

**Koordination und Evolution:
Technische Standards im Prozeß
der Entwicklung technischer Systeme**

Susanne K. Schmidt und Raymund Werle

92/8

Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung
Lothringer Str. 78
D-5000 Köln 1
Federal Republic of Germany

MPIFG Discussion Paper 92/8
ISSN 0933-5668
September 1992

(RFC822): mpi@mpi-fg-koeln.mpg.dbp.de
(X400): S=mpi;O=mpi-fg-koeln;P=mpg;A=dbp;C=de
(PSI): PSI%4505011006::MPI

Telephone 0221 / 33605-0
Fax 0221 / 3360555

Max-Planck-Institut
für Gesellschaftsforschung
Bibliothek

Abstract

Evolutionary explanations of technological development have gained in importance in recent years. The paper argues that there are two shortcomings of these approaches. Firstly, they lack to account for the genesis of different variants other than through stochastic processes. Secondly, they neglect the role of strategic action in the mechanism of environmental selection. Drawing on examples from telecommunications and computing, the paper exemplifies how innovations in large technical systems contexts are shaped by very specific selection processes. Next to economic factors cognitive elements are significant. With the proliferation of large technical systems, rules of construction and design are increasingly codified as standards, and ordered in comprehensive architectural concepts. They can be interpreted as the attempt of actors to control the degree of technical variance and thus to reduce the existing uncertainty of the further development of the system. The form of social coordination among the involved actors is directly relevant for the kind of cognitive structure. The paper shows that patterns of social coordination and technical architectural concepts are interdependent and stabilize each other.

* * * * *

Evolutionstheoretische Erklärungen technischer Entwicklung haben in der letzten Zeit an Stellenwert gewonnen. Die vorliegende Arbeit sieht zwei Schwachstellen dieser Ansätze. Zum einen fehlt eine über stochastische Prozesse hinausgehende Erklärung der Entstehung von Varianz. Zum anderen wird die Rolle intentionaler Handlung im Mechanismus der Umweltselektion übergangen. Anhand von Beispielen aus der Telekommunikation und dem Computerbereich wird in diesem Papier aufgezeigt, wie Innovationen in größeren technischen Systemen sehr spezifischen Selektionsprozessen unterworfen sind. Neben ökonomischen Faktoren sind kognitive Elemente von Bedeutung. Mit der Zunahme großtechnischer Systeme werden Regeln des Aufbaus und der Gestaltung zunehmend als Standards kodifiziert und in übergreifende Architekturkonzepte eingeordnet. Sie können als Versuch von Akteuren gedeutet werden, das Ausmaß von technischer Varianz zu kontrollieren und so die bestehende Unsicherheit über die weitere Entwicklung des Systems zu reduzieren. Die Form sozialer Koordination zwischen den beteiligten Akteuren wirkt sich dabei direkt auf die Art der kognitiven Strukturierung aus. Das Papier zeigt auf, daß sich soziale Koordinationsmuster und technische Systemarchitekturen gegenseitig bedingen und wechselseitig stabilisieren.

921 1442
Max-Planck-Institut
 für Gesellschaftsforschung
 Bibliothek

PL A - 7/9208
 24736 000

Inhalt

Abstract	2
1 Einleitung	5
2 Technische Entwicklung aus Sicht der Evolutionstheorie	6
3 Großtechnische Systemzusammenhänge und die Entwicklung technischer Artefakte	12
3.1 Systeme, Komponenten und Module	12
3.2 Probleme der Integration, der Kopplung und der Interoperation	14
3.3 Hierarchische Koordination, Einheitstechnik und Expansion des Telefonsystems	15
3.4 Interfaces, Kompatibilität und technische Standards	18
4 Großtechnische Systemzusammenhänge und die Entwicklung von Standards	20
4.1 Standardarchitekturen und Referenzmodelle	21
4.2 Die Entstehung von Standards im Kontext von kognitiven und materiellen Systemzusammenhängen	26
5 Koordination technischer Evolution durch Standards	29
Literatur	33

1 Einleitung

Das sozialwissenschaftliche Interesse für technische Entwicklungen, ihre Dynamiken und die Möglichkeit ihrer Steuerung hat in den letzten Jahren deutlich zugenommen. Dies liegt nicht zuletzt an dem beträchtlichen Risikopotential bestimmter Techniken, aber auch ganz allgemein an der beobachtbaren Durchdringung vieler Lebensbereiche durch technische Systeme mit der Folge einer zunehmenden Technisierung, Informatisierung und Mediatisierung der Gesellschaft. Hierzu hat der Systemcharakter moderner Technik ganz entscheidend beigetragen. Die Konzeptualisierung von Techniken als Systemen und die Lokalisierung einzelner Artefakte in umfassenderen Architekturen ist nicht einfach "Evolution", sondern eher Ergebnis strategisch koordinierter Rationalisierung der Produktion und der Nutzung von Technik sowie des kollektiven Versuchs, "objektive" Komplexitätssteigerung kognitiv zu bewältigen.

