

KAPITEL 5 ZUR ENTWICKLUNG TECHNISCHER INFRASTRUKTURSYSTEME

Renate Mayntz

1 Der Gegenstand: ein besonderer Typus gesellschaftlicher Funktionssysteme?

Es gibt eine Kategorie von Funktionssystemen, die in soziologischen Systemtheorien und darauf fußenden Analysen sozialer Differenzierung in der Regel unerwähnt bleiben und jedenfalls nicht zu den funktionellen Teilsystemen gezählt werden, obwohl sie den auf die Erbringung spezifischer Leistungen bezogenen Teilsystemen (wie z.B. dem Gesundheitssystem) in vieler Hinsicht ähnlich sind. Gemeint sind die modernen Verkehrs-, Kommunikations- und Versorgungssysteme, die man summarisch als Infrastruktursysteme bezeichnen könnte, weil ihre hauptsächliche Funktion darin besteht, zahlreiche spezifische Aktivitäten *zu ermöglichen*: die physische oder die symbolisch-kommunikative Raumüberwindung zu bestimmten Zwecken, den Betrieb von Elektromotoren, das Kochen und das Waschen.¹ Die Versorgung mit Wasser und Energie, das Transportieren von Gegenständen, die räumliche Fortbewegung und die Kommunikation mit räumlich entfernten Personen gehören zu den grundsätzlichen menschlichen Bedürfnissen und sind deshalb schon immer wichtige Bereiche menschlichen Handelns gewesen. Schon frühzeitig sind auch sachliche Hilfsmittel und spezielle Verfahren zur Erleichterung und Leistungssteigerung entwickelt und benutzt worden - z.B. Ziehbrunnen und Aquädukte, Wassermühlen, befestigte Straßen, Pferdewagen und die optische Signalübermittlung. Vor allem mit dem Auftreten

1 Die Massenkommunikationssysteme Rundfunk und Fernsehen versorgen ihre "Abnehmer" demgegenüber mit einem "Konsumgut" und werden hier schon deshalb nicht zu den Infrastruktursystemen gerechnet.

moderner Verkehrs-, Kommunikations- und Energieversorgungstechniken und dem Entstehen großer Organisationen, die heute mit ihrer Hilfe die betreffenden Infrastrukturleistungen erbringen, haben sich die *Handlungsbereiche* zu abgrenzbaren und organisatorisch-institutionell ausdifferenzierten *Funktionssystemen* entwickelt.

Die modernen, technisierten Infrastruktursysteme haben eine ganze Reihe wichtiger Gemeinsamkeiten mit anderen Teilsystemen wie dem Gesundheits-, dem Erziehungs- oder dem Wissenschaftssystem. Sie basieren auf einer spezifischen Funktion, und die Akteure in ihnen sind ebenso ein-sinnig an einem bestimmten Bezugsproblem orientiert, wie das etwa im Gesundheitssystem zutrifft; ihr Bezugsproblem ist sogar eher noch klarer definiert und schärfer abgrenzbar. Weiterhin findet man bei modernen Infrastruktursystemen alle Elemente einer fortgeschrittenen Ausdifferenzierung: eine eigene Wissensbasis, spezielle Normen, spezialisierte Berufsgruppen, große formale Organisationen als Akteure und ein - oft sogar besonders hohes - Maß interner Integration bzw. Vernetzung. Schließlich sind technische Infrastruktursysteme gesellschaftsweit etabliert und durch eine hohe Inklusivität gekennzeichnet, d.h. sie sind praktisch allen Gesellschaftsmitgliedern zur Nutzung zugänglich. Auch größenordnungsmäßig (Zahl der Beschäftigten, Anteil am Bruttosozialprodukt) lassen sie sich mit gesellschaftlichen Teilsystemen wie dem Gesundheits- oder Erziehungssystem durchaus vergleichen.

Die technisierten Infrastruktursysteme der Neuzeit besitzen für die Entwicklung, die Funktionsweise und Dynamik hochentwickelter Gesellschaften eine überragende Bedeutung - in positiver wie auch in negativer Hinsicht. Ohne die modernen Systeme der Energieversorgung, des Transports und der Telekommunikation sind die "industrielle Revolution", das neuzeitliche Wirtschaftswachstum, die räumliche Mobilisierung *und* soziale Integration der letzten hundert Jahre nicht denkbar. Wie James Beniger zu zeigen versucht hat, führte - zumindest in den USA - nicht die Erfindung der Dampfmaschine unmittelbar zur industriellen Revolution; entscheidend waren vielmehr die durch diese Erfindung ermöglichten Verkehrssysteme, Dampfschiffahrt und Eisenbahnen, in denen die neue Technik früher Fuß faßte als in den Fabriken. Später waren es die modernen Telekommunikationssysteme, die die Steuerungsprobleme zu lösen erlaubten, welche durch das wachsende Volumen, die zeitliche Beschleunigung und die räumliche Expansion der Rohstoff-, Waren- und Kapitalflüsse entstanden waren, und die so das weitere Wirtschaftswachstum ermöglichten (Beniger 1986).

Die Kehrseite ihrer verstärkenden, leistungssteigernden Wirkung bildet das erhebliche "Störpotential" technischer Infrastruktursysteme. Im Vordergrund der öffentlichen Aufmerksamkeit steht ihr Schadenspotential bei Unfällen, von den Dampfkesselexplosionen auf den Schiffen des frühen 19. Jahrhunderts (Burke 1975) bis hin zum gefürchteten Super-GAU der Kernkraftwerke, die das Elektrizitätsnetz speisen. Dabei wächst das Unfallrisiko *ceteris paribus* mit der Komplexität technischer Sachsysteme und der engen Koppelung ihrer Elemente (Perrow 1984), das Schadenspotential variiert aber stark mit der Art der Technik. So sind die Gefahren für Leib und Leben bei der Kerntechnik besonders groß, bei der modernen Informations- und Kommunikationstechnik dagegen sehr gering; hier wiegt die Gefahr der mißbräuchlichen Nutzung schwerer (Computerkriminalität). Gravierende Konsequenzen kann auch ein vorübergehender Funktionsausfall haben, wie ein Fluglotsen- und Eisenbahnerstreik oder der berühmte totale Stromausfall der New Yorker Elektrizitätsversorgung im Jahre 1965 illustrieren mögen. Gewiß gibt es das Risiko von Schäden durch mißbräuchliche Nutzung und das Problem der Abhängigkeit von einer nicht oder nur schwer substituierbaren Leistung nicht nur bei Infrastruktursystemen. Ihr Störpotential ist jedoch objektiv oft besonders groß, zumal wenn zu dem technisch-naturwissenschaftlich begründeten Schadenspotential und der Tatsache einer *vielfältigen* Abhängigkeit von ihren Leistungen noch das Strukturmerkmal hochgradiger Vernetzung kommt. Außerdem manifestieren sich die Störungen häufig recht dramatisch, sind also auch besonders sichtbar. Weniger greifbar, aber gleichwohl oft Anlaß intensiven Unbehagens und diffuser Befürchtungen ist die durch technische Infrastruktursysteme zwar nicht erzeugte, aber doch verschärfte technische Rationalisierung im Denken und Verhalten der Menschen, die sich ihrer bedienen.

Die unbestreitbare Bedeutung technischer Infrastruktursysteme rechtfertigt gewiß die Forderung, sie in die sozialwissenschaftliche Analyse gesellschaftlichen Strukturwandels und gesellschaftlicher Dynamik einzubeziehen. Trotz der erwähnten Ähnlichkeiten mit den klassischen funktionellen Teilsystemen muß man allerdings nicht darauf bestehen, sie als solche zu behandeln und damit ihre grundsätzliche Gleichartigkeit mit anderen Teilsystemen zu behaupten. Solange man im herkömmlichen systemtheoretischen Rahmen argumentiert, sind gesellschaftliche Teilsysteme rein *soziale* Systeme, und ihre Elemente Kommunikationen, Handlungen oder sozial Handelnde. Die Technik spielt in diesem Zusammenhang, vor allem wenn man an sachliche Artefakte und nicht nur

an Verfahren und Verfahrenswissen denkt, die Rolle eines externen Einflußfaktors bzw. einer Ressource; im übrigen würde man die Infrastruktursysteme dem Wirtschaftssystem bzw., wenn es sich um in staatlicher Regie erbrachte Dienstleistungen handelt, u.U. dem politisch-administrativen System zurechnen.

Obwohl aus der genannten analytischen Perspektive folgerichtig, läßt sich jedoch auf diese Weise das Spezifikum der modernen Infrastruktursysteme nicht adäquat erfassen, das in ihrer *technischen Fundierung* liegt. Nicht nur die Leistungsfähigkeit, sondern auch die sozialstrukturelle Beschaffenheit der modernen Infrastruktursysteme hängen aufs engste mit der Verwendung ganz bestimmter technischer Verfahren und Artefakte zusammen. Genau dieser Tatsache will die Bezeichnung "*technische Infrastruktursysteme*" Ausdruck geben, indem sie nicht nur die Art der systemkonstituierenden Leistung, sondern auch die auf moderner Technik fußende Art ihrer Erbringung anspricht. Um dem Realphänomen der heutigen Infrastruktursysteme gerecht zu werden, mag es deshalb fruchtbarer sein, einen anderen analytischen Schnitt durch die beobachtbare Wirklichkeit zu legen, als es ein ausschließlich auf *soziale* Elemente abstellender systemtheoretischer Ansatz tut, und vom Konzept *sozio-technischer Systeme* auszugehen - auch wenn man damit den Boden der klassischen Theorie sozialer Differenzierung verläßt.

