interactie tussen verschillende systemen

Anderen hebben de algemeenheid van Hughes' model onderzocht door verschillende systemen in verschillende nationale contexten te bestuderen. Kaijser, bijvoorbeeld, heeft zowel de in de vorige paragraaf genoemde systemen binnen Zwen vergeleken, alsmede de ontwikkeling van enkele systemen in de vier

Scandinavische landen. Op grond daarvan heeft hij zijn inzichten over de dynamiek van grote technische systemen gsystematiseerd.²⁹ De Duitse sociologe Renate Mayntz deed hetzelfde op grond van studies van spoorweg-, telefoon- en elektriciteitssystemen in de Verenigde Staten, Duitsland, en Frankrijk en publiceerde dit in de eerste LTS-anthologie.³⁰ Beide auteurs komen tot een model met drie fasen: een uitvindingsfase, een groeifase, en een stagnatiefase. Deze laatste ontbreekt bij Hughes. Een tweede afwijking van Hughes' analyse is dat deze auteurs het samenspel tussen verschillende systemen als een belangrijke factor zien in de dynamiek van de afzonderlijke systemen.

Ook binnen de afzonderlijke fasen nuanceren ze het model van Hughes. Zo stellen beide auteurs dat de beginfase gekenmerkt wordt door onzekerheid en gebrek aan een visie van de toekomstige functies en de groeimogelijkheden van het systeem. Nieuwe systemen kopieerden vaak oude systemen (spoorwegen de koetsen en binnenvaart, de elektriciteitsvoorziening de gasvoorziening), en zagen hun functie als een aanvulling op die van bestaande systemen (telefoon op de telegraaf, spoor op de binnenvaart). Ook omdat ze de concurrentie met bestaande systemen nog niet aankonden (de telefoon kon slechts korte afstanden overbruggen, transport per trein ging nauwelijks sneller dan per schip, elektrisch licht werkte maar een paar uur) ontwikkelden ze zich vooral in niches.

Volgens Mayntz begint pas in de groeifase het Hughesiaanse systeembouwen. Waar Kaijser de technische en economische rationaliteit van groei benadrukt, zoals schaalvoordelen en verhoogde gebruikerswaarde van een groter transport- of communicatiesysteem, dat in een 'expansiespiraal' kan resulteren, ziet Mayntz economische en politieke actoren aan de aanbodzijde en een kapitaalkrachtige vraag als de belangrijkste drijfkrachten. In Europa waren de centrale overheden belangrijke systeembouwers, die met grote technische systemen militaire, administratieve, economische of sociale doelen hoopten te verwezenlijken.³¹ In de Ver-

29 Kaijser, *I Fädrens spår*, 75-95 en Arne Kaijser, 'From local networks to national systems. A comparison of the emergence of electricity and telephony in Sweden', in Fabienne Cardot (red.), *1880-1980. Un siècle d' électricité dans le monde* (Parijs, 1987), 7-22; Kaijser, 'Controlling the grid: The development of high-tension power lines in the Nordic countries' in Kaijser & Hedin (red.), *Nordic energy systems*, 31-54; en Kaijser, 'Transborder integration of electricity and gas in the Nordic countries, 1915-1992' in *Polhem* Vol. 15 (1997), 4-43.

30 Mayntz, 'Zur Entwicklung technischer Infrastruktursysteme', 239 ff.

31 Hiermee samenhangend wijst Mayntz het model af van geografische expansie van Hughes en Kaijser (systemen zouden zich ontwikkelen van lokaal, via regionaal naar nationaal niveau). De graad van territoriale expansie kan variëren van wereldwijd (telefoon en vliegverkeer) tot lokaal (tramsysteem), en een 'tweede orde systeem' als videotex (gebouwd boven op het telefoonsysteem) werd meteen nationaal, op een 'top-down' manier, door nationale overheden gepland. Zie ook Renate Mayntz & Volker Schneider, 'The dynamics of system development in a comparative perspective: Interactive videotex in Ger-

enigde Staten ontbrak in de negentiende eeuw een sterke staat met technische competenties en financiële mogelijkheden; de grote technische systemen werden daar door particuliere bedrijven opgebouwd. Zonder een kapitaalkrachtige vraag echter stagneert de systeemgroei op de lange termijn. Het telegraafstelsel nam pas na opening voor particulier gebruik een hoge vlucht, vooral door het bedrijfsleven. Deze groep domineerde ook de telefonie. Voor de ontwikkeling van het spoorwegsysteem werd het vrachtverkeer snel dominant. Een dergelijke vraag was geen natuurlijk gegeven; vraagstimulering is een belangrijke groeifactor voor grote technische systemen.

Tenslotte benadrukken beide auteurs stagnatie als een onderdeel van de levenscyclus van grote technische systemen. De expansiegrens van systemen hangt af van zowel absolute grenzen als van de dynamiek van andere, concurrerende systemen. Mayntz maakt onderscheid tussen enerzijds 'infrastructuursystemen' van verkeer, energie en communicatie, die zich constant uitbreiden. Anderzijds volgen afzonderlijke 'grote technische systemen' *binnen* ieder infrastructuursysteem (zoals spoorwegen en autoverkeer binnen 'verkeer') elkaar op. Zij doorlopen een S-curve, met een langzame start, snelle groei, en vertraging of teloorgang – gemeten in aantal spoorkilometers, vrachtvolume, aantal abonnees, of aantal telegrammen. In plaats van het model van de S-curve spreekt Kaijser van een open concurrentie tussen systemen om marktaandeel op verschillende deelmarkten. Ze concurreren op de zogenaamde vijf p's: prijs, prestatie, politieke druk, (wets)paragrafen en propaganda. Deze concurrentie kan tot stagnatie van bepaalde systemen leiden.

Overigens beseft Kaijser dat verschillende systemen met een zelfde functie tegelijkertijd kunnen samenwerken en concurreren op verschillende deelgebieden. Zo beconcurreren water-, lucht-, spoor- en wegtransport elkaar op lange afstanden, maar hebben ze elkaar nodig op kortere afstanden (bijvoorbeeld om havens en vliegvelden bereikbaar te maken). Daardoor ontstaan 'knooppunten' van systemen: het vliegveld verbindt luchtvaart, spoortransport en autoverkeer. Systemen met verschillende functies, tenslotte, kunnen een infrastructuurfunctie bij elkaar vervullen. Zo vereisen treinverkeer en elektriciteitsvoorziening communicatienetwerken, zijn treinverkeer en telefoonsysteem gebaseerd op een energievoorziening, en zijn olievoorziening en postsysteem afhankelijk van transportsystemen.³²

Afwisselende periodes van stabiliteit en verandering

Veel LTS studies vooronderstellen de groei en consolidatie van grote technische systemen resulterend in een groeiende relatieve autonomie. Volgens Hughes waren er extreme omstandigheden, zoals oorlog, voor nodig om de koers van een systeem in de consolidatiefase te veranderen. Als tegenwicht voor de interne im-

many, France en Britain' in Mayntz & Hughes (red.), *The development of large technical systems*, 263-298.

32 Kaijser, *I Fädrens spår*, 75-95.

puls van grote technische systemen stelden Kaijser, Mogren en Steen dat veranderingen van buitenaf, van de 'maatschappij', moesten komen. Alternatieve systemen, in dit geval in de energievoorziening, moeten daarom door de staat geholpen worden. Dat kan bijvoorbeeld door het opbouwen van een onafhankelijke kennisproductie en een 'ontwikkelingsblok', een alliantie van energiebedrijven, apparaatproducenten en energiegebruikers.³³

Echter, andere auteurs stellen dat systemen in hun consolidatiefase helemaal niet zo stabiel zijn als Hughes veronderstelde. Gesloten systemen kunnen zich openen en aanpassen. Summerton (1994) ziet daarom de ontwikkeling van grote technische systemen als een *afwisseling* van fasen van conflictloze, stabiele groei en van conflict en 'reconfiguratie'.³⁴ Op basis van een LTS-anthologie over dit onderwerp onderscheidt ze drie verschillende typen van reconfiguratie. Een eerste type is de territoriale expansie over politieke grenzen. In het voorbeeld van de elektriciteitsvoorziening in Australië was een hoge bezettingsgraad en een economische mix van centrales al verwezenlijkt op deelstaatsniveau. Toch wordt nu de stap naar een nationaal net gezet met als doel om de invloed van op deelstaatsniveau georganiseerde vakbonden te omzeilen. Een tweede type is expansie over functionele grenzen, zoals dat het geval is bij het combineren van elementen van bestaande systemen tot een nieuw, tweede orde systeem. Een derde vorm van reconfiguratie is institutionele grensoverschrijding: de eenwording van zowel Amerikaanse als Europese elektriciteitsnetten in een markt van vrije concurrentie laat zien dat om nieuwe structuren te scheppen, oude ook moeten worden afgebroken.