Je mehr die Entwicklung einzelner technischer Artefakte in einem umfassenderen (großtechnischen) Systemzusammenhang gesehen wird, desto fragwürdiger wird der Versuch, diese ausschließlich mit evolutionstheoretischen Modellen zu erklären. In die Sozialwissenschaften "importierte" evolutionstheoretische Ansätze, die direkt oder indirekt Aspekte technischer Entwicklung behandeln, weisen Defizite auf, die zum Teil unmittelbar aus dem atomistischen Verständnis der Wirkungsweise der drei Mechanismen der Evolution resultieren. Diese Defizite zeigen wir im folgenden Abschnitt auf. Dabei kann die theorieinterne Frage, ob die kurz dargestellten Ansätze die neueren naturwissenschaftlichen Evolutionskonzepte angemessen rezipieren, offen bleiben.

Am Beispiel materieller und kognitiver Strukturierungsprozesse technischer Systeme in der Telekommunikation und der Informationstechnik, zwei Bereichen, in denen Kompatibilitätsstandards zunehmend an Bedeutung gewinnen, werden wir dann zeigen, daß Erklärungsversuche ohne die Einbeziehung strategisch handelnder Akteure zumindest unvollständig bleiben. Abstraktes Ziel der Akteure ist es, so könnte man sagen, genau die Zufälligkeiten naturwüchsiger Evolution unter Kontrolle zu bringen. Konkreter geht es um die Gestaltung technischer Systeme in einer Form, die Unsicherheiten über zukünftige Entwicklungen reduziert. Diese Unsicherheit ist keine technische, im Sinne irgendwie kalkulierbarer Risiken, sondern eine soziale.

Der Bezug auf Akteure bedeutet nicht, daß Ziele, Interessen, Ressourcen und Strategien jedes einzelnen Akteurs den Ausgangspunkt unserer Betrachtungen bilden. Auch richten wir unsere Analyse nicht auf einzelne technische Arte-

fakte aus. Vielmehr wollen wir zeigen, daß Akteurkonstellationen und speziell die Form der Koordination ihrer Handlungen mit unterschiedlichen Formen gegenständlicher und abstrakt-kognitiver Strukturierung technischer Systeme korrespondieren. Technische Systemarchitekturen und soziale Koordinationsmuster stabilisieren sich wechselseitig und schaffen so einen Korridor, der die weitere technische Entwicklung strukturiert.

2 Technische Entwicklung aus Sicht der Evolutionstheorie

Die Evolutionstheorie galt noch vor wenigen Jahren als "ein aussichtsreicher Kandidat" für die umfassende Erklärung technischer Entwicklungen,¹ obwohl bislang die Erwartungen nur teilweise erfüllt worden sind. So lenkt z.B. die in Abgrenzung zu den "orthodoxen" ökonomischen Ansätzen entstandene, insbesondere von Nelson und Winter ausformulierte, evolutionäre Theorie technischer Innovationen ihre Aufmerksamkeit weniger auf einzelne Techniken als auf innovationsorientierte organisatorische Suchroutinen, die sich als mehr oder weniger erfolgreich erweisen können.² Organisationsinternen Prozessen der Mutation von Routinen folgt die Bewährungsprobe in "selective environments". Diese Umwelten können als Märkte, aber ebenso gut auch als politische, regulative oder professionelle Kontexte in Erscheinung treten. Wenn es Organisationen (und mit ihnen den technischen Innovationen) gelingt, in diesen Umwelten zu überleben oder noch zu wachsen, so stabilisieren sich die erfolgreichen Routinen. In dynamischen Sozialsystemen entsteht allerdings immer neuer Veränderungsdruck.

Gliedert man, wie üblich, den Evolutionsprozeß in die Stationen der Variation (Mutation), der Selektion und der Restabilisierung (Retention), so läßt sich der Schwerpunkt des skizzierten Ansatzes der evolutionären Ökonomie im Selektionsprozeß lokalisieren. Der Prozeß der Retention wird hingegen stärker in den ökonomischen Modellen des "lock-in" betont. Ausgehend von der Annahme, daß bestimmte Technologien (aber auch organisatorische Routinen)

1 So Rammert (1988: 757f), der als eine andere Möglichkeit eine Integration von akteur- und strukturtheoretischen Ansätzen sieht.