Mit dem Begriff des sozio-technischen Systems wird nicht nur darauf hingewiesen, daß Technik typischerweise in sozialen Produktions- und vor allem Verwendungszusammenhängen steht (Ropohl 1979), Technik also sowohl sozial geprägt als auch in ihrer Anwendung sozial organisiert ist (La Porte 1984). Vielmehr betont dieser Begriff vor allem, daß technische Komponenten oft als integrale Bestandteile in soziale Handlungszusammenhänge eingebaut sind, die in ihrer Struktur und Dynamik davon entscheidend geprägt bzw. verändert werden. Wie Langdon Winner es einmal formuliert hat: "Social relationships are merely one sort of connection. Individuals and social groups are only one variety of component. The connections and groupings of inanimate parts are equally crucial to the functioning of the whole" (Winner 1977: 191). Der Begriff des sozio-technischen Systems lenkt die Aufmerksamkeit auf die (je besondere) Art der Verknüpfung sozialer und technischer Komponenten und auf ihre Auswirkungen z.B. auf die Handlungsspielräume der beteiligten Akteure, Koordinationsprobleme, Störungsanfälligkeit u.a.m. Obwohl sich grundsätzlich Handlungszusammenhänge von der Kleingruppe bis hin zu gesellschaftlichen Teilsystemen als sozio-techni-

sche Systeme analysieren lassen, ist der Begriff bisher vor allem im Zusammenhang von Untersuchungen der Einführung und Nutzung von (neuen) technischen Verfahren und Artefakten in produzierende Organisationen angewandt worden (Emery 1959; Herbst 1974) und ist insofern keineswegs speziell auf jene großen technischen Infrastruktursysteme gemünzt, von denen hier die Rede ist; er bezeichnet, anders gesagt, eher eine für die Analyse technischer Infrastruktursysteme fruchtbare Perspektive als diese besondere Art von Realphänomen selbst.

In der sozialwissenschaftlichen Technikforschung gibt es demgegenüber eine jüngere Forschungsrichtung, die sich speziell für die hier angesprochenen Systeme im Infrastrukturbereich interessiert. Lange Zeit hat zwar in der sozialwissenschaftlichen Technikforschung das Interesse an der Entwicklung, Diffusion und Nutzung bestimmter Techniken bzw. eines bestimmten technischen Artefakts durch einzelne oder eine größere Kategorie gleichartiger Anwender (Haushalte, Organisationen) im Vordergrund gestanden. Seit kurzem setzt sich jedoch mehr und mehr eine Meinung durch, die Rammert (1982: 34) so formuliert hat: "Moderne Technik läßt sich gegenwärtig nur unzureichend als Anhäufung typischer einzelner Artefakte, ... ,sondern eher als *Systeme miteinander verzahnter und aufeinander funktional bezogener Ketten und Hierarchien von Artefakten* erfassen. ... Der Fokus der Betrachtung verschiebt sich entsprechend von der Maschinen- und Apparatechnik zu umfassenden Komplexen technischer Systeme." So taucht denn auch in der sozialwissenschaftlichen Technikforschung neuerdings häufiger der Begriff des großen technischen (oder auch großtechnischen - z.B. Weingart 1982) Systems auf. Damit ist nicht einfach die vor allem im Zusammenhang mit (Kern-) Kraftwerken diskutierte "Big Technology" oder Großtechnik gemeint; auch geht es nicht um technische Großprojekte wie den Bau des Assuandamms oder die bemannte Raumfahrt. Der Begriff zielt eher auf das, was Ingenieure in Abgrenzung zu Apparaten, Maschinen und Verfahren als Systeme oder als technische Netzwerke (so der Titel einer VDI-Konferenz im Februar 1988) bezeichnen: z.B. Eisenbahn und Flugverkehr, Stromversorgung und Telefon. Allerdings wird, wenn Sozialwissenschaftler von großen technischen (bzw. großtechnischen) Systemen sprechen, nicht nur an das reine Sachsystem, sondern an eine bestimmte Art *sozio-technischer* Systeme gedacht. Auch der Technikhistoriker Thomas P. Hughes, der mit seiner Untersuchung über die Entwicklung der modernen Elektrizitätsnetze in Deutschland, England und den USA gerade bei Sozialwissenschaftlern auf großes

Interesse gestoßen ist, spricht zwar von großen *technischen* (bzw., nach englischem Sprachgebrauch, *technologischen*) Systemen, zählt jedoch soziale Akteure (speziell Organisationen), Wissen und Normen ausdrücklich zu den Systemkomponenten (Hughes 1983, 1987).

Wenn man ihn so versteht, dann eignet sich der Begriff des großen technischen Systems (GTS) zur Benennung jener extensiven sozio-technischen Systeme im Infrastrukturbereich, die sich auf der Grundlage einer jeweils spezifischen Technik gebildet haben: Elektrizitätsversorgungs-, Eisenbahn- oder Flugverkehrssysteme usw. Die durch den Bezug auf eine spezifische Technik gekennzeichneten GTS lassen sich dabei als konkrete historische Ausprägungen von Infrastruktursystemen verstehen, die durch eine bestimmte Funktion (z.B. Verkehr) definiert sind. Die Unterscheidung von zwei Betrachtungsebenen, der des (mit Bezug auf eine Leistungsart definierten) Infrastruktursystems und der des (mit Bezug auf eine bestimmte Technik definierten) GTS, lenkt die Aufmerksamkeit unmittelbar auf wichtige Struktureigenschaften. Erstens läßt sich sehen, daß die Infrastruktursysteme - allerdings in deutlich verschiedenem Maße - intern sektoral differenziert sind, wobei die einzelnen Sektoren nicht nur technisch, sondern auch organisatorisch-institutionell deutlich voneinander abgegrenzte GTS sein können. Besonders ausgeprägt ist das im Verkehrsbereich der Fall, wo die Binnenschifffahrt, der Eisenbahn-, Automobil- und Flugverkehr jeder für sich durch ein besonderes Regelwerk normiert sind, ihr eigenes Spezialwissen haben und besondere spezialisierte Berufe und korporative Akteure aufweisen. Zweitens wird deutlich, daß sich die demselben Infrastrukturbereich zuzurechnenden GTS ihrerseits strukturell erheblich voneinander unterscheiden. Ein gedanklicher Vergleich zwischen Eisenbahn-, Flug- und Autoverkehr kann das illustrieren. Bei der Eisenbahn sind die beiden Systemkomponenten "Wege" (Schienen) und "Transportmittel" (Waggons) viel enger gekoppelt als beim Autoverkehr und beim Flugverkehr, und zwar nicht nur in dem offensichtlichen, physischen Sinne, sondern auch in sozialer Hinsicht, denn im ersten Fall gibt es für beides nur einen Betreiber, während Netzbetreiber und Transportmittelbetreiber in den beiden anderen Fällen verschiedene Akteure sind. Beim Autoverkehrssystem ist die Koppelung der verschiedenen Komponenten - das Straßennetz mit den für Ausbau und Aufrechterhaltung verantwortlichen Institutionen, die Kraftfahrzeuge, das Netz von Tankstellen und Reparaturwerkstätten - sogar so locker, daß es dem flüchtigen Betrachter schwerfallen mag, hier überhaupt von einem *System*

zu sprechen. Angesichts derart deutlicher Unterschiede zwischen teilweise nebeneinander bestehenden, sich teilweise aber auch in historischer Folge ablösenden GTS innerhalb der verschiedenen Infrastrukturbereiche ist es für viele Fragestellungen sinnvoll, die Analyse auf der Ebene einzelner GTS durchzuführen. Das gilt vor allem für die auf den Entwicklungsprozeß bezogenen Fragen, die in den nächsten Abschnitten angesprochen werden.

Das Interesse an einer sozialwissenschaftlichen Analyse der Entwicklung moderner Infrastruktursysteme ist, wie schon gesagt, neu und wurde insbesondere durch die vergleichende Untersuchung von Thomas P. Hughes (1983) angeregt. Die damit zunächst eher punktuell beginnende Zusammenarbeit von Historikern und Sozialwissenschaftlern wurde kürzlich durch eine Konferenz intensiviert, auf der Wissenschaftler beider Disziplinen über die Entwicklung verschiedener großtechnischer Systeme - Elektrizitätsversorgung, Telefon, Eisenbahn und Flugverkehr - in Deutschland, Frankreich und den USA referierten.² Eine solche vergleichende Betrachtung einiger der wichtigsten nationalen GTS erlaubt es, u.a. darüber zu diskutieren, ob auf der Basis *einer* Technik in verschiedenen Ländern entstehende Systeme gleichartig oder verschieden sind; ob sie gleiche oder verschiedene Entwicklungsprozesse durchlaufen; ob es Phasenmodelle der Entwicklung gibt, die für alle oder eine bestimmte Teilmenge der untersuchten technischen Systeme gleich sind; welche Triebkräfte generell oder unter welchen Bedingungen die Entwicklung bestimmen, und welche Rolle dabei speziell die technische Komponente spielt. Es sind solche Fragen, die im folgenden erörtert werden sollen. Dabei versteht es sich von selbst, daß kein systematischer zweidimensionaler Vergleich (mehrere Länder, mehrere technische Systeme) vorgeführt werden kann; dafür wäre nicht nur die Materialbasis zu lückenhaft, sondern es würde dadurch auch der Sinn dieses Kapitels im vorliegenden Kontext verfehlt. Auf den folgenden Seiten soll lediglich der Versuch gemacht werden, die sonst nur auf gesellschaftliche Teilsysteme wie Politik, Wissenschaft oder Erziehung angewandte Perspektive

2 Die Beiträge werden unter dem Titel "The Development of Large Technical Systems" (Hrsg. R. Mayntz und Th. P. Hughes) veröffentlicht werden; die Referate und Diskussionen dieser 1987 vom Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung organisierten Konferenz fungieren immer dort als Materialgrundlage der folgenden Ausführungen, wo keine andere Literatur angegeben ist.

der Systembildung auf technische Infrastruktursysteme und die sie ausmachenden GTS anzuwenden und dabei grob abzustecken, welche Besonderheiten sie in dieser Hinsicht aufweisen.