Oorzaken van reconfiguratie kunnen volgens Summerton zowel systeem-intern als -extern zijn. Zo kunnen 'reverse salients' ontstaan door congestie in het fysieke netwerk van een systeem (zoals het autoverkeer), maar ook door zogenaamde 'negatieve externaliteiten' van het systeem (zoals milieuvervuiling). Ook kunnen veranderende concurrentieverhoudingen systeembouwers om bijvoorbeeld andere markten te gaan zoeken. Tenslotte zijn er bredere politieke ontwikkelingen die de vorm en richting van grote technische systemen kunnen veranderen, zoals ook Hughes al opmerkte. De politiek gemotiveerde integratie van het Oost-Duitse en West-Duitse telefoonnet na de eenwording is daarvan ook een voorbeeld.

Als supplement op deze studies van verandering heeft Gras (1997) juist de systeemontwikkelingen in stabiele periodes geconceptualiseerd.³⁵ Uitgaande van Luhmann's studies van sociale systemen benadrukt hij verschillende aspecten van zelforganisatie (*autopoiesis*) van grote technische systemen. Zo vertonen zij een interne creativiteit, die de basis van het systeem onaangetast laat. Bijvoorbeeld verdwenen lokale spoorwegen, maar werd het spoorwegsysteem uitgebreid met hogesnelheids-

33 Arne Kaijser, Arne Mogren & Peter Steen, *Changing direction. Energy policy and new technology* (Stockholm, 1991. Zweeds origineel 1988), 18.

34 Summerton, 'Introductory essay', 1 ff.

35 Gras, *Les macro-systèmes techniques*, 83-89.

lijnen. Daarnaast scheppen zij een 'ruimte van interne referentie': het fysieke netwerk, dat ze afbakent van de omgeving, en een bijbehorende legitimering van het systeem. Een frappant voorbeeld van succesvolle en mislukte legitimering betreft de vroege luchtvaart. De vele vliegtuigongelukken met dodelijke afloop in de jaren twintig werden gezien als noodzakelijke offers in dienst van de vooruitgang. Maar het commerciële luchtschip werd als toonbeeld van onveiligheid in het collectieve geheugen gegrift, hoewel het nooit dodelijke ongevallen had gekend voor de ontploffing van de Hindenburg. Tenslotte wordt het samenspel tussen systemen mogelijk gemaakt door de ontwikkeling van codes en 'rituelen van passage' (zoals douanevoorschriften bij vliegvelden), en kan een systeem productdifferentiatie meemaken.

Overigens is het niet altijd duidelijk of er sprake is van verandering of stabiliteit in grote technische systemen, zoals een controverse rond de introductie van windkracht in de elektriciteitsvoorziening laat zien. Vanuit een systeembouwer-perspectief stellen Hirsh en Serchuk (1996) dat de schijnbaar radicale uitdaging van windturbines aan de grootschalige elektriciteitsproductie door een nieuwe generatie systeembouwers geabsorbeerd gaat worden in de vorm van windparken. Hiermee wordt centrale controle bestandigd in tijden van deregulering en onafhankelijke producenten, en worden windturbines een conservatieve, systeembewarende technologie. Heymann (1999) daarentegen stelt dat de interne structuur, systeemcultuur, en impuls van de elektriciteitsvoorziening wel degelijk zijn veranderd onder druk van deregulering en windenergie.³⁶ Door aanpassing aan kleine en onstabiele windturbines werd het elektriciteitssysteem een 'hybride systeem', waar groot en klein, centraal en decentraal naast elkaar bestaan. Ook verdween een systeemcultuur van consensus tussen managers van elektriciteitsbedrijven, technische experts, en wetgevers. In plaats daarvan gingen wetgevers monopolies van elektriciteitsbedrijven zien als een obstakel voor economische- en milieuefficiëntie. Tenslotte zijn ontwikkelingsrichting zowel als -snelheid veranderd: de groeisnelheid is dramatisch gedaald door energiebesparingen, en de ontwikkelingsrichting is omgebogen van toenemende centralisering en marktbeheersing naar decentralisering en deregulering.

3. Beheersstructuren

Een groot deel van de LTS studies, tenslotte, richt zich meer expliciet op beleid, met name op de beheersstructuren (*governance structures*) in grote technische

36 Richard Hirsh en Adam Serchuk, 'Momentum shifts in the American electric utility industry: Catastrophic change – or no change at all', *Technology & Culture* 37 (1996), 280-311; Matthias Heymann, 'A fight of systems? Wind power and electric power systems', in *Centaurus* 41 (1999), 112-136.

systemen. Volker Schneider (1991) definieerde beheersstructuren als institutionele controlemechanismen van grote technische systemen, die ertoe dienen om technische, economische en sociale risico's te reguleren.³⁷ Dergelijke beheersstructuren worden op bedrijf-, overheid- of maatschappijniveau bestudeerd (doch in de praktijk vooral op overheidsniveau). Ik zal mij hier beperken tot twee onderwerpen van historisch belang. Deels geeft dit deel van het LTS-onderzoek inzicht in de geschiedenis van organisatievormen van grote technische systemen. Deels vestigt de studie van beheersingsproblemen ook de aandacht op de ontwikkeling van een historisch nieuw type problemen dat de groei van grote technische systemen vergezelt, en dat zich juist aan beheersing lijkt te onttrekken.

Een geschiedenis van beheersstructuren

Schneider zelf zette zich af tegen het zoeken naar de 'optimale principes' voor sociale organisatie, en benadrukte juist de variatie aan beheersstructuren of -regimes in verschillende grote technische systemen, historische perioden, en maatschappijen. Zo varieerden beheersstructuren in de telecommunicatie in hun graad van politieke controle, verticale integratie, en horizontale integratie. In de geschiedenis van de telefonie, bijvoorbeeld, hadden sommige landen (zoals Duitsland en Japan) vanaf het begin een staatsmonopolie, terwijl anderen begonnen met een particulier monopolie (waaronder Nederland) of een regime van vrije concurrentie (zoals Zweden en de Verenigde Staten). Na verloop van tijd convergeerden bijna alle nationale telefoniesystemen tot één beheersstructuur, die gekenmerkt was door sterke overheidscontrole in de vorm van een overheidsbedrijf, quasi-verticale integratie van apparatuurproductie en -uitvoering, en horizontale integratie van post, telegrafie en telefonie. Met de Verenigde Staten als grote uitzondering domineerde dit regime vanaf het begin van de twintigste eeuw tot aan de jaren tachtig. Daarna volgde een afname van de horizontale en verticale integratie, alsmede een vermindering van overheidscontrole en privatisering. Ook dit proces gebeurde gelijktijdig in een aantal landen.³⁸

Tegenover deze nadruk op nationale veranderingen in internationaal perspectief heeft Kaijser de continuïteit van beheersstructuren van verschillende grote technische systemen binnen één nationale context in begrippen gevat.³⁹ Hij spreekt van het 'institutionele kader' van een groot technisch systeem, dat formele en informele regels, organisatie en eigendomsverhoudingen bevat. Het is afhankelijk van de eigenschappen van het specifieke systeem, maar ook van het 'algemene institutionele raamwerk' van de maatschappij (een term van Douglas C. North) en van de invloed van zogenaamde 'paradigmatische systemen'. Deze laatste staan in be-

37 Volker Schneider, 'The governance of large technical systems: the case of telecommunications' in La Porte, *Social responses to Large technical Systems*, 19-41.

38 *Ibid.*

39 Kaijser, 'The helping hand'.

paalde historische perioden model voor de institutionele organisatie van andere grote technische systemen. De 'institutionele transfer' van paradigmatische systemen naar andere systemen vereist effectieve 'reproductiemechanismen'. Het begrip 'nationaal institutioneel regime', tenslotte, drukt de gezamenlijke eigenschappen uit van een aantal systemen met dezelfde institutionele kaders in een land.

Met deze begrippen beschrijft Kaijser de geschiedenis van institutionele kaders van grote technische systemen in Zweden. Het eerste paradigmatisch systeem was het wegsysteem van de 17e eeuw. Het idee dat de centralistische staat de uitvoering overlaat aan lokale actoren werd ook toegepast in systemen voor post en zeevaart. In het midden van de 19e eeuw werd het spoorwegsysteem paradigmatisch. Het principe, waarin de staat een hoofdnet bouwt en beheert terwijl lokale actoren lokale netten bouwen en beheren, werd zoals eerder al vermeld toegepast bij het telefoonsysteem (waar het staatsbedrijf echter kleinere bedrijven wegconcurrerde), de elektriciteitsvoorziening, het wegsysteem en de luchtvaart. Deze taakverdeling was een eerste element in een nationaal regime, dat specifiek Zweeds was. Deze bleef gehandhaafd tot ongeveer 1970. Vanaf de jaren twintig van de twintigste eeuw toen het elektriciteitssysteem het paradigmatische systeem werd, ontstond een tweede element van dit stabiele Zweedse nationale regime: de hechte samenwerking tussen nationale overheidsinstanties en enkele grote industriële bedrijven, die de benodigde techniek ontwikkelden en leverden. Mats Fridlund noemt dit het model van *development pairs*.⁴⁰ Het nationale elektriciteitsbureau werkte samen met ASEA, het telegraafbureau met Ericsson, en het spoorwegenbureau met zowel ASEA (voor locomotieven) als Ericsson (voor signaalsystemen). Deze samenwerking was zeer vruchtbaar op twee schijnbaar tegengestelde manieren. Deels werden technische elementen in hoge mate specifiek voor de Zweedse situatie ontwikkeld, deels werden de betrokken bedrijven wereldleiders op hun gebied. Zo ontwikkelde ASEA al vroeg electriciteitslijnen voor zeer hoge spanning voor het transport van hydro-electriciteit van Noord-Zweden naar het zuiden, en werd daarmee een pionier op dit gebied. Pas toen in de jaren zeventig de telecommunicatiesector paradigmatisch systeem werd, verdween dit Zweedse nationale regime.