2 Dabei werden organisatorische Routinen als "Gene" verstanden, die durch ebenfalls in den Organisationen generierte Suchroutinen mutiert werden (Nelson/ Winter 1982: 134-136, 399-404; vgl. auch Nelson/ Winter 1977).

bei ihrer Anwendung positive feedbacks aufweisen,³ zeigen diese Modelle, daß rational kalkulierende Akteure dazu neigen, an einer einmal gewählten Technologie festzuhalten, auch wenn später möglicherweise effizientere Lösungen verfügbar sind.

Die populationsökologische Variante der Evolutionstheorie, die sich insbesondere mit der Erklärung struktureller Veränderungen von Organisationslandschaften befaßt, richtet wie die evolutionäre Ökonomie ihr Augenmerk auf den Selektionsprozeß. Im Gegensatz zu ihr hält sie jedoch Umweltbedingungen und ihre Veränderungen für die Strukturierung der Population für besonders wichtig, während das Anpassungspotential einzelner Organisationen an die Umweltveränderungen als absolut nachrangig erscheint.⁴ Organisationen können im Hinblick auf bestimmte Merkmale wie Größe, Spezialisierungsgrad oder auch technische Ausstattung mehr oder weniger gut den Anforderungen der Umwelt angepaßt sein, sie selber können diese Merkmale aber gar nicht oder nur langsam ändern. Nur wenige Ansätze gehen davon aus, daß Organisationen ihre Umwelt zumindest partiell und lokal, wenn schon nicht global, beeinflussen können. Hier wird dann konzediert, daß es Organisationen gelingen kann, Nischen zu schaffen, in denen sie überleben und wachsen können (z.B. Aldrich/ Mueller 1982).

In einer theoretisch orientierten Analyse der Entwicklung von Verkehrssystemen wird die Bedeutung solcher Nischen im Evolutionsprozeß explizit betont.⁵ Danach haben technische Innovationen eine Überlebens- und Entwicklungschance, wenn sie an Engpässen bestehender Systeme Eingang finden oder sich in Nischen einrichten können. Sobald die bestehenden Systeme (etwa Eisenbahn oder Individualverkehr) Kapazitätsgrenzen erreichen, setzt die massenhafte und großflächige Durchsetzung eines neuen Systems (z.B. Telefon) ein, wobei gleichzeitig die Systemkosten deutlich sinken. Voraussetzung hierfür sind neben den entsprechenden Erfindungen sowohl risikobereite Firmen, Behörden oder andere Akteure als auch ein allgemeiner steigen-

3 Dies sind typischerweise positive Netzexternalitäten, aber auch Economies of Scale oder Lerneffekte bei der Nutzung einer Technologie (vgl. David 1985, 1989; Arthur 1989, 1990).

4 "From a population ecology perspective, it is the environment which optimizes. Whether or not individual organizations are consciously adapting, the environment selects out optimal combinations of organizations" (Hannan/ Freeman 1977: 939; vgl. auch Hannan 1988).

5 Hier stellt sich die Entwicklung der Systeme als eine Abfolge der Entstehung, des Wachstums entlang einer logistischen Wachstumskurve und der partiellen Verdrängung von Verkehrssystemen durch jeweils leistungsfähigere Systeme der Raumüberwindung bis hin zu globalen Telematiksystemen dar (Heinze/ Kill 1987; vgl. auch Heinze 1985 und Heinze/ Kill 1988).

der Kommunikationsbedarf. Da Verkehrssysteme stark technisch geprägt sind, ist die Analyse ihrer Evolution von größerem techniksoziologischen Interesse als die vorher dargestellten Ansätze, in deren Mittelpunkt die Frage nach der Entwicklung von Organisationen steht.

Ganz explizit ist der Technikbezug in den Arbeiten, die in der Tradition des "Social Construction of Technology"-Ansatzes (SCOT) stehen.⁶ Weniger klar ist allerdings, ob die Mehrzahl der SCOT-Studien als evolutionistisch klassifiziert werden kann, auch wenn sie gern den Terminus Evolution verwenden.⁷ Pinch und Bijker (1984) plädieren in ihrer Analyse der Entstehung und Entwicklung des Fahrrades allerdings dezidiert für die Verwendung evolutions-theoretischer Konzepte. Mit den Argumenten des wissenschaftssoziologischen Relativismus weisen sie jedoch Vorstellungen eines linearen Verlaufs technischer Evolution oder Darwinistischer Selektionsmechanismen des "survival of the fittest" zurück. Die selektionsrelevante Umwelt von technischen Artefakten bilden "relevant social groups", deren Nutzungsvorstellungen, ästhetische Kriterien oder ökonomische Potenz bereits den Entwurf einer Technik beeinflussen können. Sie werden also bereits in der Phase der Variation (selektierend) wirksam, obwohl die social groups selber keine unterschiedlichen Varianten einer Technik entwerfen.