2 Zum Entstehen großtechnischer Systeme

Obwohl scheinbar rein funktionsbestimmt, entsteigen großtechnische Systeme nicht voll ausgebildet dem Zeichenbrett von Ingenieuren wie Pallas Athene dem Haupt des Zeus. Selbst Thomas Hughes, für den GTS durch ihren unmittelbaren Bezug auf lösungsbedürftige Probleme gekennzeichnet sind (Hughes 1987), hat in seiner historischen Monographie deutlich gemacht, daß sich die heute flächendeckenden Systeme der Elektrizitätsversorgung in einem mehrstufigen Entwicklungsprozeß herausgebildet haben, ohne daß zu Beginn klar gewesen wäre, welche Gestalt sie einmal annehmen würden. Dasselbe läßt sich auch für Eisenbahn und Telefon zeigen.

Überblickt man die Entwicklung dieser drei GTS in verschiedenen Ländern, dann läßt sich ein grobes Phasenmodell konstruieren: Erfindung und Innovation (Initialphase), Wachstum und Konsolidierung, Stasis und eventuell Niedergang.³ Dieses Modell verweist sofort auf die Eigenart derartiger technischer Systeme, denn es paßt nicht auf die Entwicklung gesellschaftlicher Teilsysteme wie Gesundheit oder Wissenschaft und auch nicht auf die Entwicklung der übergreifenden Infrastruktursysteme insgesamt, bei denen sich kaum sinnvoll von Stasis und Niedergang sprechen läßt und bei denen sich auch ein datierbarer Beginn weniger leicht finden läßt als bei GTS, die auf einer spezifischen technischen Innovation basieren. So kann man z.B. sagen, daß 1879 die "Geburtsstunde" der Elektrizitätsnetzwerke in den USA und 1845 diejenige des elektrischen Telegraphen in Frankreich war.

Am Anfang eines neuen GTS steht der erste Einsatz einer technischen Innovation. Die Erfindungen, die dem vorausgehen, sind eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung. In den meisten Fällen kamen die

3 Ein solches grobes Phasenmodell erlaubt es eher als das differenziertere Phasenmodell von Hughes, die beobachtbaren Unterschiede in der Entwicklung von technischen Infrastruktursystemen zu berücksichtigen.

neuen Artefakte und Verfahren, aufgrund deren sich ein konkretes GTS in einem Land entwickelte, durch Transfer, d.h. durch Übernahme aus anderen Ländern dorthin. Häufig ist auch nicht eine einzige Erfindung, sondern die Synthese mehrerer technischer Entwicklungen der Auslöser für das Entstehen eines neuen technischen Systems. Stromversorgungsnetze entstanden nicht schon mit der Entdeckung der Elektrizität und der Fähigkeit, sie zu erzeugen, sondern erst mit Edisons Glühfadenlampe. Für das Entstehen des Eisenbahnsystems brauchte es nicht nur die Dampfmaschine, sondern auch die Fähigkeit, Metallschienen herzustellen.

Nicht nur wegen der "Datierbarkeit" ihres Beginns, sondern auch weil eine *Technik* an ihrem Anfang steht, können GTS im Rückblick als bewußt geschaffen und konstruiert anstatt als in einem längeren Evolutionsprozeß gewachsen erscheinen. Tatsächlich waren die später gesellschaftsweit etablierten GTS das Resultat eines in vieler Hinsicht unvorhergesehenen Prozesses der schrittweisen technischen und organisatorischen Entwicklung. Selbst gezielte Problemlösungen waren die späteren GTS zumindest zum Zeitpunkt ihres Entstehens meist nur in einem technischen Sinn, d.h. es ging zuerst vor allem um den Nachweis, daß etwas Bestimmtes *machbar* ist. Vor ihrem Entstehen gab es weder für Telefon noch Eisenbahn, weder für elektrisches Licht in Haushalten noch für das Automobil einen artikulierten Bedarf. Der Grund dafür liegt nicht nur in der trivialen Tatsache, daß man sich eine noch nicht existente Technik selten genug vorstellen kann; vielmehr schienen die Bedürfnisse nach Kommunikation, Fortbewegung, Transportmöglichkeiten und Beleuchtung durch bereits existierende technische Mittel oder Systeme erfüllbar. So gab es etwa in der Initialphase der Eisenbahn in Deutschland infolge der vorausgehenden Verbesserung von Straßen und Schiffahrtswegen kein wahrgenommenes Defizit an Verkehrsmöglichkeiten (Heinze & Kill 1987). Die städtischen Versorgungssysteme mit Leuchtgas ließen ähnlich kein akutes Bedürfnis nach einer neuen Lichtquelle aufkommen (Schivelbusch 1983). Wo am Status quo der existierenden Infrastruktursysteme Kritik geübt wurde, ging es eher um *Verbesserungen* der schon bestehenden GTS als um die Einführung einer *neuen* Technik. Daß die Leistungsfähigkeit der existierenden technischen Systeme auch bei weiterer Verbesserung nicht über ein bestimmtes Niveau hinaus ausbaufähig sein könne, wurde dabei selten vorhergesehen.

Mit den Schwierigkeiten der Antizipation von etwas tatsächlich

Neuem hängt es zusammen, daß GTS in der Initialphase oft ältere Systeme kopierten. Für die Eisenbahn fungierten Schiffe und Kutschen als Modell, und das nicht nur bei der Waggongestaltung; ganz am Anfang meinte man sogar, daß die Schienen sich wie Kanal oder Straße für den freien Verkehr mit privaten Wagen nutzen ließen (Schivelbusch 1979). Edisons elektrisches Licht wurde nicht nur als verbessertes Gaslicht angepriesen, sondern auch das Netzkonzept war durch die städtische Gasversorgung bereits vorgeprägt, die sich ihrerseits am Muster der Wasserversorgung orientiert hatte (Schivelbusch 1983).

In der Initialphase sind die Entwicklungsmöglichkeiten einer neuen Technik schon wegen ihrer anfänglichen Unzulänglichkeiten schwer erkennbar. So erlaubte das Telefon zunächst nur die Überbrückung kurzer Distanzen, die Eisenbahn fuhr kaum schneller als eine gute Kutsche, und das elektrische Licht funktionierte zuerst nur stundenweise. Die Initialphase von GTS ist die Zeit der Kinderkrankheiten, in der nicht nur die Pionierbetreiber, sondern auch die ersten Anwender oft ein hohes Lehrgeld zahlen müssen. Die Initialphase ist auch die Zeit der erschreckenden Unfälle: Auf den frühen Dampfschiffen explodierten immer wieder die Kessel, in den ersten Kraftwerken gab es Brände, Eisenbahnzüge entgleisten und stießen zusammen. Daß die hier sichtbar werdenden Probleme sich lösen lassen, wird man gehofft haben; sicher war es nicht.

Unter diesen Umständen ist es verständlich, daß in vielen Fällen die spätere Bedeutung, ja selbst die wichtigste spätere Funktion der neuen Technik in der Initialphase verkannt wurden. So wurde das Telefon zuerst bestenfalls als nützliche Ergänzung des Telegrafensystems betrachtet, wenn man darin nicht überhaupt ein Luxusgut, nämlich ein Mittel zur Musikübertragung sah (Genth & Hoppe 1986). Die Eisenbahn wurde anfangs in manchen Ländern ähnlich als Ergänzung der existierenden Binnenschiffahrtswege, z.B. zur Verbindung von zwei Kanälen betrachtet. Auch wurde die Eisenbahn in Frankreich und Deutschland zuerst für ein Personenverkehrsmittel gehalten, obwohl ihre Bedeutung später vor allem im Frachtverkehr lag. Das heißt zugleich, daß sich diese neuen GTS zunächst in Nischen der bestehenden Systeme bzw. an Engpässen ansiedelten. Dabei wurden ihre Wachstumschancen anfangs oft gravierend unterschätzt, und auch die Vorstellung eines flächendeckenden nationalen Netzes war in der Initialphase eher die Ausnahme. Für ein Land von der Größe der USA ist das verständlich, aber auch in Deutschland folgte z.B. die Eisenbahnentwicklung zunächst

der jeweiligen regionalen Nachfrage; erst langsam wurde Friedrich Lists frühe Vision eines umfassenden deutschen Eisenbahnnetzes zum handlungsleitenden Konzept.