Een derde niveau van studie van de ontwikkeling van beheerstructuren betreft boven-nationale instanties. McGowan spreekt van een traditioneel 'sectoraal regime' van beheersing, waar naast nationale overheden een aantal bovennationale instanties vanuit de betrokken sector zich met regelgeving bezig hield. Een voorbeeld is de *International Telecommunications Union* – door een aantal nationale regeringen opgericht in 1865 als de *International Telegraph Union* – waarvan nu bijna alle nationale staten lid zijn. Dit duale regime is echter aan het verdwijnen,

40 Mats Fridlund, 'En specifikt svensk virtuoskonst': Empiriska och teoretiska perspektiv på udvecklingsparet Asea-Vattenfalls historia', *Polhem* (1994), 106-131.

terwijl nieuwe 'regionale regimes' opgezet worden in bredere economische handelsblokken zoals de EU, ASEAN en NAFTA. Omdat vooralsnog alleen de Europese Unie op dit gebied enige effectiviteit heeft, en vele nationale overheden al een stap terug hebben gedaan, ontstaat een reguleringsleemte. Tenslotte wint ook een wereldwijd regime aan sterkte, maar hoewel de Wereldbank, GATT en WTO zich in toenemende mate met grote technische systemen gaan bemoeien, is ook hier nog geen sprake van effectieve regelgeving.⁴¹

Nieuwe vormen van systeemfouten

Naast dergelijke studies van vormen van organisatorische beheersing, hebben anderen de nieuwe typen van problemen onderzocht, die grote technische systemen ook vergezellen, en die juist gekenmerkt worden door onbeheersbaarheid. Zoals vermeld beschreef Gras (1997) al enkele nieuwe typen van onzichtbare en onbeheersbare gevaren, zoals het broeikaseffect. Andere LTS-auteurs noemen ook het ontstaan van een historisch nieuw type interne systeemfout, veroorzaakt door de toenemende complexiteit en sociotechnische vervlechting. Zij treden expliciet in het voetspoor van Charles Perrow's *Normal Accidents: Living with high-risk technologies* (1984), dat wees op de toenemende onbeheersbaarheid van complexe technologieën met vele interacterende elementen en onoverzichtelijke terugkoppelingsmechanismen. Vooral in systemen waar de verschillende elementen 'strak gekoppeld' zijn, kunnen storingen zich snel naar andere elementen verplaatsen, en kunnen schijnbaar onsamenhangende (en daarom onvoorspelbare) gebeurtenissen tezamen leiden tot een grote systeemfout.

Waar Perrow bijvoorbeeld dacht aan kerncentrales, hebben LTS-auteurs laten zien dat dergelijke fouten ook eigen zijn aan grote technische systemen, en niet gereduceerd kunnen worden tot de oude foutentypen 'menselijke fout' en 'technische fout'. Zo bekritiseerde Rochlin de resultaten van diverse onderzoekscommissies inzake het neerschieten van een Iraans passagiersvliegtuig door het Amerikaanse gevechtsschip *USS Vincennes* in de Golf in 1988. Deze commissies zochten naar óf een menselijke óf een technische fout. In dit geval werd de foutieve interpretatie van een stijgende airbus met een dalende (dus aanvallende) F14 opgevat als een menselijke fout, die te wijten was aan onervarenheid, stress en 'scenario fixatie' bij cruciale personen aan boord. De techniek, hier het geavanceerde (en zeer dure) Aegis radarsysteem, werd vrijgesproken. Maar volgens Rochlin was de Aegis-cruiser ontworpen als centraal deel van een groot technisch systeem om per radar grote gebieden in open zee te beheersen. Het was gemaakt om in extreme situaties te fungeren. Bemanningsleden werden getraind om onder stress op voorgeprogrammeerde gedragspatronen terug te vallen. Essentieel voor het schip was

41 Francis McGowan, 'The internationalization of large technical systems. Dynamics of change and challenges to regulation in electricity and telecommunications', Coutard (red.), *Governing Large technical Systems*, 130-148.

dat het functioneren van mensen en machines niet los van elkaar kon worden gezien. Het was *niet* ontworpen om te opereren in een klein gebied zonder duidelijke oorlogsstatus en met vijandelijke en vredelievende schepen en vliegtuigen door elkaar. Onder deze omstandigheden konden bemanningsleden in noodsituaties terecht komen in een verkeerd gedragspatroon.⁴²

Daarentegen is het neerstorten van de spaceshuttle *Challenger* in 1986 gemakkelijk afgedaan als een technische fout, namelijk de te geringe flexibiliteit bij lage temperaturen van de O-ringen in de tanks met vaste brandstof. Maar – en dit kwam wel naar voren in het onderzoek – bij elke shuttle-vlucht waren dit soort technische mankementen aan de orde van de dag, en de technische fout alleen verklaart niet waarom het juist nu fout ging. Jensen wijst erop dat dit soort fouten ingebakken zat in het NASA systeem. Hij problematiseert vooral de organisatorische structuur, waar om economische en politieke redenen de productie van onderdelen was verdeeld onder vele hoofd- en toeleveranciers. In het geval van de explosie haperde de communicatie tussen toeleveranciers en projectmanagement – de leveranciers probeerden vergeefs de opdrachtgevers van het mankement op de hoogte te stellen – in combinatie met een aantal toevallige gebeurtenissen zoals het uitstellen van de vlucht, lage temperaturen, en een extreme windstoot tijdens het opstijgen.⁴³

In een poging om een soort foutentypologie van grote technische systemen op te stellen stelt Rochlin, dat terwijl individuele fouten en technisch haperen blijven bestaan, de menselijke fout verschoof van individueel naar collectief niveau. Daarnaast ontstond een type fout, waarvan de wortels in het ontwerp van de hardware en de organisatie lagen. Tenslotte kwamen daar de nieuwe Perrow-achtige ‘systeemfouten’ bij, waar de complexiteit zelf fouten in de hand werkt, ook in situaties, waar de andere fouten niet te verwachten zijn.

4. Afbakening: De LTS systeembenadering te midden van andere systeembenaderingen

De systeembenadering van Hughes en het LTS-veld is slechts één van vele systeembenaderingen die in omloop zijn binnen en buiten de techniekgeschiedenis.

42 Gene Rochlin, ‘Iran air flight 655 and the USS Vincennes. Complex, large-scale military systems and the failure of control’ in La Porte (red.), *Social responses to large technical systems*, 99-125.

43 Claus Jensen, *No downlink: A dramatic narrative about the Challenger accident and our time* (z.p., 1996, Deens origineel 1993); Trevor Pinch, ‘How do we treat technical uncertainty in systems failure? The case of the space shuttle Challenger’, in La Porte, *Social responses to large technical systems*, 143-158. Pinch neemt echter afstand van Perrow, die volgens Pinch te eenduidig is in zijn analyse, en geen oog heeft voor verschillende mogelijke interpretaties van technische onderwerpen.

Net als Hughes beroepen de meeste hiervan zich erop dat zij elementen in het perspectief van het geheel kunnen plaatsen, en dat het geheel een veel interessantere analyse-eenheid vormt dan de afzonderlijke elementen. Toch krijgen begrippen als 'systeem', 'technisch systeem' of 'sociotechnisch systeem' zeer verschillende inhoud en reikwijdte. Ik zal hier volstaan met een kort overzicht, dat onderscheid maakt tussen drie groepen van systeembegrippen. Deze begrippen worden gebruikt of om puur sociale elementen met elkaar in verband te brengen, of puur technische elementen te verbinden, of juist om de verbanden tussen technische en sociale factoren te onderzoeken.⁴⁴

Zo kan in de sociologie 'de systeemtheorie' opgevat worden als een (hoewel veelvormig) paradigma binnen de theorie van sociale differentiatie. Deze generaliseert het proces van toenemende arbeidsdeling (zoals geconstateerd door Adam Smith en anderen) tot een differentiatie van de maatschappij in vele functionele deelsystemen zoals politiek, wetenschap, gezondheid en onderwijs. Dergelijke systemen zijn puur sociaal: men onderzoekt bijvoorbeeld processen van waarden-generalisering en normspecificering en systeemelementen als sociale actoren, handelingen of communicatie. Het systeembegrip verwijst hier deels naar de differentiatie van het sociale geheel in delen, en deels naar de autonomie die de deelsystemen bijvoorbeeld door middel van 'identiteitsbewaring' weten te verwerven tegenover hun omgeving. Volgens Mayntz is met deze concentratie op puur sociale systemen, die zijn wortels heeft in het werk van Herbert Spencer en Talcott Parsons, de aandacht in de vroege sociologie (bijvoorbeeld bij Marx en Durkheim) voor techniek verdwenen. Techniek werd een 'externe factor', en viel daarmee buiten het domein van sociologisch onderzoek – een positionering, waar verschillende moderne technieksociologen zich tegen afzetten.⁴⁵