Die skizzierten Ansätze evolutionistischer Erklärungen technischer Entwicklungen haben einige Schwachstellen gemeinsam, die vor allem in der grundsätzlichen Struktur der Evolutionstheorie liegen und erst in zweiter Linie mit dem Gegenstandsbereich Technikentwicklung zusammenhängen.

* Im Hinblick auf die Wirksamkeit der Selektionsmechanismen der Umwelt setzt die Evolutionstheorie voraus, daß verschiedene Varianten real existieren. Nur tatsächlich vorkommende technische Artefakte können eliminiert werden oder überleben und sich ausbreiten.⁸ Warum bestimmte Varianten entstehen und andere nicht, wird der Zufälligkeit stochastischer Prozesse zugerechnet.

6 Dies gilt auch für evolutionistisch argumentierende technikhistorische Studien. Diese hier nicht weiter zu behandelnden Ansätze greifen geschichtlich meist sehr weit zurück und bleiben im Hinblick auf den Technikbezug sehr allgemein (z.B. Basalla 1988).

7 So Hughes in seinem Artikel über "The Evolution of Large Technological Systems" (1987).

8 Vgl. hierzu Van den Belt/ Rip (1987).

In zahlreichen Untersuchungen, zum Teil auch aus der evolutionären Ökonomie, wird jedoch darauf hingewiesen, daß zumindest in den Köpfen der Techniker und Ingenieure kollektiv strukturierte Vorstellungen darüber anzutreffen sind, an welchen "Problemen" (Varianten) in Zukunft gearbeitet werden soll. Hier bleibt keineswegs alles dem Zufall überlassen. Die Entstehung technischer Artefakte außerhalb eines paradigmatisch stabilisierten Bereichs ist damit zwar nicht grundsätzlich ausgeschlossen oder unvorstellbar, aber doch sehr unwahrscheinlich.⁹ Nur solche unwahrscheinlichen Fälle können den Ausgangspunkt evolutionärer Strukturveränderungen bilden. Vieles, was (etwa handelnden Akteuren) zufällig erscheint oder von den Akteuren nicht intendiert wurde, ist aus einer übergeordneten (System-) Perspektive durchaus nicht zufällig, sondern läßt sich z.B. als Aggregateffekt von Handlungen rekonstruieren.¹⁰

- * Das Konzept einer Umwelt, die relativ deterministisch, vor allem aber strategisch unbeeinflußt von den betroffenen Einheiten, die im Prinzip auch lernunfähig sind, selektiv über das Schicksal dieser Einheiten und die Struktur ganzer Populationen "entscheidet", vernachlässigt die mit der Entwicklung und Auswahl von Techniken verbundenen Interessenkonstellationen von oftmals wenigen Akteuren mit großen Einflußressourcen. Es wird auch nicht der "Rekursivität" technischer Innovationsprozesse gerecht.¹¹

Von den Akteuren unbeeinflußbare "selective environments" sind Märkte, die dem Idealtypus der vollständigen Konkurrenz nahekommen. "Umwelten" von Techniken bzw. von Organisationen, die Techniken entwickeln, bestehen

9 Die bekannteste Version dieses strukturierenden sets of "notional possibilities" (Van den Belt/ Rip 1987: 136) findet sich in dem Konzept des "technological paradigm" von Dosi. Danach ist ein solches Paradigma definiert "as a 'model' and a 'pattern' of solution of *selected* technological problems, based on *selected* principles derived from natural sciences and on *selected* material technologies" (Dosi 1982: 152). In einer späteren Arbeit spricht Dosi ganz explizit davon, daß "technological paradigms provide a relatively coherent source of mutations" (Dosi/ Orsenigo 1988: 17). - Die Konzepte der "technological guideposts" (Sahal 1981), der "technological trajectories" (Nelson/ Winter 1982) und etwas weicher der "inducement mechanisms and focusing devices" (Rosenberg 1976) haben eine ganz ähnliche Bedeutung.

10 Dieses Argument folgt Luhmanns Verständnis von (sozio-kultureller) Evolution. Als Evolution bezeichnet er solche Strukturänderungen, die von "systemrelativen" Zufällen ausgelöst werden. "Evolution ist, weil sie die Verarbeitung von Zufall betrifft, eine *sehr spezielle* Form von Strukturänderung", die sehr unwahrscheinlich ist (Luhmann 1981: 184). - Für Interpretationshilfen der Luhmannschen Evolutionstheorie danken wir Uwe Schimank.