Die durch Unsicherheiten gekennzeichnete Initialphase der Systementwicklung ist in vieler Hinsicht eine Experimentier- und Testphase, in der Nutzungsmöglichkeiten, aber auch Organisationsformen ausprobiert werden. Ob das System wächst und sich konsolidiert, vor allem aber wie seine spätere Struktur aussieht, hängt von zahlreichen Einflußfaktoren ab. Dabei darf die Konzentration auf die Beispiele Elektrizitätsversorgung, Eisenbahn und Telegraf/Telefon nicht dazu verführen, die für sie charakteristische territoriale Expansion, physische Vernetzung und zentralisierte Organisationsform sozusagen für das normale Reifestadium von GTS zu halten. Man mag den Begriff GTS definitorisch entsprechend beschränken (was hier nicht geschieht), muß dann aber sogleich hinzufügen, daß es in technisierten Infrastruktursystemen auch Sektoren gibt, die strukturell anders beschaffen sind.

Betrachten wir zunächst die ins Auge fallende Merkmalsdimension der Vernetzung. Bei bestimmten GTS ist die Vernetzung physischer Natur, besteht also etwa aus Kanälen, Schienen oder Leitungen. Bei Funk und Flugverkehr gibt es keine sichtbaren Netze, aber immerhin noch Sendefrequenzen oder Flugkorridore, die durch normierende Definition zustandekommen. *Völlig* "netzlos" würde z.B. eine dezentral installierte Solartechnik Energie erzeugen. Die Art der Vernetzung folgt nur teilweise einem "technischen Zwang". Die Eisenbahn ist tatsächlich ohne Schiene (oder ein Schienenäquivalent wie bei der Magnetschwebbahn) nicht denkbar. Das Telefon ist zwar auch weitgehend an Leitungen gebunden, doch ist in Grenzen bereits drahtlose Telefonie möglich; soweit sie (noch) besteht, ist die Netzabhängigkeit demnach auch beim Telefon eine physikalisch-technische. Die Binnenschifffahrt braucht Wasserwege, aber diese können auch natürlich gegeben sein wie der Nil in Ägypten; die Notwendigkeit eines *Kanal*netzes ist also geographisch bedingt. Bei der Elektrizität hängt die Netzabhängigkeit mit dem Modus zentraler Erzeugung und Verteilung zusammen; bekanntlich wird zur Zeit kontrovers darüber diskutiert, ob diese Organisationsform durch ökonomische Zwänge bedingt oder bereits Ausfluß einer Strategie starker *vested interests* ist. Für die Wasserversorgung durch ein Leitungsnetz gibt es Brunnen und Tankwagen als (weniger effektive) Alternative; ähnlich kann die Gasversorgung sowohl über einen Markt für Flüssiggas in Flaschen wie über ein Gasleitungsnetz

laufen. Nicht nur physische Gegebenheiten und technische (Un-) Möglichkeiten, sondern auch Effizienz- und Effektivitätsgesichtspunkte und nicht zuletzt die Interessen mächtiger korporativer Akteure bestimmen den Vernetzungscharakter von GTS.

Große technische Systeme lassen sich weiter nach dem Grad ihrer territorialen Extension unterscheiden. Die Skala reicht vom weltweiten Telefon- und Flugverkehrssystem bis hinunter zum regionalen Wasserversorgungs- und lokalen Straßenbahnnetz. Obwohl vor allem in der Aufbauphase oft eine gewisse Tendenz zur Kongruenz von Netz und Betreiberorganisation besteht, ist Deckung hierbei nicht zwingend. Obwohl landesweit vernetzt, kennt z.B. das amerikanische Eisenbahnsystem eine Mehrzahl von Betreiberorganisationen; allerdings erhöhen sich in einem solchen Fall die interorganisatorischen Abstimmungserfordernisse. Der Flugverkehr kennt ähnliche Probleme, die nicht nur verschiedene Fluggesellschaften zur Zusammenarbeit bei Buchung und Beförderung von Fracht und vor allem von Passagieren veranlaßt haben, sondern auch zur Herausbildung eines von ihnen unabhängigen Flugsicherungssystems für die Verkehrsregelung auf Flughäfen und in Flugkorridoren geführt hat.

Die soziale Organisationsform großer technischer Systeme kann also sowohl hierarchisch-unitär, polyzentrisch oder dezentral sein. Wichtige GTS in den Infrastrukturbereichen Verkehr, Kommunikation und Energieversorgung haben sich von einer anfänglich dezentralen, ja fragmentierten über eine polyzentrische zu einer unitären Struktur entwickelt, was mit dem Aufbau territorial immer ausgedehnterer Netze einherging. Diese für die Eisenbahn, die Elektrizitätsversorgung und das Telefon charakteristische Entwicklung gilt nicht für den gesamten Infrastrukturbereich. Es sind jedoch genau diese extensiven, fest vernetzten und monopolartig organisierten GTS, die in ihrem Entstehen aufs engste mit dem wirtschaftlichen, sozialen und politischen Wandel im 19. und beginnenden 20. Jahrhundert verbunden sind, und sie sind es auch, die jene Art von "Momentum", von autonomer Schwungkraft und Eigenmacht entwickeln, die Hughes großen technischen Systemen generell zuschreibt (Hughes 1987). Diese Zusammenhänge werden deutlicher, sobald man die Promotoren und Triebkräfte des Wachstums dieser GTS etwas näher betrachtet.

3 Promotoren und Triebkräfte des Systemwachstums

Angesichts der vielen Schwierigkeiten in der Initialphase neuer GTS stellt sich die Frage, welche Kräfte schließlich doch zu ihrem Wachstum und ihrer gesellschaftsweiten Institutionalisierung führen. Auf eine wichtige Tatsache hat bereits Hughes hingewiesen, nämlich daß solche Systeme *aktiv entwickelt werden* (Hughes spricht von "system building"; Hughes 1987); im selben Sinne kann von aktiver Systementwicklung sonst höchstens noch beim politisch-administrativen System und, in einer späteren Phase, bei in staatlicher Regie aufgebauten Erziehungssystemen gesprochen werden. Der Übergang zum aktiven Systemaufbau markiert das Ende der Initialphase und den Beginn der Wachstumsperiode. Die wichtigsten Promotoren sind durchweg ökonomische und/oder politische Akteure. Technische Berufe scheinen dagegen zumindest als kollektive Akteure eine sekundäre und manchmal ambivalente Rolle zu spielen. Selbstverständlich sind einzelne Ingenieure - auch als Erfinder-Unternehmer wie Edison - zentrale Akteure in der Initialphase neuer GTS. Gerade die Neuheit einer Technik kann jedoch zur Folge haben, daß bestehende technische Berufsgruppen, deren Existenz fest mit einer anderen Art von Technik bzw. technischem System verbunden ist, sich nicht für sie engagieren. Die spezialisierten Berufsgruppen, deren Mitglieder später als Operateure des Systems fungieren, entstehen anscheinend oft erst mit ihm zusammen und werden entsprechend vor allem in einer späteren Phase aktiv, wenn es darum geht, die Domänenansprüche des eigenen GTS zu behaupten und sein Wachstum voranzutreiben. Eine genauere Analyse der Rolle technischer Berufsgruppen in der Entwicklung großer technischer Systeme steht allerdings noch aus.

Staatliche Akteure haben sich für ein neues GTS immer dann schon frühzeitig interessiert, wenn dieses für den Staat selbst unmittelbar nützlich war bzw. seine private Nutzung für politisch gefährlich gehalten wurde. Das gilt am deutlichsten für den (optischen) Telegrafen, der in Frankreich und Preußen sofort in staatliche Regie genommen und für administrative und militärische Zwecke reserviert wurde. Wenn später in Preußen auch das Telefonsystem von Anfang an in staatlicher Regie aufgebaut wurde, dann u.a., weil es sich als nützliche Erweiterungsmöglichkeit für das staatliche Telegrafensystem darstellte. Im Gegensatz zu den Kommunikationssystemen blieb die Entwicklung neuer Verkehrssysteme und Energieversorgungssysteme im wesentlichen ökonomischen Akteuren überlassen; bei letzteren wirkten außerdem örtliche

Verwaltungen mit. Das muß kein zentralstaatliches Desinteresse signalisieren, sobald Herrschaftsinteressen nicht unmittelbar berührt sind. Je nach der gerade vorherrschenden Interventionsphilosophie kann ein staatliches Engagement beim Aufbau von Infrastruktursystemen auch Teil einer ökonomischen Wachstumspolitik oder einer Politik der Versorgung der Bevölkerung mit bestimmten Infrastrukturleistungen sein. Die Existenz eines Zentralstaats, der motiviert ist und über die erforderlichen Zuständigkeiten verfügt, genügt jedoch nicht; der staatliche Akteur muß auch über technische Kompetenz und vor allem über die erforderlichen Finanzmittel verfügen, um ein GTS in eigener Regie aufbauen zu können. Das Fehlen *aller* dieser Voraussetzungen in den USA des 19. Jahrhunderts ist wesentlich dafür verantwortlich, daß dort *alle* der hier betrachteten GTS von privaten Unternehmen aufgebaut wurden.