Binnen de techniekgeschiedenis daarentegen wordt het begrip systeem juist gebruikt om technologische ontwikkeling te begrijpen, en vaak in puur technische zin opgevat. Staudenmaier (1985) identificeert in de Amerikaanse techniekgeschiedenis systeembenaderingen op verschillende niveaus. Het meest locale niveau is dat van de afzonderlijke machine, waar met een systeembenadering verschillende bewegingen en krachten binnen de machine als één functioneel geheel worden gezien. Daarboven noemt hij het niveau van 'technische projecten' – bijvoorbeeld

44 Ik zal hier niet ingaan op het verwante netwerkbegrip, maar volstaan met een verwijzing naar Jean-Marc Offner, 'Are there such things as small networks' in Olivier Coutard, *The governance of large technical systems*, 217-238 en Reiner Grundmann, 'On control and shifting boundaries: modern society in the web of systems and networks', in Coutard, *Governance*, 239-257.

45 Mayntz, 'Grosse technische Systeme', 98; Renate Mayntz, 'Funktionelle Teilsysteme in der Theorie sozialer Differenzierung', in Renate Mayntz e.a. (red.), *Differenzierung und Verselbständigung. Zur Entwicklung gesellschaftlicher Teilsysteme* (Frankfurt, 1988), 11-44; en Mayntz, 'Zur Entwicklung technischer Infrastruktursysteme', 233-260.

het design van een onderzeeboot, waar vele delen op elkaar afgestemd moeten worden. En op het niveau van 'het productiesysteem' is bijvoorbeeld een fabriek een geheel van op elkaar afgestemde machines en transportinrichtingen. Nog uitgestrekter zijn 'transmissienetwerken' als riolering en telefoonnetten.⁴⁶

Op nog hoger integratieniveau – Staudenmaier ziet dit over het hoofd, omdat hij zijn analyse tot één tijdschrift, *Technology and Culture*, beperkt – bevindt zich het begrip technisch systeem zoals gebruikt door Bertrand Gille in het encyclopedische werk *Histoire des techniques* (1978). Ook dit systeem bindt louter technische elementen samen, en dient ertoe om de samenhang tussen de technieken van een bepaalde tijd uit te drukken. Zo onderscheidt Gille een Egyptisch-Mesopotamisch technisch systeem, een Grieks-Romeins technisch systeem, een middeleeuws technisch systeem, een Renaissance-Klassiek technisch systeem, het technisch systeem van de industriële revolutie, een modern technisch systeem, en 'geblokkeerde systemen' zoals het Chinese, Midden-Amerikaanse en Islamitische tijdens de late Middeleeuwen. Deze systemen bevatten technieken op drie niveaus. Ten eerste zijn er basale structuren (*structures élémentaires*) zoals gereedschappen of machines. Daarnaast vormen combinaties van dergelijke structuren ensembles voor de productie van één product (*ensembles techniques*), zoals een productie-eenheid voor ijzer. Tenslotte kunnen ensembles gecombineerd worden in technische ketens (*filières techniques*), zoals in de ijzerproductie de keten van mijnbouw via ovens tot rollers of vormers. Terwijl het systeembegrip de samenhangen tussen deze niveaus uitdrukt, gaat het niet om de afzonderlijke elementen, die in principe voor en na de betreffende periode kunnen bestaan.⁴⁷

Tenslotte wordt het systeembegrip gebruikt om de interactie tussen techniek en maatschappij zichtbaar te maken. Dit geldt met name voor verschillende studies in de traditie van de zogenaamde algemene systeemtheorie, waarmee Ludwig von Bertalanffy in de jaren veertig van de twintigste eeuw het denken in systemen 'wetenschappelijk' probeerde te formuleren als nieuwe multidisciplinaire eenheidswetenschap, die de steeds verder toenemende academische specialisatie kon tegengaan.⁴⁸ Deze theorie nam zowel toegepaste systeembenaderingen, zoals de door Hughes bestudeerde managementtechnieken, als Norbert Wiener's cybernetica

46 John Staudenmaier, *Technology's storytellers. Reweaving the human fabric* (Cambridge, Ma, 1985), 69-82. Het is mij echter niet duidelijk in hoeverre de auteurs in T&C expliciet een systeembegrip gebruiken, of in hoeverre dit Staudenmaier's eigen interpretatie is.

47 Bertrand Gille (red.), *Histoire des techniques. Encyclopédie de la Pléiade* (Parijs, 1978).

48 Von Bertalanffy's formulering van de systeemtheorie op het terrein van de theoretische biologie (1940) en de generalisering hiervan tot algemene systeemtheorie (1945) zijn in engelstalige versie herdrukt in Ludwig von Bertalanffy, *General systems theory. Foundations, development, applications* (N.Y.: 1973/1969). Voor een korte geschiedenis van de algemene systeemtheorie zie Günter Ropohl, *Eine Systemtheorie der Technik: Zur Grundlegung der allgemeinen Technologie* (München, 1979), 50-54 en 54-103.

(1948) in zich op; Dit laatste is een theorie van zelfregulering in dier, mens en machine door middel van informatie en terugkoppelingsmechanismen. Met hulpmiddelen variërend van wiskundige modellen en computersimulaties tot informele discussies zou de algemene systeemtheorie toegepast kunnen worden ten behoeve van een systematische controle van onder andere ecosystemen, de wapenwedloop, organisaties (bureaucratieën, legers), en internationale politiek – allemaal probleemgebieden met vele variabelen en onoverzichtelijke relaties en terugkoppelingen.

Al in 1960 inspireerde von Bertalanffy's werk Fred Emery en Eric Trist om de onderneming te beschrijven als een 'open socio-technisch systeem'. Dit systeem bestaat vervolgens uit een 'technisch systeem' en een 'sociaal systeem', die nauw met elkaar samenhangen. De ondernemer moet daarom bij de keuze van organisatie rekening houden met de productietechniek; de analyse geeft aanwijzingen voor bijvoorbeeld de optimale omvang van groepen, psychologische voldoening van de werkers, en definitie van superviserollen.⁴⁹ In Günter Ropohl's (1979) algemene systeemtheorie van de techniek vindt men deze categorieën terug op maatschappijniveau.⁵⁰ In Ropohl's formele model is het menselijk handelen ondergebracht in 'menselijke handelingssystemen', die bestaan uit persoonsystemen, sociale mesosystemen (groepen, organisaties) en sociale macrosystemen (maatschappijen). Objecten en processen zijn ondergebracht in techniekssystemen (*Sachsysteme*). Deze twee typen van reële systemen hangen sterk samen; handelen is afhankelijk van techniek, maar techniek wordt door handelen vorm gegeven. Beide systemen worden daarom geïntegreerd in een 'sociotechnisch systeem', waar ook de ontstaans- en veranderingsprocessen van techniekssystemen zich afspelen. Het blijft vooralsnog de vraag, echter, of Ropohl's formele model techniekhistorisch productief te maken is.⁵¹

Tenslotte moet ook Jacques Ellul's studie *Le système technicien* (1977) hier genoemd worden.⁵² Hoewel Ellul naar Von Bertalanffy's systeembegrip verwijst, gaat het hem niet om het modelleren van de werkelijkheid, maar om op ideaaltypische wijze de moderne Westerse maatschappij te karakteriseren. Bij Ellul vindt men geen formeel interactiemodel tussen technische en sociale systemen, maar de

49 F. E. Emery & E. L. Trist, 'Socio-technical systems', *Management sciences. Models and Techniques. Proceedings of the sixth international meeting of the Institute of Management Sciences, Vol. 2* (Oxford, 1960), 83-97. Een paar decennia later werd het begrip sociotechnisch systeem in deze traditie (die ook bekend staat als de 'Londense Tavistock Institut of Human Relations – aanpak') tot etiket van participatief innovatiemanagement. Zie Mayntz, 'Grosse technische Systeme', 98-99.

50 Ropohl, *Eine Systemtheorie der Technik*.

51 Zo concludeert de Deense techniekhistoricus Hans Buhl, 'Sociotekniske systemer i teori og praksis', *Philosophia* jrg. 25 (1996), 143-166 op 156-159.