11 Vgl. hierzu Asdonk/ Bredeweg/ Kowol (1991).

aber nur zu einem geringen Teil aus Märkten. Insbesondere bei den Kommunikations- und Informationstechniken, auf die wir uns beziehen, aber auch bei vielen anderen Techniken, entstehen Konkurrenzmärkte mit vielen Teilnehmern nur unter sehr spezifischen Bedingungen. Konkurrenz ist daher keineswegs die Regel. Dies zeigen im übrigen auch populationsökologische Studien über die frühe Entwicklung von Telefongesellschaften in den USA. Die Systemeigenschaften der Telefontechnik und das Vorherrschen von Komplementarität (und nicht Substitutivität) bei den Netzen und vielen technischen Komponenten der Netze haben Konkurrenz immer behindert.¹² Es sind gerade die historischen Monopolbildungstendenzen im Telefonbereich, die auch die ökonomische Theorie des "natürlichen" Monopols inspiriert haben. Sie argumentiert, Monopolbildung sei in diesem Bereich praktisch unausweichlich (vgl. Baumol/ Panzar/ Willig 1982).

Insbesondere im Zusammenhang mit der Entwicklung großtechnischer Systeme sind, wie etwa das Beispiel der Kernenergie zeigt, einfache Vorstellungen einer nicht zu beeinflussenden Systemumwelt äußerst fragwürdig. Weltweit wenige Akteure sowie enge Verflechtungen und Vernetzungen zwischen der politischen, ökonomischen und technischen Sphäre - captive markets und captured agencies - lassen eher das Gegenteil plausibel erscheinen.¹³ Das heißt aber nicht, daß die Vorstellung einer kollektiv geplanten bzw. nach Plan realisierten Entwicklung von Technik für eine Erklärung angemessener ist. Teilweise scheinen evolutionstheoretische Erklärungsangebote implizit als Gegenprogramm einer sonst als voluntaristisch verstandenen Technikgestaltung angeführt zu werden. Hier wird das Evolutionskonzept jedoch oft metaphorisch und nur als Oberbegriff für verschiedene im Selektionsprozeß relevante Umweltfaktoren verwendet. Es bleibt aber wichtig, in eine Theorie technischer Entwicklung Akteure einzubeziehen, die die Entwicklung strategisch beeinflussen wollen (Mayntz 1988), auch wenn sie dies schon aufgrund der Unterschiede ihrer Interessen (z.B. zwischen Produzenten, Konsumentengruppen, Regulierern, Gewerkschaften) nicht gleichgerichtet tun. Technische Entwicklungen verlaufen schon in der Phase der Entstehung von Neuem oftmals nicht so ungesteuert und ungeplant, wie es die Evolutionstheorie suggeriert, sie bewegen sich vielmehr, wie wir im folgenden zeigen wollen, in Korridoren, die von strategisch handelnden Akteuren abgesteckt werden,

12 Vgl. Barnett/ Carroll (1987) und Barnett (1990). Auch die bereits erwähnten "lock-in" Konzepte, die gern am Beispiel von Netzwerktechnologien demonstriert werden, verweisen auf "Marktversagen".

13 Vgl. für die Kernenergie Radkau (1983) und Keck (1981) und allgemein das Konzept der "Techno-Komplexe" (Urban 1986).

ohne daß diese individuell und kollektiv immer das herbeiführen können, was sie erreichen wollten.

3 Großtechnische Systemzusammenhänge und die Entwicklung technischer Artefakte

Zwei mit der industriellen Revolution unmittelbar assoziierte Merkmale sind die Mechanisierung der Arbeit und die Produktion von Waren in größeren Serien. Speziell die Serienfertigung dient der Rationalisierung von Produktionsprozessen, indem sie Größenvorteile (economies of scale) schafft. Die wiederholte Herstellung eines bestimmten (einheitlichen) Produkts erreichte eine erste eindrucksvolle Perfektionierung mit der Massenproduktion von Fords "Modell T" zu Beginn dieses Jahrhunderts. Economies of scale lassen sich aber nicht nur durch die Herstellung eines völlig einheitlichen Produkts in großer Serie ausschöpfen. Auch die Zerlegung der Produktion in einzelne Arbeitsschritte hat einen vergleichbaren Effekt. In getrennten Schritten werden Einzelteile gefertigt und zum Endprodukt zusammengefügt.