Die große Bedeutung der Kapitalverfügung für die Systementwicklung ist ein Spezifikum von GTS. Vor allem wenn ein technisches System flächendeckend und zugleich als zusammenhängendes Netz gebaut werden muß, ist dazu sehr viel Geld nötig. Ein Markt zahlungswilliger potentieller Nutzer löst das Problem noch nicht, denn das Geld muß in der Hand der (wenigen) Systementwickler (und u.U. späteren Betreiber) konzentriert verfügbar sein. Die ökonomische Logik der Kapitalverfügung beeinflusst dementsprechend nicht nur, wann und durch wen, sondern auch, wie das System aufgebaut wird. In den USA hat z.B. der Patentinhaber Bell infolge knapper eigener Finanzmittel das Telefonsystem im wesentlichen mit Hilfe lokaler Tochterfirmen aufgebaut, was die spätere Struktur des zwar großen, aber intern stark dezentralisierten Unternehmens prägte. Dem französischen Staat fehlte sowohl beim Eisenbahnsystem wie später beim Telefonsystem das Kapital, um sie sogleich in eigener Regie aufzubauen, so daß zunächst private Unternehmen aktiv wurden; die Folge war eine starke Fragmentierung der Systeme, deren lokale und regionale Teile erst langsam zu einem Netz zusammenwuchsen.

Wo der Staat trotz eigenen Kapitalmangels ein Interesse an der Systementwicklung hatte, sind besondere Kooperationsformen zwischen Staat, Banken und Unternehmen entstanden, und der Staat hat außerdem regulierend eingegriffen, vor allem durch Lizenzierung und Preiskontrolle; beides läßt sich besonders gut an der Geschichte der Eisenbahn in Frankreich und in Deutschland ablesen. Bei den ökonomischen Akteuren hat die Finanzierungsproblematik beim Aufbau von GTS das Entstehen neuer Unternehmensformen, vor allem der Aktien- und der Holdinggesell-

schaft, angeregt. Holdinggesellschaften stellten insbesondere bei der Entwicklung der Elektrizitätsversorgungssysteme eine "Problemlösung" von kaum zu überschätzender Bedeutung dar (Hughes 1983). Zumindest der europäische Territorialstaat betrachtete jedoch das Entstehen großer privatwirtschaftlicher Betreiberorganisationen in verschiedenen Infrastrukturbereichen mit offenbar gemischten Gefühlen, denn wenn er sie einerseits auch für die Erfüllung wirtschaftspolitischer und infrastrukturpolitischer Ziele brauchte (und sie teilweise auch als Einnahmequelle benutzte), mußte er andererseits ihre wachsende Eigenmacht beargwöhnen. Staatliche Förderung *und* gleichzeitige staatliche Regulierung von privatwirtschaftlich organisierten GTS in der Wachstumsphase spiegeln diese Ambivalenz wider.

Da in vielen Fällen sowohl staatliche wie ökonomische Akteure am Aufbau eines GTS interessiert waren, war die Systementwicklung oft durch Auseinandersetzungen um Rechte, vor allem Monopolrechte geprägt, sei es, daß ökonomische Akteure ihren Monopolanspruch rechtlich absichern wollten, oder daß der Staat seinerseits sein Monopol gegen wirtschaftliche Interessen behaupten mußte, wie es in der deutschen und französischen Telefongeschichte der Fall war. Eine Kooperation zwischen privaten und staatlichen Akteuren bei der Systementwicklung war unter diesen Umständen manchmal eher eine Kompromißlösung als eine von vornherein von beiden Seiten erstrebte Form der Zusammenarbeit. Das gilt vor allem für das Telekommunikationssystem, an dessen Beherrschung zumindest der deutsche und französische Staat ein starkes Eigeninteresse hatten; während dabei in Frankreich die Auseinandersetzungen um das staatliche Telefonmonopol immer wieder aufflammten, kommt diese Diskussion in Deutschland nach der gesetzlichen Entscheidung von 1892 erst heute wieder zögernd in Gang.

Wenn ein GTS in staatlicher Regie aufgebaut wird, tritt an die Stelle des Kapitalmarktes die staatliche Budgetwirtschaft, was sich je nachdem günstig, aber auch hinderlich für das Systemwachstum auswirken kann. Die Manager staatlicher Infrastruktursysteme sind oft daran gehindert worden, im erwünschten Umfang Kredite für Investitionen aufzunehmen, um etwa die Knappheit von Haushaltsmitteln oder die durch staatliche Gebührenkontrolle niedrig gehaltenen Einnahmen auszugleichen. Demgegenüber kann, wie die amerikanische Telefongeschichte zeigt, ein in der Fläche stattfindender Wettbewerb zwischen privaten Netzbetreibern zahlreiche dezentrale Initiativen und damit das Systemwachstum insgesamt begünstigen. Im amerikanischen Telefonsystem hat es später auch

keine Entwicklungsengpässe gegeben, wie man sie noch nach dem 2. Weltkrieg beim deutschen und französischen Telefon beobachten konnte, etwa in Form langer Wartelisten prospektiver Telefonkunden und verbreiteter Kritik an der technischen Qualität des Systems. In den letztgenannten Ländern hat sich aber auch die administrative Zusammenlegung des neuen Telefonsystems mit der alten staatlichen Post- und Telegrafverwaltung für ersteres negativ ausgewirkt. Falls aus der organisatorischen Integration verschiedener GTS keine synergetischen Effekte zu gewärtigen sind, genießen stärker spezialisierte technische Systeme möglicherweise Wachstumsvorteile.

Wo staatliche Akteure als Betreiber, Regulierer oder Förderer die Systementwicklung geprägt haben, hat sich nicht nur das jeweilige staatliche Selbstverständnis, sondern auch die gegebene politisch-administrative Struktur auf die Gestalt der entstehenden GTS ausgewirkt. So war in Deutschland vor 1870 die Kleinstaaterei für alle entstehenden technischen Netze prägend, die sich zunächst vorzugsweise innerhalb der oft engen Grenzen der Einzelstaaten entwickelten. Weil in den USA noch im 20. Jahrhundert lokale und regionale (bundesstaatliche) politische Instanzen über die entscheidenden Regulierungskompetenzen für die Telekommunikation verfügten, blieb der Konzern AT&T ökonomisch und unternehmensrechtlich dezentralisiert, als das Netz bereits auf nationaler Ebene integriert war. Im zentralistischen Frankreich dagegen planten die Ingenieure der Brücken- und Straßenverwaltung von Anfang an ein *nationales* Eisenbahnnetz, obwohl dem Staat dann das Geld für seinen Aufbau in eigener Regie fehlte.

Mit dem Hinweis auf die zunehmend aktive Rolle des Staates hat Weingart die Bedeutung der Nachfrage potentieller Nutzer für die Entwicklung von GTS in Frage gestellt (1982: 129). Das gilt aber eigentlich nur für die Anfangsphase und vor allem für solche Systeme, die der Staat entweder im eigenen Interesse oder doch ohne besondere Berücksichtigung ökonomischer Gesichtspunkte betreibt. Auch für den Staat sind Aufbau und Betrieb von GTS teuer; langfristig ist eine breite Nachfrage deshalb auch hier notwendig, wenn das Systemwachstum nicht vorzeitig zum Stillstand kommen soll. Eine breite zahlungsfähige Nachfrage hat denn auch zwar nicht in der Initialphase, aber doch beim späteren Wachstum aller hier betrachteten GTS entscheidend mitgewirkt. Im Gegensatz etwa zur privaten Nachfrage nach Gesundheitsleistungen dominierte dabei die kommerzielle Nutzung. Der Telegraf wurde, sobald er für den normalen Bürger zugänglich war, vor allem

von Geschäftsleuten und der Finanzwelt intensiv genutzt. Für die Entwicklung der Eisenbahn war der Frachtverkehr sehr bald wichtiger als der Personenverkehr, und selbst beim Telefon werden noch heute wenigstens Ferngespräche vor allem beruflich geführt. Wie bei gesellschaftlichen Teilsystemen, die eine bestimmte Leistung für angebbare Abnehmer produzieren, mußte allerdings die Nachfrage oft erst geweckt werden, d.h. aktive Strategien der Nachfrageerzeugung sind auch bei GTS ein wichtiger Wachstumsfaktor. Die Senkung der Frachtraten in den Anfangsjahren der Eisenbahn, um dem Schiffsverkehr Kunden abzugewinnen, ist genauso ein Beispiel derartiger Strategien wie die Förderung des Baus elektrischer Straßenbahnen durch Stromversorgungsunternehmen.