52 Ik gebruik de engelse vertalingen: Jacques Ellul, *The Technological System* (N.Y., 1980) en Jacques Ellul, *Perspectives on our age. Jacques Ellul speaks on his life and work* (N.Y., 1981).

these dat in de laatste twee eeuwen het bereik van de techniek verbreed werd van louter materiële toepassingen tot alle menselijke activiteitssferen. Zo werden organisaties en sport herschappen met efficiëntie als leidraad. Vóór 1960 waren deze verschillende technische en getechnificeerde gebieden niet met elkaar verbonden, en kon techniek de maatschappij niet eenduidig structureren. Dit veranderde echter met de toenemende rol van informatie, waardoor de afzonderlijke gebieden zich gingen zien als een deel van een groter zelfregulerend geheel, het Technische Systeem. Dit geldt ook voor de autonoom ontwikkelde spoorwegen, postsystemen, elektriciteitssystemen en verdedigingssystemen, die door de op informatie gebaseerde herstructurering van het technische ensemble werden gereduceerd tot subsystemen van het Technische Systeem.⁵³ Het gaat Ellul overigens niet om het uitwerken hiervan als historische hypothese, maar om het onderzoeken van de kenmerken en de ontwikkelingslogica van dat systeem, als ook de relatie met het individu: deze krijgt door het Systeem een rol opgelegd, en kan als gevolg hiervan het Systeem niet meer van buitenaf bekritisieren.

De afbakening van grote technische systemen in het LTS-veld

De relatie tussen deze systeembenaderingen en de LTS-benadering is over het algemeen onderbelicht en impliciet.⁵⁴ Om deze relatie te onderzoeken is het van belang vast te stellen, hoe LTS-auteurs hun eigen onderwerp definiëren. Er lijkt een interne consensus te zijn over een groep van grote technische systemen, die het onderzoeksveld aanduiden. Zo worden elektriciteitsvoorziening, spoorwegen en telefoniesystemen vaak als voorbeelden genoemd, terwijl men geen studies aantreft van individuele apparaten of locaties, zoals huishoudens, kantoren of fabrieken. Toch is niet helemaal duidelijk hoe de categorie grote technische systemen theoretisch afgebakend kan worden. Eén van de centrale auteurs in het LTS-veld, de Duitse socioloog Bernward Joerges, concludeerde onlangs dat het begrip 'groot technisch systeem' in de vele casestudies zelden scherp gedefinieerd wordt. Hij spreekt daarom van 'quasi-definities' en van een 'high variability discourse' in het LTS-veld. Er bestaan een aantal, vaak impliciete betekenissen van systemen naast elkaar: men leunt vooral op metaforen uit *het systems engineering* (met nadruk op beheersaspecten) of de sociologische systeemtheorie (met nadruk op het zelf-organiserend karakter van systemen). Joerges zelf ziet dit overigens niet als een zwakte; hij wijt dit aan de veelvormigheid van de systemen zelf, niet aan de pogingen deze te begrijpen.⁵⁵ Pogingen om de categorie grote technische systemen theore-

53 Voor de verwijzing naar deze subsystemen zie Ellul, *The Technological System*, 108.

54 Uitzonderingen zijn Gras, *Sociologie des macro-systèmes techniques*, 10-18 en 111-130 en Mayntz, 'Grosse technische Systeme'.

55 Bernward Joerges, 'High variability discourse in the history and sociology of large technical systems' in Coutard (red.), *The governance of large technical systems*, 258-290.

tisch af te bakenen vindt men wel in een aantal meta-teksten.⁵⁶ Mijns inziens zijn hier ten minste twee zeer verschillende manieren van afbakening.

De meeste LTS-auteurs lijken in navolging van Hughes de term 'systeem' primair te gebruiken om de samenhang tussen componenten van technische en niet-technische aard aan te duiden.⁵⁷ Zij interesseren zich vooral voor een categorie van sociotechnische ensembles, die een belangrijke rol spelen in de samenleving, maar zich onderscheiden van de sociale systemen, die de sociologie pleegt te bestuderen, en ook van de puur technische artefacten en netwerken van techniekhistorici.⁵⁸ Verder vooronderstellen ze (soms impliciet) het bestaan van materiële netwerken. Maar vooral volgen zij Hughes' verdere afbakening met behulp van het begrip van de systeembouwer: de macht van de systeembouwer over elementen bepaalt de uitgestrektheid van het systeem. Technische of niet-technische elementen, die de systeembouwer niet beheerst, behoren tot de omgeving.⁵⁹ Terwijl bij Hughes over het algemeen sprake is van individuele systeembouwers, zien andere auteurs ook bedrijven en organisaties als systeembouwers, die deze centrale controle kunnen uitoefenen. Op grond van het criterium van centrale controle worden sociotechnische ensembles als autoverkeer en zeevaart, waar geen directe centrale

56 Niet dat de variatie daarom minder wordt. Zo wordt het adjectief 'groot' in grote technische systemen opgevat als: uitgestrektheid in ruimte en tijd; het mogelijk maken van het functioneren van vele 'kleine technische systemen'; de doordringing van andere sociale deelsystemen in de maatschappij; het leveren van grote prestaties; het bezitten van veel elementen; massaal resourcegebruik; kapitaal- of arbeidsintensief zijn; het belang van ruimtelijke expansie voor het functioneren van het systeem; levensduur (minstens zo lang als een menselijke generatiewisseling); de eis tot grote beheers-organisaties; het stabiliseren van eigenschappen en doel t.o.v. de omgeving; de capaciteit om nieuwe problemen op te lossen; of, in Joachim Radkau's meer historische oriëntatie, het doorbreken van de grens van wat in een bepaalde tijd als 'groot' geldt. Zie Bernward Joerges, 'Large Technical Systems: Concepts and issues' in Mayntz & Hughes, *The development of large technical systems*, 9-36; Mayntz, 'Zur Entwicklung technischer Infrastruktursysteme', 233-240; Klaus Kornwachs, 'Steuerung und Wachstum. Ein systemtheoretischer Blick auf große technische Systeme' in Braun & Joerges, *Technik ohne Grenzen*, 420-421; Reiner Grundmann, 'Über Schienen, Straßen, Sand und Perlen. Große technische Systeme in der Theorie sozialer Systeme', *Ibid.* 535-537; Johannes Weyer, 'Großendiskurse. Die strategische Inszenierung des Wachstums sozio-technischer Systeme', *Ibid.* 347; en Radkau, 'Zum ewiger Wachstum verdammt?', 53 en 94.

57 Sociologen spreken vaak van 'technische' en 'sociale' elementen, maar houden daarmee de a-priori categorieën in stand, die Hughes juist wil afschaffen. Zie Hughes, 'The seamless web'.

58 Primaire aandacht voor sociotechnische complexiteit wordt ook gezien als de kern van de bredere groep van studies van technische systemen, waarvan LTS slechts een deel uit maakt. Lars Ingelstam, *Complex technical systems* (Stockholm, 1996).

59 Zie vooral Hughes, 'The evolution of large technical systems'.

controle is op cruciale elementen zoals automobilisten en schippers, vaak niet als grote technische systemen opgevat. Bij Gras is deze uitsluiting zelfs expliciet.⁶⁰

Een tweede manier van afbakening, daarentegen, lijkt de afbakening van het onderwerp los te koppelen van concepten als systeembouwer en sociotechnische interactie. Deze benadering gaat primair uit van de technische basis van grote technische systemen, d.w.z. van het materiële netwerk of van materiële stromen. Zo baseert Kaijser zijn afbakening van infrasystemen op het bestaan van materiële stromen met infrastructuur-functies als communicatie, energievoorziening en transport.⁶¹ Vergelijkbaar hiermee plaatst Mayntz grote technische systemen binnen het sociale deelgebied van infrastructuur, en karakteriseert ze deze met hun specifieke materiële basis. In beider analyses behoren bijvoorbeeld binnenvaart en wegtransport *wel* tot de groep van grote technische systemen. Ondanks het feit dat ook deze auteurs centrale posities innemen in het LTS-veld, gebruiken zij de systeembenadering slechts voor analyse van hun onderzoeksobject, niet voor de afbakening ervan. Daarentegen lijken in de eerste methode van afbakenen analysekader en – object samen te vallen.

Radkau, tenslotte, maakte de afbakening ook los van het infrastructuur-begrip, en lijkt impliciet een afbakening te hanteren die geheel gebaseerd is op materiële stromen. In zijn visie horen zowel wegtransport als irrigatie- en ontwateringsystemen tot de grote technische systemen. Voor het treinsysteem spreekt Radkau van een stalen netwerk dat letterlijk hele naties kan omspannen. Op dezelfde manier kan men spreken van betonnen netwerken en netwerken van water.⁶²

Voor al met deze tweede manier van afbakening, die men materieel en geografisch kan noemen⁶³, wordt het onderscheid tussen grote technische systemen enerzijds en de bovengenoemde begrippen sociaal systeem, technisch systeem en sociotechnisch systeem anderzijds, duidelijk. Het verschil met sociale systemen, die geen techniek bevatten, is evident. Dit geldt ook voor de sociale deelsystemen in de sociologie. Dezen kunnen wel getechnificeerd worden, maar zoals Mayntz benadrukte is alleen het nieuwe deelsysteem van infrastructuursystemen afhankelijk

60 Gras, *Les macro-systèmes techniques*, 35-38. Het gebrek aan studies over autoverkeer in het LTS-veld werd gedeeltelijk gecorrigeerd in Reiner Grundmann, 'Car traffic at the crossroads: New technologies for cars, traffic systems, and their interlocking' in Summer-ton (red.), *Changing large technical systems*, 265 ff. en Oskar Juhlin, 'Information technology hits the automobile? Rethinking road traffic as social interaction', *Ibid.* 291 ff.