3.1 Systeme, Komponenten und Module

Massenfertigungsvorteile werden erzielt, indem Endprodukte in einzelne Teile zerlegt werden. Diese haben eine klar festgelegte Position und Aufgabe "innerhalb" des Produkts und sind im Extremfall als Einzelteile vollkommen nutzlos. Sie funktionieren erst (und nur) in Kombination mit den anderen Teilen. Die Konzeption von technischen Artefakten als Systemen, die aus Komponenten zusammengesetzt sind, entstand oft mehr in der betrieblichen Praxis als aufgrund einer systematischen kognitiven Durchdringung.¹⁴ Solange ein klar definiertes Endprodukt den Ausgangspunkt für die Bestimmung der Eigenschaften (Material, Größe, Form, Härte usw.) von Komponenten bildete, waren sie invariant festgelegt. Entwurf und Konstruktion von Komponenten orientierten sich am Prinzip der Austauschbarkeit, also der Uniformität von Teilen. Damit war auch die Paßgenauigkeit aller Komponenten innerhalb des Endprodukts gewährleistet.

¹⁴ Vgl. zu den Ursprüngen und Strukturen des Systemdenkens in der Technik Ropohl (1979).

Mit der Konzeption von Systemen war nicht nur eine Voraussetzung für die rationelle Massenproduktion innerhalb eines Unternehmens geschaffen, sondern auch für die Arbeitsteilung zwischen unabhängigen Unternehmen. Die Spezialisierung auf, und der marktmäßige Tausch von Komponenten wurde möglich, setzte aber im Extremfall voraus, daß die Endprodukte über einen längeren Zeitraum unverändert blieben. Die Industriegeschichte zeigt, daß reine Marktkoordination zumindest lange Zeit die Ausnahme blieb¹⁵. In der industriellen Massenproduktion waren typischerweise Großunternehmen anzutreffen, die den gesamten Produktionsprozeß kontrollierten.¹⁶ Produkt- und Prozeßinnovationen hatten in der Regel inkrementalistischen Charakter und zielten auf die Beseitigung von Schwachstellen in Produktkomponenten oder technisch bedingten Engpässen in der Produktion.¹⁷

Das Systemdenken erlaubte es auch, einzelne Komponenten größerer technischer Apparaturen ihrerseits als aus Komponenten zusammengefügte (Unter-)Systeme zu betrachten (vgl. Laudan 1984). So erscheint der Motor eines Automobils als ein aus vielfältigen Komponenten bestehendes Untersystem des Fahrzeugs (vgl. Zemanek 1986). Der Motor stellt aber auch eine eigenständige Funktionseinheit dar, die als Antriebsaggregat in unterschiedlichen technischen Zusammenhängen verwendet werden kann. Bestimmte Varianten sind, wie für den Dieselmotor gezeigt wurde, denn auch im Schnittfeld von Dampfmaschine und Verbrennungsmotor entstanden.¹⁸

Das Beispiel des Motors verdeutlicht einen im Zusammenhang mit der Entwicklung modernerer technischer Systeme höherer Komplexität feststellbaren Trend, Komponenten als funktional eigenständige Module zu konzipieren.

15 Interessantes Anschauungsmaterial über die Wechselwirkung von Unternehmensvielfalt, Unternehmensgröße und überbetrieblicher Standardisierung liefert die Geschichte der amerikanischen Automobilindustrie (vgl. Thompson 1954).

16 Die Gründe hierfür sind vielfältig. So haben ursprünglich schon produktions- und meßtechnische Schwierigkeiten die multilaterale Herstellung paßgenauer Komponenten nahezu unmöglich gemacht (vgl. Guillet de Monthoux 1981: 129-154). Wichtiger sind unternehmensstrategische Gesichtspunkte einerseits und Transaktionskostenvorteile vertikaler Integration andererseits (vgl. Chandler 1977; Williamson 1975).

17 Diese "bottlenecks" (Rosenberg 1976) oder "reverse salients" (Hughes 1983) richteten die kognitive Aufmerksamkeit der Innovatoren aus. Wenn, folgt man Gilfillan (1970), die Verbesserung oder auch das Hinzufügen einzelner Komponenten im Sinne der Evolutionstheorie als Mutation einer Technik verstanden wird, so hat die bestehende festgekoppelte Struktur der Systeme den Bereich hinreichend wahrscheinlicher Mutationen sehr eng gemacht.

18 Knie (1991). Anders war es beim Wankelmotor, der offenbar von Anfang an als Antriebsaggregat für Automobile konzipiert wurde (vgl. Dierkes/ Knie 1989).