Wenn die hier betrachteten, physisch vernetzten GTS nicht von vornherein vom Staat als landesweite Systeme geplant wurden, war ihr Wachstum in der Regel von der schrittweisen organisatorischen Integration zunächst lokal bzw. regional begrenzter Systeme zu einem großen Netz geprägt. Grundsätzlich handelt es sich dabei um Monopolbildungsprozesse, deren ökonomische Motive - abgesehen von möglichen Monopolgewinnen vor allem Skalenerträge - in den Wirtschaftswissenschaften oft untersucht worden sind.⁴ Für Elektrizitätsversorgungssysteme ist so die großflächige Integration vor allem ein Mittel der Kostenreduktion, wobei das viele Kraftwerke verbindende integrierte Netz auch beim Ausgleich von regionalen Produktions- und Nachfrageunterschieden hilft. Bei Verkehrs- und Kommunikationssystemen wächst außerdem ihr Wert für die Nutzer unmittelbar mit ihrer räumlichen Expansion (Kaijser 1987: 21). Man könnte erwarten, daß der technische Netzcharakter sowohl ökonomische wie außerökonomische (vor allem politische) Monopolisierungsinteressen noch verstärkt, da der hohe Koordinationsbedarf im Netz dazu drängt, Netzgrenzen und Betreiberdomäne in Deckung zu bringen. Tatsächlich dürfte diese Wirkung aber nur eintreten, wenn potente korporative Akteure ein bereits existierendes großes Netz allein betreiben wollen und deshalb kleine Betreiber verdrängen bzw. absorbieren; wenn es jedoch keinen derart potenten Akteur und auch noch kein großes Netz gibt, werden kleine Betreiberorganisationen wegen dieses "Deckungsstrebens" dazu neigen, nur kleine Netze

4 Vgl. hierzu zusammenfassend Frey (1978) und die dort zitierte Literatur.

zu bauen, die sie selber kontrollieren können, statt sich für den Bau eines großen Netzes mit anderen zusammenzutun.

Mit technischen Gegebenheiten hängt auch der bei GTS besonders ausgeprägte Zwang zur Standardisierung als Voraussetzung der Systemintegration zusammen, der zu den üblichen Notwendigkeiten geregelter Abstimmung, die es in allen ausdifferenzierten gesellschaftlichen Funktionssystemen gibt, noch hinzukommt. Exemplarisch für einen solchen technischen Standardisierungszwang war das Problem der Spurbreiten im Eisenbahnverkehr. Während trotz anfangs privater und dezentralisierter Entwicklung in Frankreich und Deutschland gleich zu Beginn eine einheitliche Spurbreite vorgeschrieben wurde, gab es in den USA um 1860 nicht weniger als acht verschiedene Spurbreiten, und ehe ein funktionsfähiges nationales Eisenbahnnetz entstehen konnte, waren langwierige Auseinandersetzungen zwischen den verschiedenen Eisenbahngesellschaften nötig. Die Tatsache, daß technische Standards oft automatisch zwingend (self-enforcing) sind, weil ihre Verletzung sogleich Funktionsunfähigkeit zur Folge hätte, macht nicht nur Einigung über sie unabdingbar, sondern läßt sie auch zu einem bevorzugten Kampfplatz der Auseinandersetzung zwischen Konkurrenten werden.

In Hughes' Analyse des Wachstums großer technischer Systeme spielen auf einem bestimmten Entwicklungsniveau auftauchende Probleme ("reverse salients") eine große Rolle. Sie hemmen zwar zunächst das weitere Wachstum, induzieren aber gerade durch ihre Identifikation ein gezieltes Problemlösungsverhalten und wirken somit am Ende als Antriebsfaktor der Entwicklung. Die Existenz von Hemmfaktoren ist dabei natürlich keine Besonderheit von GTS; Ressourcenknappheit oder restriktive Rechtsnormen können das Wachstum von allen sozialen Systemen behindern. Bei großen technischen Systemen tauchen jedoch zusätzliche Hemmfaktoren auf, die mit der Beschaffenheit der technischen Systemkomponenten zusammenhängen. Solche technischen oder mit technischen Gegebenheiten zusammenhängenden Probleme sind relativ leicht identifizierbar. Genau das begünstigt eine aktive Suche nach Lösungen.

Unmittelbar technische Engpässe können etwa in der besonderen Störungsanfälligkeit oder geringen Leistungsfähigkeit einzelner Systemkomponenten bestehen, die dadurch eine mögliche Leistungssteigerung des Gesamtsystems verhindern. Solche technischen Engpässe waren z.B. die geringe Bruchsicherheit der frühen Eisenbahnschienen, der ständige Stromverlust der ersten elektrischen Erdkabel und die schnell

abnehmende Tonstärke in frühen Telefonleitungen. Technisch bedingt, aber eher organisatorischer Art waren dagegen Probleme wie die Messung des individuellen Stromverbrauchs, die kollisionsfreie Regelung des Zugverkehrs auf eingleisigen Strecken oder die Gesprächsvermittlung beim Telefonieren. Auch hierfür waren die leistungsfähigsten Lösungen, die man später fand, technischer Art: Stromzähler, Signalanlagen und telegrafische Kommunikation zwischen Eisenbahnstationen und die elektromechanischen (später elektronischen) Telefonvermittlungsanlagen. Bei einer dritten Kategorie von technisch bedingten Problemen handelt es sich schließlich um die Erzeugung einer bestimmten Art von negativen Externalitäten: den Schaden an Hab und Gut, Leib und Leben, den die Nutzer eines technischen Systems oder sogar unbeteiligte Dritte durch Unfälle erleiden können. Im Gegensatz zu vielen anderen problematischen Folgewirkungen des Operierens spezialisierter Sozialsysteme sind Unfälle leicht als solche zu identifizieren. Sie lösen deshalb nicht nur sehr direkt "voice" oder sogar "exit"-Reaktionen aus, sondern auch Versuche, sie durch technische Verbesserungen oder organisatorische Vorkehrungen künftig zu verhindern.

Ein Problem besonderer Art, das sich am Ende ebenfalls als Wachstumsfaktor für GTS auswirkt, hängt mit der Tatsache einer oft technisch begrenzten Produktions- oder Nutzungskapazität zusammen. In besonders scharfer Form taucht dieses Problem dort auf, wo einerseits ein nicht speicherbares Gut in Fließproduktion erzeugt wird, gleichzeitig aber der Zugriff der Nutzer auf das System weder gleichmäßig ist noch hinreichend gesteuert werden kann. Bei plötzlich gehäufte Nutzung ist Überlastung die Folge, was zu Störungen, ja Systemzusammenbrüchen führen kann - so wie die Stromversorgung in Amerika gelegentlich bei Netzüberlastung in einer Hitzewelle zusammengebrochen ist. Systemzusammenbrüche oder doch gravierende Störungen durch Überschreiten von technisch bzw. physisch bedingten Kapazitätsgrenzen gibt es aber auch bei Verkehrssystemen und Kommunikationssystemen, wie jeder Telefonbenutzer und Autofahrer weiß. Derartige Überlastungsprobleme regen nun einerseits Versuche an, die ungleichmäßige Nachfrage zu steuern. Vorzugsweise geschieht das durch gestaffelte Preise bzw. Gebühren, also über positive bzw. negative Anreize. Abgesehen davon, daß ein direkteres, regulatives Auslastungsmanagement, das lediglich beim Nachfragefaktor ansetzt, praktisch oft kaum möglich wäre, würde die Entscheidungsfreiheit der Nutzer dadurch gravierend eingeschränkt werden; die Schnittstelle zwischen technischem System und Nutzern

würde durch eine allzu enge Koppelung starr. Auch unabhängig von derartigen Überlegungen motivieren Überlastungsprobleme allein schon dadurch, daß außer der Nachfrage auch ein technisch manipulierbarer Faktor an ihrem Entstehen beteiligt ist, dazu, das technische System stattdessen auf die mögliche Spitzenbelastung auszulegen. Hinzu mögen fallweise politische Gesichtspunkte einer optimalen Versorgung kommen. Die hohe Kapitalintensität der in Frage stehenden Systeme zwingt dann jedoch aus ökonomischen Gründen oft zu einer Strategie der Kapazitätsauslastung und damit zu - wenn auch selektiven - Nutzungsanreizen. Damit wird eine Dynamik in Gang gesetzt, die man in der Geschichte vieler GTS beobachten kann, nämlich der Wechsel zwischen Phasen einer (tendenziellen) Überlastung, die zum Ausbau des Systems anregt, und Phasen der Unterausnutzung, wenn die erhöhte Kapazität zunächst noch den Bedarf übersteigt, was wiederum zur aktiven Nachfrageerhöhung motiviert. Aus dieser wechselseitigen Stimulierung ergibt sich am Ende ein charakteristisches Wachstumsmuster.

An diesem Punkt der Überlegungen läßt sich kurz zusammenfassen, welche Rolle die *technischen* Systemkomponenten in der Entwicklung von GTS spielen. Auf der einen Seite ist es die Technik, die eine bestimmte Art oder doch Qualität von Leistung überhaupt erst möglich macht. Die Technik stellt dabei ein - steigerbares - *Leistungspotential* dar, das von interessierten Akteuren aktiviert werden muß. Hierbei sind dann *auch technische* Restriktionen der Leistungsfähigkeit und des Systemwachstums zu überwinden, zu denen neben Funktionsschwächen auch technisch bedingte Unfallrisiken, technische Kooperations- und Standardisierungszwänge gehören. Die greifbare Natur vieler technisch bedingter Funktionsmängel und der Glaube, daß es für gegenwärtige technische Probleme auch technische Lösungen gibt, regt die gezielte Suche nach solchen Lösungen an. Gleichzeitig reflektiert aber auch die soziale Struktur des wachsenden Systems technische Funktionserfordernisse, vor allem technisch bedingte Standardisierungs- und Koordinationsnotwendigkeiten, deren Vernachlässigung das Systemwachstum beenden würde (Spurbreitenproblem und Signalproblem bei der Eisenbahn, Kompatibilitätsprobleme bei der Kommunikationstechnik usw.). Weder das gegebene technische Potential noch die technischen Restriktionen *determinieren* die Systementwicklung. Vielmehr hängt es von den Zielen und Werten der aktiv an der Systementwicklung beteiligten, meist korporativen Akteure und dem politischen, rechtlichen und ökonomischen Kontext, in dem sie operieren, ab, ob und in welcher

technischen und sozialstrukturellen Form das jeweilige technische Potential realisiert wird.