61 Het begrip infrastructuur werd door de NATO geïntroduceerd in de jaren 1950 om militaire basisfuncties aan te duiden, zoals telecommunicatie en vliegvelden. In de jaren 60 werd het opgepikt in de Duitse maatschappijwetenschappen om materiële of immateriële basisfuncties in een maatschappij aan te duiden. Kaijser, *I fädrens spår*, 15-16.

62 Mayntz, 'Zur entwicklung', 238; Kaijser, *I fädrens spår*, 74. En Radkau, 'Zum ewiger Wachstum verdammt?'.

63 Van der Vleuten, 'The systemic society', 3.

van de techniek voor zijn bestaan.⁶⁴ De eis van materiële samenhang in combinatie met geografische uitgebreidheid maakt grote technische systemen ook meer uitgestrekt dan lokale technische systemen als machines of fabrieken. Daarentegen zijn zij als materieel samenhangende structuren wel kleiner dan de sociotechnische en technische systemen van Ropohl, Gille en Ellul, die in principe iedere techniek in een gegeven maatschappij moeten kunnen bevatten. Van deze systemen zijn grote technische systemen slechts subsystemen. Misschien kan men concluderen, dat grote technische systemen een vorm van technische systemen zijn op mesoniveau.

5. Kritiek

Met de sterke groei van het LTS-veld is er natuurlijk ook kritiek op het veld naar voren gekomen. Ernstige kritiekpunten zijn vooral het gebrek aan sociaal kritische analyses en de deterministische trekjes van LTS-studies. Verschillende auteurs suggereren dat deze lacunes inherent zijn aan de systeembenadering, en pleiten ervoor om andere methodische uitgangspunten toe te laten in de bestudering van de geschiedenis en dynamiek van grote technische systemen.

De systeembenadering en het gebrek aan sociale kritiek

Er zijn verschillende redenen voor het lage kritische potentieel van de Hughesiaanse systeembenadering. John Law noemt bijvoorbeeld de eenzijdige aandacht voor heroïsche systeembouwers als een hoofdprobleem.⁶⁵ Hij erkent dat dit begrip een aantal ontwikkelingen met elkaar kan verbinden, zoals het gelijktijdig manipuleren van technische- en niet-technische elementen (wat Law 'heterogeneous engineering' noemt). Maar onderzoekers tenderen ook de categorieën, het wereldbeeld en de standpunten van hun helden over te nemen, en een kritische afstand tot deze actoren te verliezen. Deze te grote vereenzelviging met de visies van dominante actoren maakt sociale kritiek moeilijk. En de onderzoekers stellen doorgaans geen vragen, die geen expliciete betekenis hebben voor hun helden, zoals bijvoorbeeld over gender ("did Edison care about gender?"⁶⁶), sociale klassen, etniciteit, leeftijd, handicap en daklozen. Ter compensatie hiervoor stelt Law voor om de verdeling en strategieën van macht expliciet te thematiseren.⁶⁷

64 Mayntz, 'Zur entwicklung'.

65 John Law, 'Introduction: monsters, machines and sociotechnical relations' in John Law (red.), *A sociology of monsters: essays on power, technology and domination* (London/N.Y., 1991), 12.

66 *Ibid.*, 11.

67 Het moge duidelijk zijn dat deze kritiek niet van toepassing is op Alain Gras. Maar Gras is een uitzondering in de periferie van het LTS veld, al is het maar vanwege de taal waarin hij schrijft.

Ook Michael Hård ziet het gebrek aan kritisch potentieel als inherent aan de systeembenadering. In tegenstelling tot Law ziet hij echter het functionalisme in de gangbare systeembenaderingen, waaronder die van Hughes, als grootste probleem. Elementen worden uitsluitend gekenmerkt door hun positieve functie in het overeind houden van een structuur. Om een doel te bereiken moeten alle delen van het systeem samenwerken. Verschillende systemen of hun systeembouwers kunnen wel met elkaar in conflict zijn, maar binnen het systeem wordt conflict gezien als disfunctioneel en falen van het geheel. De systeembenadering is dus een 'harmoniemodel'. Voor Hård is dat plausibel zolang het gaat om puur technische structuren, maar niet als de stap naar sociale structuren wordt gemaakt, en sociale elementen dus als in harmonie met het systeem worden gezien. Een eventuele kritische houding ten opzichte van systemen wordt dan onzichtbaar, en de sociale acceptatie ervan benadrukt. De functionalistische methodologie "steunt degenen die baat hebben bij harmonie en samenwerking, en ontmoedigt degenen die baat hebben bij conflict en tegenstellingen."⁶⁸ Deze positie vindt hij onhoudbaar, want als iedereen tevreden was met gestabiliseerde technieken, zouden we in de best mogelijke wereld leven. Dat is "op zijn zachtst gezegd niet het geval."⁶⁹ Als alternatief stelt hij voor technologische ontwikkeling te bestuderen als resultaat van tegenstrijdige belangen. Conflict is dan niet disfunctioneel, maar juist een drijfkracht in technische ontwikkeling. Techniek in deze interpretatie is geen gereedschap om taken te vervullen, maar een middel voor sociale groepen om sociale verhoudingen te veranderen.⁷⁰

Naast deze concentratie op harmonie binnen afzonderlijke grote systemen, demonstreert Hughes zelf misschien het meest imponerende gebrek aan kritisch vermogen in zijn latere werk. Niet alleen vooronderstelt hij trots en onkritisch de leidersrol van de Verenigde Staten op systeembouwergebied in de wereld, met 'het systeembouwen' als een basale Amerikaanse waarde, die meer gewaardeerd behoort te worden (alsof het hier een eenduidig goede eigenschap betreft). Hij demonstreert ook een sterk vooruitgangsoptimisme in de geschiedenis van het systeembouwen, waar de verschillende systeembouwvormen in harmonie met hun tijd zijn. De laatste innovatie van het 'postmoderne systeembouwen' ziet hij als 'een aanpassing van het systeembouwen aan de eisen van de postmoderne tijd', en als de 'redding van Prometheus' – de titel van zijn laatste boek – die de systeembouwer prepareert voor de 21e eeuw. Hughes vergeet hierbij dat afschaffing van oude vormen van sociale onderdrukking (in dit geval de uitsluiting van belangengroepen in het systeembouwen en de hiërarchische organisatiestructuur van systemen) als regel weer nieuwe verliezers met zich mee brengt. Men denke aan de

68 Mikael Hård, 'Beyond harmony and consensus: A social conflict approach to technology', *Science, Technology & Human Values* Vol. 18 (1993), 408-431 op p. 413.

69 *Ibid.*, 415.

70 *Ibid.*, 428.

groepen in de maatschappij die geen stem hebben in een belangengroep. Men denke ook aan Gilles Deleuze's beschrijving van een overgang van de Foucaultiaanse 'disciplinemaatschappij' naar de huidige 'controlemaatschappij'. Deze ontwikkeling zou zich in alle sociale deelgebieden weerspiegelen, waaronder mogelijk ook die van grote technische systemen. Oude onderdrukingsmechanismen verdwijnen weliswaar, maar ook de oude strategieën om aan deze onderdrukking te ontsnappen. En terwijl nieuwe onderdrukingsmechanismen ontstaan (vooral gebaseerd op permanente controle van individuen), moeten nieuwe ontsnappingsstrategieën nog gevonden worden.⁷¹

Summerton heeft onlangs enkele nieuwe onderzoeksgebieden voor het LTS-veld voorgesteld om deze sociaal naïeve situatie te corrigeren.⁷² Ten eerste pleit ze ervoor om de verzameling relevante empirische gebeurtenissen uit te breiden met nieuwe gebieden en actoren-groepen. Hiertoe behoren de symbolische, culturele, en ecologische betekenis van grote technische systemen, alsmede niet-dominante systeembouwers (die zij elders *antiheroes* noemde⁷³) zoals de consumenten, openbare opdrachtgevers, milieugroepen, vrouwen, en de medewerkers van de helden. Naast nieuwe empirische onderwerpen wil ze ook nieuwe theoretische perspectieven in het veld integreren, waaronder 'kritische systeemstudies' – "Being hard on heroes" – die zich richten op de schadelijke gevolgen van de systeembouwactiviteiten, zoals het bewerken van politici en het buitenspel zetten van zwakke sociale groepen (bijvoorbeeld in gevallen van onteigening). Een complementaire aanpak is het verlaten van de ambitie om één groot verhaal te vertellen ten gunste van een 'postmoderne' waarin "vele verhalen vanuit vele gezichtspunten moeten doorklinken." Dit zou kunnen met een arenaperspectief, waar de stemmen van zo veel mogelijk betrokken groepen naast elkaar gezet worden.⁷⁴

Het determinisme van de systeembenadering

Daarnaast lijken veel LTS-studies deterministisch in hun beschrijvingen van de groei van grote technische systemen als deel van min of meer natuurlijke ontwikkelingstrajecten. Hughes zelf maakte deze these van determinisme expliciet in zijn studie van de expansie van het elektriciteitsvoorzieningssysteem. Methodologisch plaatste hij zich weliswaar in een constructivistische hoek en zijn beschrijving heeft enkele constructivistische elementen.⁷⁵ Zo is er een creatieve en sterke systeem-

71 Malene Busk, 'Micropolitics. Gilles Deleuze's political philosophy from Marx and beyond', te verschijnen in Patricia Pisters (red.), *The politics of Gilles Deleuze* (werktitel).