Sie sind, im Unterschied zu einfachen Komponenten, in ihrer Funktionsweise nicht mehr abhängig von einer konkret detaillierten Einbettung in ein System, sondern können auch in anderen Zusammenhängen arbeiten.¹⁹ Systeme lassen sich so prinzipiell "von den Modulen her" aufbauen, wodurch die marktmäßige Koordination erleichtert wird.

3.2 Probleme der Integration, der Kopplung und der Interoperation

Die Systemkonzeption von Technik bildet eine Ausgangsbasis für die ökonomisch rationalisierte und kognitiv zu bewältigende Entwicklung komplexerer größerer technischer Systeme. Man muß nicht alle Komponenten und Module neu erfinden oder neu konstruieren, wenn die Funktionalität eines technischen Systems erweitert und/oder das System vergrößert werden soll. Dies setzt aber voraus, daß Innovationen in das bereits Bestehende integrierbar sind. Welche Module oder Komponenten auf welche Weise mit anderen gekoppelt werden können, stellt insbesondere bei nachträglichen Erweiterungen ein erhebliches Informationsproblem dar. Es genügt nicht, bestimmte Teile als Komponenten eines Systems zu identifizieren, vielmehr müssen ihre Stellung und Aufgaben bestimmbar sein. Je mehr technische Komponenten in einem System zusammenarbeiten sollen, desto schwieriger werden Planung und Auslegung des Systems.

Als eine historisch noch relativ neue systematische Methode, diese Probleme zu lösen, kann die Spezifikation der internen Anordnung der Komponenten als Architektur eines Systems betrachtet werden. Im Wechselspiel von Analyse und Synthese werden Modelle konzipiert, die jeder Komponente einen bestimmten Platz innerhalb des Systems zuweisen. So entsteht architektonisches Wissen, "knowledge about the ways in which the components are integrated and linked together into a coherent whole", das sich deutlich vom "Komponentenwissen" unterscheiden läßt (Henderson/ Clark 1990: 11). Solange Architekturen lediglich zur Beschreibung konkreter Techniken dienten, waren auch sie selber wenig abstrakt. Ein Beispiel bei Henderson/ Clark verdeutlicht dies:

For example, a room fan's major components include the blade, the motor that drives it, the blade guard, the control system, and the mechanical housing.

¹⁹ Ist ein aus einfachen Komponenten zusammengesetztes System nicht mehr als die Summe seiner Teile, so sind in modular gestalteten Systemen Synergieeffekte möglich, die durchaus auch ein Risikopotential enthalten (vgl. auch Perrow 1984).

The overall architecture of the product lays out how the components will work together. Taken together, a fan's architecture and its components create a system for moving air ... (Henderson/ Clark 1990: 11).

Systemarchitekturen können produktspezifisch sein und als architektonisches Wissen in der Verfügung einer einzelnen Firma liegen, sie können aber auch firmen- oder branchenübergreifend entwickelt und verbreitet werden. Im letzteren Falle sind sie in der Regel abstrakter und beschreiben nur noch die relationale Zuordnung der Komponenten, ohne die einzelnen Komponenten sehr detailliert zu spezifizieren.²⁰ Architekturkonzepte haben vor allem dort an Bedeutung gewonnen, wo einzelne Systeme zu umfassenderen großtechnischen Systemen zusammengefaßt werden. Dies gilt für die elektronische Datenverarbeitung und mehr noch für die Telekommunikation. Die Architektur von Netzen kann unterschiedlich gestaltet werden. Neben technischen Optimierungskriterien, spielen ökonomische und im weitesten Sinne auch politische Faktoren eine Rolle.

Am Beispiel der Entwicklung des Telefonsystems in der Bundesrepublik soll nun skizzenartig gezeigt werden, wie technisch-kognitive Problemwahrnehmung, politisch-institutionelle Rahmenbedingungen und die historisch spezifische Konstellation von Akteuren und Interessen zu einem stark vergegenständlichten Entwurf einer Systemarchitektur geführt haben, der lange Zeit die Entwicklung des Systems geleitet hat.