4 Wandel und Niedergang: Die Transformation technischer Infrastruktursysteme

Im Laufe der technischen Entwicklung sind in allen Infrastruktursystemen immer wieder neue und in bestimmter Hinsicht jeweils leistungsfähigere Techniken zum Einsatz gekommen, die sich rückblickend als Sequenz darstellen lassen. Schiffsverkehr, Eisenbahnverkehr und Flugverkehr bilden eine solche Sequenz, aber auch der optische Telegraf, der elektrische Telegraf und das Telefon, oder die Gas-, Strom- und Ölversorgung. Die Nutzungsmöglichkeiten der Techniken innerhalb einer Sequenz überschneiden sich, d.h. daß sie teilweise miteinander konkurrieren (und sich infolgedessen substituieren können) und teilweise komplementieren (und demzufolge nebeneinander bestehen können). Dabei war das Aufkommen einer neuen Technik immer dann auch Anlaß zur Ausbildung eines neuen GTS, wenn sie sich aus *sachlichen* (physikalisch-technischen) Gründen schwer oder gar nicht in ein schon bestehendes GTS integrieren ließ. Das gilt im Verkehrssystem für die Beziehung zwischen Schifffahrt, Eisenbahn und Luftfahrt, zwischen denen wohl Kooperation, aber kaum die Zusammenfassung in *einer* Organisation denkbar ist, ebenso wie im Energiebereich für Gas, Strom und Mineralöl, die ihre je speziellen Netze brauchen. Dementsprechend führte die technische Entwicklung in diesen Infrastruktursystemen zu besonders deutlichen Einschnitten beim Strukturwandel und zugleich zur Herausbildung einer sektoriell stark unterteilten Binnenstruktur; am Ende besitzen hier die einzelnen GTS als klar abgegrenzte sozio-technische Systeme einen viel einprägsameren Realitätscharakter als die Verkehrs- bzw. Energieversorgungssysteme als Ganze, die nur noch analytisch als Einheiten erscheinen. Im Telekommunikationssystem ist das insofern anders, als hier verschiedene Dienste heute im gleichen Netz laufen können. Die *technisch* mögliche Integration, die ISDN als Stichwort künftiger Entwicklung ausdrückt, erlaubt in diesem Bereich auch eine stärkere organisatorische Integration verschiedener Telekommunikationsdienste, was es wiederum den Betreiberorganisationen schon bestehender GTS erlaubt, die neuen Techniken und die auf ihnen basierenden Dienste

selber zu entwickeln und anzubieten und damit dem Entstehen neuer organisatorisch selbständiger GTS vorzubeugen. Auch wenn diese *Möglichkeiten* unterschiedlich realisiert wurden, so daß die organisatorischen Lösungen zwischen verschiedenen Ländern variieren, wirkt das heutige Telekommunikationssystem deshalb doch insgesamt viel stärker integriert als die Infrastruktursysteme Verkehr und Energieversorgung.

Die skizzierten Unterschiede sind sowohl für die Wandlungsdynamik der übergeordneten Infrastruktursysteme wie auch für das Entwicklungsmuster einzelner GTS wichtig: Ein Ende des Systemwachstums, Stagnation und schließlich Niedergang kann es für sie als sozio-technische Systeme nur dann geben, wenn ihre *soziale* Existenz fest mit *einer* bestimmten Technik verbunden ist. Wie insbesondere Verkehrswissenschaftler gezeigt haben, läßt sich unter diesen Umständen das Wachstum des einzelnen GTS in einem Infrastrukturbereich durch eine S-Kurve beschreiben: Zu Beginn ist das (anhand quantitativer Indikatoren gemessene) Systemwachstum langsam; später beschleunigt es sich, bis ein Punkt erreicht ist, an dem die Wachstumsraten sinken; dann tritt Stagnation ein oder es erfolgt gar ein absoluter Rückgang - ob man das nun an Schienenkilometern, Frachtvolumen, Abonnentenzahl oder der Zahl von Telegrammen mißt. Jede derartige S-Kurve überlappt sich dabei mit den entsprechenden Kurven für die in der historischen Sequenz vorausgehenden und nachfolgenden Systeme, wobei die *insgesamt* erbrachte Leistung (z.B. Transportleistung, Energieproduktion) ständig wächst. Vor allem in der Anfangs- und in der Endphase der Wachstumskurve eines GTS konkurrieren ältere und neue Technik miteinander. Diese Konkurrenz hat einerseits inhibierende, andererseits aber auch stimulierende Wirkung. Das Ergebnis sind Prozeßmuster von erstaunlicher Regelmäßigkeit, die sich sogar in Form mathematischer Modelle beschreiben lassen (Grübler 1987).

In der Anfangsphase, in der eine neue Technik noch mangelbehaftet und ihr Potential noch nicht einmal richtig zu sehen ist, wirkt das bereits etablierte GTS oft wachstumshindernd. Dabei muß das von einer Innovation in seiner dominanten Position bedrohte System nicht einmal aktive Abwehrstrategien entwickeln; seine Leistungsüberlegenheit allein zwingt die neue Technik, sich zunächst in Nischen anzusiedeln, d.h. komplementär statt substitutiv zu sein. In Frankreich hat sich z.B. die Einführung des elektrischen Telegrafen dadurch verzögert, daß der optische Telegraf zu jener Zeit so gut ausgebaut war (Bertho 1981: 58). Ähnlich mußte sich das Telefon später gegen den Telegrafen

und die Eisenbahn gegen die gut ausgebaute Binnenschifffahrt durchsetzen. Die Konkurrenzsituation hat dabei nicht nur die technische Weiterentwicklung des neuen, sondern auch die Verbesserung des etablierten Systems angeregt. So hat etwa die Einführung der elektrischen Beleuchtung zu einschneidenden Verbesserungen bei der ihr vorangehenden Gasbeleuchtung, u.a. zur Entwicklung des Gasglühstrumpfes geführt (Schivelbusch 1983). Dadurch ergibt sich in der Transitions- oder Überlappungsphase zweier GTS innerhalb der gleichen "Funktionsfamilie" ein doppelter Anreizeffekt, der, wie Heinze und Kill (1987) betonen, insgesamt wachstumssteigernd wirkt, denn die Verbesserungen im alten GTS und die gleichzeitig beginnende Nutzung der neuen Technik regen gemeinsam die Nachfrage an. Die so stimulierte Nachfrage erlaubt dann den Auf- und Ausbau des neuen GTS, das nun aufgrund seiner besseren Leistungsfähigkeit zunehmend Nachfrage vom alten System auf sich umlenkt und damit dessen Stagnation bzw. Niedergang auslöst.⁵

Stagnation und Substitution von GTS müssen nicht auf mangelnder Innovationsfähigkeit der etablierten Systeme beruhen, sondern hängen auch mit technischen Gegebenheiten zusammen. Auf die Inkompatibilität der Netze für bestimmte technisch vermittelte Leistungen wurde schon hingewiesen. Zugleich ist die Verbesserungsfähigkeit vieler einzelner Techniken begrenzt. Mit dem Telegrafen konnte man keine Stimmen übertragen, Frachtschiffe erreichen nicht die Geschwindigkeit eines Güterzugs und dieser nicht diejenige eines Flugzeugs, und beim Gaslicht ist der Verbrauch von Sauerstoff und die Erwärmung geschlossener

5 Auf die Beziehungen zwischen GTS, die v e r s c h i e d e n e n Infrastrukturfunktionen dienen, wird hier nicht eingegangen. Die gegenwärtige Diskussion um Möglichkeiten der Substitution von Personenverkehr durch die neuen Formen der Telekommunikation zeigt, daß es auch hier Konkurrenzbeziehungen geben kann. Allerdings scheinen stimulierende Effekte häufiger zu sein. So ist z.B. die Ausbreitung des elektrischen Telegrafen ganz wesentlich dadurch beschleunigt worden, daß man frühzeitig seine Bedeutung für die Koordination der Zugbewegungen im Eisenbahnsystem erkannte. Die Bahntrassen konnten deshalb zunächst auch als Wege für das Leitungsnetz des Telegrafen dienen, womit das Problem des Wegerechts entschärft wurde, das beim Ausbau anderer Kommunikations- und Verkehrsnetze immer Schwierigkeiten bereitete.

Räume praktisch nicht auszuschließen.⁶ Es kommt hinzu, daß die Leistung von Infrastruktursystemen bzw. von einzelnen GTS (anders als z.B. im Gesundheits-, Erziehungs- und Wissenschaftssystem) anhand einfacher quantitativer Indikatoren zweifelsfrei meßbar und für jeden Nutzer unmittelbar wahrzunehmen ist. Vor allem im *Vergleich* zweier technischer Angebote werden so Mängel und Leistungsüberlegenheit deutlich, was die Umlenkung der Nachfrage und damit die Stagnation bzw. den Rückgang "alter" GTS fördert. Es ist die Kombination dieser Gegebenheiten, die bei technisch erbrachten Infrastrukturleistungen anstelle eines fortlaufenden Wandels ein und desselben Systems eine Abfolge von Systembildungen und damit eine Vervielfältigung von GTS hervorruft.