72 Jane Summerton, 'Stora tekniska system. En introduktion till forskningsfältet' in Blomkvist & Kaijser, *Den kontruerade världen*, 33ff.

73 Summerton, 'Introduction', 17.

74 Het is echter de vraag of deze verschillende aanvullingen nog wel te rijmen zijn met een Hughesiaanse systeembenadering, die toch ook bij Summerton centraal staat. Summerton, 'Stora tekniska system', vooral 19-31.

75 Vooral in Bijker, Hughes & Pinch (red.), *The social construction of technical systems*.

bouwer nodig om steeds grotere configuraties van het systeem te scheppen, en kan de omgeving systemen vormen in verschillende stijlen, en ook het 'momentum' ervan doorbreken. Voor Hughes is er echter geen twijfel dat, eenmaal opgebouwd, grotere systeemconfiguraties economisch superieur zijn aan hun kleinschalige voorgangers. Waar anderen dit aan schaalvoordelen toeschreven, wijt Hughes dit aan een superieure bezettingsgraad en economische mix. Hij spreekt zelf van een 'zacht economisch determinisme' in de richting van expansie.⁷⁶

Een drietal empirische, constructivistische studies vechten deze conclusie aan. Deze studies wijzen eveneens op het gebrek aan kritische afstand tot de dominante systeembouwers, wat leidt tot het onkritisch kopiëren van de heersende opvattingen over de rationaliteit van technische ontwikkeling. En ook hier worden alternatieve methodologische uitgangspunten voorgesteld om voor de blinde hoeken van de systeembenadering te compenseren.

Zo pleit Donald MacKenzie ervoor om de aandacht te verschuiven van de zogenaamde natuurlijkheid en rationaliteit van technische ontwikkelingstrajecten naar *opvattingen* over rationaliteit van de betrokken dominante actoren. Zijn 'historische sociologie' scheidt daarmee een afstand ten opzichte van de dominante actoren, wier visie en inspanningen sociologisch herschreven worden. Want volgens MacKenzie lijkt de gevolgde ontwikkelingsrichting aan het einde van een traject 'natuurlijk' vanwege een 'self-fulfilling prophecy': het collectieve geloof in een ontwikkelingsrichting verhoogt de kansen dat deze ook werkelijkheid wordt. Dit fenomeen is bekend uit de sociale wereld, waar bijvoorbeeld het functioneren van geld als uitwisselingsmedium alleen werkt als voldoende mensen geloven dat het blijft werken. Maar het is ook werkzaam bij technische ontwikkeling, bijvoorbeeld de ontwikkeling van computers, waar 'Moore's law' zegt dat het aantal componenten op een microchip jaarlijks verdubbelt. Dit 'geloof' stuurde de technische- en investeringsbeslissingen, en gaf zo aanleiding tot het ontstaan van een technisch traject, waarin de verwachtingen ook werden gerealiseerd. Ook voor andere technische ontwikkelingen is een dergelijk mechanisme aantoonbaar.⁷⁷

In plaats van trajecten als natuurlijk te beschouwen, betreft MacKenzie drie sociale gebeurtenissen in de beschrijving, die voorwaarde zijn voor het doorlopen van het traject. Ten eerste de institutionalisering van het traject: in zijn beroemde studie naar de toenemende precisie van ballistische raketten werd een stabiel organisatorisch kader geschapen, volledig gericht op het doel van verbeterde precisie. Ten tweede werden middelen naar deze organisaties gesluisd, in dit geval door het belang te benadrukken van zogenaamde 'counterforce accuracy'. Dit verwijst naar het precies kunnen raken van militaire doelen in een preventieve actie. Dit belang was geen natuurlijk gegeven: eerder werden raketten als 'countercity' wapens ge-

76 Hughes, *Networks of power*, 465.

77 Donald MacKenzie, *Knowing machines. Essays on technical change* (Cambridge, Ma., 1996), 8 en H. 5, alsmede de andere studies in dit boek.

zien, vergeldingsinstrumenten waar precisie geen belang heeft voor het verwoesten van steden. Zonder dit belang zou het traject ten einde komen en een andere richting inslaan, bijvoorbeeld van grotere betrouwbaarheid, snellere productie, of verbeterde economie van ballistische raketten. Tenslotte is het geloof dat de begerde vooruitgang realiteit gaat worden een voorwaarde voor het voortzetten van het traject⁷⁸.

McGuire, Granovetter & Schwartz gaan een stap verder en demonstreren, hoe de ontwikkeling van grote technische systemen ook anders had kunnen verlopen. Zij vallen Hughes aan op eigen terrein, namelijk dat van de overgang van geïsoleerde elektriciteitssystemen in afzonderlijke bedrijven en huizen naar Edison's lokale systemen, die kleine stedelijke gebieden van stroom voorzagen.⁷⁹ Hun economische sociologie zet zich vooral af tegen een ahistorische economische wetenschap, en onderzoekt onder andere de 'sociale constructie van markten, prijsvorming, en industriestructuren'. McGuire e.a. beschouwen niet de techniek zelf als sociaal geconstrueerd; de techniek van zelfvoorziening en van lokale systemen (die toen een zeer kleine omvang hadden) was in Edison's tijd nog vrijwel identiek. Het gaat daarentegen om de sociale constructie van de marktstructuur.

Met dit uitgangspunt stellen zij dat Edison's systeem niet per definitie technisch en economisch beter was dan het systeem van zelfopwekking, zoals Hughes veronderstelde. Edison verschilde feitelijk van mening over de beste marktstructuur met zijn Amerikaanse financiers. Zo wenste vooral J.P. Morgan een traject gebaseerd op zelfopwekinstallaties. Niet de gasvoorziening was zijn voorbeeld, maar de centrale verwarming, waar brandstof aan huis werd geleverd. Dit sloot ook aan bij het bestaande traject van elektrische verlichting, waar de Brush company en andere bedrijven installaties met booglampen installeerden in bedrijven. Voor de financiers had dit verschillende voordelen. Zo was er een zeer grote potentiële markt voor dergelijke installaties (het ging niet om 'enkele centrales', maar om 'duizenden' bedrijven en huizen). Daarbij wilde Morgan vele producenten inschakelen om installaties te produceren en dus het financiële risico te nemen. Zijn inkomsten zouden uit licenties komen. Dit maakte de eigen investeringen laag en de terugverdientijd kort. In de jaren tachtig van de negentiende eeuw ging de verkoop van geïsoleerde Edison-systemen voortvarend. De *Edison Company for Isolated Lighting*, opgericht tegen Edison's wil, had in 1888 al bijna 1300 systemen

78 Donald Mackenzie, *Inventing accuracy: A historical sociology of nuclear missile guidance* (Cambridge, Ma., 1990).

79 Patrick McGuire, Mark Granovetter & Michael Schwartz, 'Thomas Edison and the social construction of the early electricity industry in America', in Richard Swedberg (red.), *Explorations in economic sociology* (N.Y., 1993), 213-245. Een vervolgstudie is Mark Granovetter & Patrick McGuire, 'The making of an industry: Electricity in the United States' in Michel Callon (red.), *The laws of the markets* (Oxford, 1998), 147-173.

verkochte, die ongeveer evenveel lampen lieten branden als de minder dan tweehonderd openbare Edison systemen. Volgens McGuire e.a. was een traject van zelfopwekinstallaties dus zeer wel mogelijk, vooral als Edison daar ook zijn energie had ingestoken in plaats van het actief tegen te werken. Een grotere uitbreiding van zelfopwekinstallaties zou de markt voor centrale systemen weer verpest hebben.