Unbeschadet der Tatsache, daß aus den angeführten Gründen die Innovationsfähigkeit etablierter GTS allein oft nicht ausreicht, um ein Ende ihres Wachstums abzuwenden, sind wohl gerade die technisch vernetzten und organisatorisch zentralisierten Systeme Erstarrungstendenzen ausgesetzt, die ihre Innovationsfähigkeit mindern können. Derartige GTS haben offenbar im Laufe ihrer Entwicklung teils aus Gründen wachsender organisatorischer *und* technischer Komplexität, teils infolge intensivierter Nutzung⁷ an "slack" verloren, jenen für die spontane Reaktion auf wechselnde Problemsituationen so wichtigen Spielräumen beim Zusammenwirken der verschiedenen Systemkomponenten. Auf das damit verbundene erhöhte Störungsrisiko wird gewöhnlich mit stärkerer Verhaltensnormierung reagiert. Es gibt Anzeichen dafür, daß sich unter solchen Umständen eine besondere Organisationskultur entwickelt: Wenn auch die sozialen Komponenten in einem sozio-technischen System als möglichst zuverlässige Rädchen funktionieren müssen, kann die Zuverlässigkeit und Sicherheit der technischen Abläufe zum dominierenden Bezugspunkt in der Orientierung des Personals werden. Die Gemeinsamkeit der Orientierung kann einen Korpsgeist erzeugen, der Beharrungstendenzen verstärkt; ihre inhaltliche Tendenz kann für das sichere Funktionieren im Rahmen des Bestehenden günstig

6 Die Entwicklung von technischen "Hybriden", wie dem Luftkissenboot, zeigt die Intensität des Bemühens, die Grenzen der Leistungsfähigkeit hinauszuschieben, invalidiert aber das Argument nicht grundsätzlich, zumal wenn zusätzlich Kostengesichtspunkte berücksichtigt werden.

7 Die Probleme, vor die sich der Luftverkehr in steigendem Maße gestellt sieht, können diesen Zusammenhang gut veranschaulichen.

sein, aber nicht für Innovationsbereitschaft und Umweltoffenheit. So kann sich eine Spannung zwischen Anpassungserfordernissen des permanenten technischen Wandels und der Stabilitätsneigung jener großen Organisationen ergeben, die zum Management technischer Netze entstanden sind. Für den Niedergang des amerikanischen Eisenbahnsystems etwa werden derartige Erstarrungstendenzen zumindest mitverantwortlich gemacht (Salsbury 1982). Ähnliche Tendenzen sind auch den staatlichen Telefonsystemen in Frankreich und heute in der Bundesrepublik vorgeworfen worden, obwohl ihre Innovationsfähigkeit immerhin ausreichte, um die technisch praktikable Inkorporierung neuer und potentiell konkurrierender Dienste anzugehen.

So tentativ manche der auf den vorangegangenen Seiten in einem groben Überblick formulierten Aussagen zur Entwicklung der modernen technisierten Infrastruktursysteme auch sein mögen, zeichnet sich doch ein interessanter Zusammenhang zwischen technischer Entwicklung und dem Strukturwandel in Politik und Wirtschaft ab, den die modernen Industriegesellschaften im 19. und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts erlebt haben. Vor allem das Wachstum des Staatsapparats und die Unternehmensbildung, aber auch die Herausbildung neuer Formen der Finanzierung und der Kooperation privater und staatlicher Akteure in wirtschaftlichen Großvorhaben sind aufs engste mit der Herausbildung der hier im Vordergrund der Betrachtung stehenden GTS verknüpft. Die Eigentümlichkeit dieser Wechselwirkung läßt sich nicht ganz erfassen, wenn man nur in Termini eines "Faktors Technik" denkt, der als Ressource wirksam wird. In den USA sind die Eisenbahngesellschaften *auch* die Pioniere unter den Großunternehmen gewesen; sie haben für spätere Unternehmen nicht nur Managementverfahren ausprobiert und als Modell gedient, sondern sie selber sind *Teil* des organisatorischen Strukturwandels der Wirtschaft. Ähnlich haben in Deutschland und Frankreich Telegraf und Telefon die Expansion der Zentralverwaltung nicht nur begünstigt, sondern wurden - wie später auch die Eisenbahn - Teil des sich entfaltenden Staatsapparats. Dabei hat vermutlich wenigstens in den kontinentaleuropäischen Nationalstaaten die offenbare Affinität zwischen zentralstaatlichen (um nicht zu sagen obrigkeitsstaatlichen) Herrschaftsprinzipien und den organisatorischen Notwendigkeiten der netzgebundenen Kommunikations- und Verkehrstechniken eine wichtige Rolle gespielt: Sie hat sowohl das staatliche Engagement am Aufbau dieser GTS wie umgekehrt deren Entwicklung zu großen Monopolorganisationen begünstigt. Die historische Bedingtheit dieser Kongruenz

läßt einen jedoch fragen, ob sich die Hoch-Zeit strikt netzgebundener und zentral organisierter GTS heute nicht ihrem Ende nähert - sowohl infolge einer technischen Entwicklung, die sich von der früheren Art strikter Netzabhängigkeit löst und deshalb dezentraler organisieren läßt, wie auch durch eine möglicherweise schwindende Dominanz hierarchischer Ordnungsformen in der Gesellschaft.

Literaturverzeichnis

- Beniger, J. (1986) *The Control Revolution*. Cambridge/Mass.
- Bertho, C. (1981) *Télégraphes & Téléphones. De Valmy au micro-processeur*. Paris
- Burke, J. (1975) Kesselexplosionen und bundesstaatliche Gewalt in den USA. In: Hausen, K. & Rürup, R. (ed.) (1975) *Moderne Technikgeschichte*; Köln: 314-336
- Caron, F. (1973) *Histoire de l'exploitation d'un grand réseau: la Compagnie du Chemin de fer du Nord des origines à la nationalisation (1846-1937)*. Paris
- Emery, F.E. (1959) *Characteristics of Socio-Technical Systems*, In: Davis, L.E. & Taylor, J.C. (1972) *Design of Jobs*; Middlesex: 177-198
- Frey, R.L. (1978) *Stichwort Infrastruktur*. In: *Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaften 4*; Stuttgart
- Genth, R. & Hoppe, J. (1986) *Telephon! Der Draht, an dem wir hängen*. Berlin
- Grübler, A. (1987) *Aufstieg und Fall von Infrastrukturen. Der öffentliche Sektor 13, H. 3/4: 52-83*
- Heinze, W. & Kill, H.H. (1987) *Chancen und Grenzen der neuen Informations- und Kommunikationstechniken. Zur Übertragung verkehrsevolutionärer Erfahrungen auf die Telekommunikation*. In: *Räumliche Wirkungen der Telematik, Veröffentlichungen der Akademie für Raumforschung und Landesplanung Band 169*; Hannover: 21-72
- Herbst, P.G. (1974) *Socio-Technical Design: Strategies in Multidisciplinary Research*. London

- Hughes, T.P. (1983) *Networks of Power - Electrification in Western Society, 1880-1930*. Baltimore, London
- Hughes, T.P. (1987) *The Evolution of Large Technological Systems*. In: Bijker, W.E. & Hughes, T.P. & Pinch, T.J. (ed.) (1987) *The Social Construction of Technological Systems*; Cambridge/Mass.: 51-82
- Kaijser, A. (1986) *From Local Networks to National Systems*. In: F. Cardot (ed.) *1880-1980. Un siècle d'électricité dans le monde*; Paris: 7-22
- La Porte, T.R. (1984) *Technology as Social Organization*. IGS Working Paper 84-1, University of California, Berkeley
- Oberliesen, R. (1982) *Information, Daten und Signale. Geschichte technischer Informationsverarbeitung*. Reinbek
- Perrow, C. (1984) *Normal Accidents. Living with High-Risk Technologies*. New York
- Rammert, W. (1982) *Soziotechnische Evolution: Sozialstruktureller Wandel und Strategien der Technisierung*. In: Jokisch, R. (ed.) (1982) *Techniksoziologie*; Frankfurt: 32-81
- Ropohl, G. (1979) *Eine Systemtheorie der Technik*. München, Wien
- Salsbury, S. (1967) *The State, the Investor, and the Railroad: The Boston & Albany 1825-1869*. Cambridge/Mass.
- Salsbury, S. (1982) *No Way to Run a Railroad. The Untold Story of the Penn Central Crisis*. New York
- Schivelbusch, W. (1979) *Geschichte der Eisenbahnreise*. Frankfurt
- Schivelbusch, W. (1983) *Lichtblicke. Zur Geschichte der künstlichen Helligkeit im 19. Jahrhundert*. München, Wien
- Weingart, P. (1982) *Strukturen technologischen Wandels*. In: Jokisch, R. (ed.) (1982) *Techniksoziologie*; Frankfurt: 112-141
- Winner, L. (1977) *Autonomous Technology - Technics-out-of-Control as a Theme in Political Thought*. Cambridge/Mass.