Omdat het alternatief technisch en economisch realistisch was, vereist het succes van Edison's traject een andere verklaring. McGuire e.a. concentreren zich op Edison's plaats in persoonlijke netwerken, die hij gebruikte om kapitaal te vergaren. Daarmee kon hij zijn gang gaan ondanks de tegenwerking van zijn financiers. Toen deze de geldkraan definitief dicht draaiden, stelde persoonlijke contacten hem in staat Duits en Brits geld te mobiliseren. Met partners als Siemens-Halske en A.E.G., die graag een internationaal kartel wilden vormen, werd een syndicaat opgericht. Dit syndicaat nam Edison's bedrijven over en legde de financiële basis voor de diffusie van lokale systemen. Zonder de sterke financiële ontwikkeling in Duitsland, internationale bewegingen op de kapitaalmarkt en persoonlijke contacten had Edison's project echter kunnen mislukken. Hughes' conclusie, dat de elektriciteitsbranche zich ontwikkelde zoals het geval was dankzij briljante mannen die economische en technische problemen oplosten, komt volgens McGuire e.a. voort uit een "analytisch kader, dat de variatie aan mogelijke andere uitkomsten verdoezelt".⁸⁰

Tenslotte kan ook het constructivisme van Wiebe Bijker, dat expliciet ontworpen is als aanval op bepaalde vormen van technologisch determinisme, het determinisme in de systeembenadering aan de kaak stellen.⁸¹ Bijker bekritiseerde de veel voorkomende quasi-lineaire vertelstructuur, die technische ontwikkeling beschrijft als een opeenvolging van technieken. Vaak wordt deze vertelstructuur vergezeld van de aanname, dat de nieuwere technieken in deze reeks technisch beter zijn dan de oudere technieken. Dit zou het proces van vervangen verklaren. Echter, een beschrijving van oude en nieuwe technieken als naast elkaar bestaand (in plaats van na elkaar) kan zichtbaar maken, of er inderdaad sprake was van een simpel vervangingsproces. Maar in tegenstelling tot het lineaire model kan een model van co-existentie ook laten zien, dat nieuwe technieken in het begin helemaal geen succes waren. Daarnaast kan onderzoek van opvattingen van technische superioriteit zichtbaar maken, of de nieuwe techniek altijd als technisch beter werd beschouwd. Is dat niet het geval, dan voldoet de ahistorische verklaring van vervan-

80 McGuire e.a., 'Thomas Edison', 215.

81 Wiebe Bijker, *The social construction of technology* (diss., T.U. Twente, 1990). Zie ook Wiebe Bijker, 'Techniekgeschiedenis: een mogelijke basis voor theorieën over techniekontwikkeling', *Jaarboek voor de Geschiedenis van Bedrijf en Techniek 1* (1984), 44-65.

ging in termen van een technisch beter zijn van de nieuwe techniek niet, en moeten andere verklaringen gezocht worden.

Een vergelijkbare aanpak is mogelijk voor het economische determinisme van de groei van grote technische systemen, zoals een eigen studie van de elektrificatie van Denemarken laat zien.⁸² Hughes vooronderstelde een lineaire opeenvolging van steeds grotere electriciteitsvoorzieningssystemen op het niveau van beschrijving, zowel als een economische superioriteit van grotere systemen op het niveau van verklaring. Deze vooronderstellingen zelf onderzocht hij niet. In het geval van de elektrificatie van Denemarken echter, bleven oude (decentrale) systemen groeien in aantal en in omvang ondanks de introductie van grootschalige opvolgers. Bij het begin van de Tweede Wereldoorlog namen decentrale systemen nog meer dan de helft van de electriciteitsproductie voor hun rekening. Dit ondanks het grote succes van gecentraliseerde systemen, die grote delen van het land van stroom konden voorzien. Deze ontwikkeling is onzichtbaar in een Hughesiaans perspectief.

Daarnaast blijkt dat zowel de eigenaren van grootschalige systemen als die van kleinere systemen hun eigen systemen in technisch en in economisch opzicht superieur vonden. Dit blijken overigens meer dan opvattingen; ingenieursbureaus, voorstanders van schaalvergroting en grote electriciteitsbedrijven moesten vaak de superieure technische betrouwbaarheid en economische haalbaarheid van kleinschalige systemen erkennen. Ook de economische vergelijkingen uitgevoerd door de nationale Electriciteitsraad, die toe moest zien op de rationalisering van 's lands electriciteitsvoorziening, wezen uit dat decentrale voorziening vaak goedkoper bleef. Ook Hughes' verklaring van schaalvergroting in termen van de intrinsieke economische superioriteit van grotere systemen voldoet dus niet. Deze verklaring lijkt een onkritische overname van de meningen (misschien zelfs propaganda) van de dominante systeembouwers.

Ook in Denemarken bleken andere factoren een rol te spelen in de uiteindelijke en zeer overtuigende zege van het meest grootschalige systeem (decentrale systemen zouden bijna geheel verdwijnen om tegenwoordig overigens weer te herrijzen). Hieronder vallen historisch contingente gebeurtenissen en sociale mechanismen. De bezetting in de Tweede Wereldoorlog, bijvoorbeeld, sneed de dieselvoorziening van de kleine systemen volledig af. Kolen voor de grotere systemen bleven echter beschikbaar uit Duitsland (in ruil voor Deense arbeidskracht in Duitse fabrieken). Dit dwong kleinere systemen om mee te investeren in een koppelnet, om zo electriciteit te kunnen kopen. Hierdoor was na de oorlog een van de grootste economische nadelen van schaalvergroting – de constructie van een duur koppelnet – plotseling weggefallen. Zelfs toen nog hernamen vele kleine electriciteitsproducenten hun decentrale opwekking omdat dat voor hen goedkoper was; in 1950 produceerden

82 Erik van der Vleuten, *Electrifying Denmark. A symmetrical history of central and decentral electricity supply until 1970* (Ph.D. diss., University of Aarhus, 1998).

zij weer een derde van de nationale productie. Bij hun verdwijnen werd de doorslag vaak gegeven door de agressieve prijspolitiek van de grote bedrijven. Met grote kortingen op elektriciteitsprijzen en het gratis ombouwen van netten en apparaten brachten zij het kostenplaatje weer in het voordeel van het grote systeem. Een ander belangrijk sociaal mechanisme was de uitvinding van gezamenlijk eigendom van productiecentrales, hetgeen een economische voorwaarde was voor stedelijke gemeenten om hun decentrale stadscentrales, vaak met warmtekrachtkoppeling, te sluiten.

Economische superioriteit was dus geen natuurlijk gegeven, maar iets wat op vele manieren beïnvloed kon worden en ook werd in het voordeel van het grotere systeem. Een korte blik op de ontwikkelingen in andere landen versterkt dit beeld. Niet alleen zijn gecentraliseerde systemen in sommige landen geen succes, waaronder het land met het hoogste elektriciteitsverbruik per inwoner (Noorwegen), en blijven zelfopwekkers groeien (ze namen nooit minder dan 40% van de Duitse elektriciteitsproductie voor hun rekening). In landen waar gecentraliseerde systemen een groot succes werden, was er geen sprake van vrije concurrentie tussen grote en kleine systemen. In plaats daarvan beïnvloedden sterke financiële of politieke actoren de economische vergelijking in het voordeel van schaalvergroting. Men denke aan staatsinterventie in Frankrijk en Groot-Brittannië, de overname van de elektriciteitsvoorziening van steden en coöperaties door de provincies op grond van de provinciale machtspositie in Nederland, en de samenwerking tussen grote elektriciteitsbedrijven en afzonderlijke staatsoverheden (die monopolies gaven in ruil voor invloed) in de Verenigde Staten.

6. Besluit

Men kan concluderen, dat het LTS-veld academisch succes heeft. Het is gelukt om een brede basis van 'LTS-literatuur' op te bouwen. Daarbij komen regelmatige LTS-conferenties (waar de Engelstalige serie van LTS anthologieën vandaan komt) en vele studies over deelgebieden van LTS of afzonderlijke systemen. Hiermee lijkt het belangrijke onderzoek naar grote technische systemen blijvend op de techniekhistorische agenda te zijn gezet. Er is ook consensus over de academische wortels van het veld, die te vinden zouden zijn in Hughes' werk uit de jaren tachtig. Daarmee ontstaat een eigen academische identiteit, die deels het veld impliciet afbakt van andere systeembenaderingen in de techniekgeschiedenis en daarbuiten, en expliciet afbakt van de traditionele sociologie en techniekgeschiedenis. Deze disciplines bleken namelijk niet in staat om het sociotechnische en systeemkarakter van techniek in de moderne samenleving te bevatten.

Deze disciplinaire invalshoek pleegt de verschillende LTS-auteurs te verenigen. Uit de inhoudelijke analyse in dit artikel, echter, blijkt dat er binnen het LTS veld wezenlijke verschillen bestaan in de opvatting over vooral de geschiedenis, dyna-

miek, en afbakening van grote technische systemen. Ook blijken verschillende auteurs buiten het LTS veld-te suggereren, dat de Hughesiaanse systeembenadering, die dit veld domineert, een gebrek aan sociale kritiek en een tendens tot determinisme met zich meebrengt. Dit is misschien niet noodzakelijk het geval, zoals Alain Gras' sociaal geëngageerde manier om grote technische systemen te onderzoeken laat zien. Maar Gras is een uitzondering. Voor veel LTS-schrijvers geldt dat zij nauwelijks onderscheid maken tussen hun methode (de systeembenadering als *analysekader*) en hun onderzoeksobject (grote technische systemen). Hierdoor is er een risico dat de Hughesiaanse methode zijn onderwerp monopoliseert. Een pleidooi voor een striktere scheiding tussen onderwerp en methode, die kan leiden tot het toelaten van andere methodologische uitgangspunten (en daarmee andere onderwerpen en verklaringen) in de studie van grote technische systemen, lijkt alleen daarom al zinvol.