3.3 Hierarchische Koordination, Einheitstechnik und Expansion des Telefonsystems

Nachdem im Zweiten Weltkrieg große Teile des deutschen Telefonsystems zerstört worden waren, bekam die Wiederherstellung einer zureichenden kommunikationstechnischen Infrastruktur frühzeitig hohe nationale Priorität. Die Verantwortung für den Wiederaufbau und die Zuständigkeit für den Betrieb des Netzes lagen bei der Deutschen Bundespost. Sie mußte sich mit den Herstellerfirmen von Telefontechnik koordinieren, die über bei der Post nicht vorhandenes technisches Wissen verfügten. Aus Gründen der Kapazitätsplanung und der technischen Gestaltung der zu produzierenden Komponenten hatten sie ein Interesse, auf die Ausgestaltung des Systems Einfluß

20 Eine ähnliche Unterscheidung, wenn auch aus etwas anderer Perspektive, nimmt Zemanek (1986: 108) vor, der darauf hinweist, daß sich für "ein einigermaßen komplexes System zwei oder mehr Architekturen: eine Gesamtarchitektur und Architekturen der Schnittstellen" unterscheiden lassen.

zu nehmen. Auf Einladung der Post beteiligten sich praktisch alle Herstellerfirmen an den Planungsarbeiten für das zukünftige Telefonnetz in den "Beratenden Technischen Ausschüssen für das Fernmeldewesen". Als zentrale Aufgabe wurde gesehen, eine langfristig tragfähige Architektur für das Telefonsystem festzulegen, dessen Wachstumschancen ebenso ungewiß waren wie die weitere Entwicklung zentraler technischer Komponenten des Systems. Gerade diese Unsicherheit förderte die Kooperationsbereitschaft im Projekt Telefonsystem. Ebenso wichtig war die formal dominante Stellung der Bundespost, die aufgrund ihrer Monopolrechte der einzige relevante Abnehmer für die Produkte der Industrie war. Somit waren Betrieb, Errichtung und Herstellung des Telefonsystems zwar nicht vertikal integriert, aber doch eng hierarchisch koordiniert.

Von den verschiedenen Optionen der architektonischen Gestaltung des Telefonsystems wurde schließlich eine hierarchische Netzkonzeption ausgewählt, die vier jeweils in Form von Sternnetzen aufgebaute Netzebenen (vom Ortsnetz bis zum Fernnetz) unterschied.²¹ Die hierarchische Architektur galt als brauchbarste organisatorische Lösung der für die Zukunft ins Auge gefaßten vollautomatischen Vermittlung (Durchschaltung) aller Telefongespräche mit wenig intelligenten elektromechanischen Vermittlungseinrichtungen.

Die Systemarchitektur legte den Rahmen fest, innerhalb dessen mit Aussicht auf Erfolg technische Komponenten entwickelt und produziert werden konnten. Nicht jede in die Architektur "passende" Innovation wurde schließlich auch eingesetzt. Die Selektion erfolgte allerdings innerhalb des skizzierten Akteursets, in das Umwelteinflüsse im Sinne der Evolutionstheorie nur vielfach vermittelt und systematisch kaum noch zurechenbar hineinspielen. In dem Akteurset waren (national)politische Rücksichten ebenso von Bedeutung wie technische und betriebliche Traditionen im deutschen Fernmeldewesen oder die ökonomische Dominanz einzelner Hersteller wie Siemens. Der hierarchische Koordinationsmodus gepaart mit quasi-klientelistischen Geschäftsbeziehungen der Bundespost zu den Lieferfirmen ermöglichte eine detaillierte technische Spezifikation aller Komponenten der Telefonarchitektur. So gab es eine Vielzahl unterschiedlich spezifizierter Vermittlungseinrichtungen, ausgerichtet auf die konkrete Stellung und Aufgabe innerhalb der Systemarchitektur.

21 Vgl. hierzu und zu den folgenden Ausführungen Werle (1990: 41-123). Zur Präferenz für hierarchische Architekturen im Prozeß technischer Problemlösung vgl. Clark (1985).

Die Architektur des Telefonsystems mit den verschiedenen Netzebenen, den je nach konkreter Aufgabe im Netz verschiedenen vermittlungstechnischen Einrichtungen sowie den Endgeräten, war insgesamt wenig abstrakt. Sie war monofunktional auf Sprachkommunikation ausgerichtet. Die Vergegenständlichung der Architektur fand in dem Prinzip der Geräteeinheitstechnik ihren Ausdruck. Dieses für die Vermittlungstechnik skizzierte Prinzip bedeutete nicht Standardisierung, sondern totale Uniformisierung der Netzkomponenten. Durch die Vereinheitlichung waren nur jeweils sehr kleine Innovationsschritte möglich. Verbesserungen bereits existierender Komponenten hatten jeweils deutlich bessere Chancen als wirklich neue Techniken, für die die rigide Architektur keinen Platz vorsah. Aus der Sicht der Bundespost hatte die Vereinheitlichung des Netzes betriebliche Vorteile, da das technische Personal mit in der Regel vertrauten Techniken umgehen konnte. Die Herstellerfirmen konnten die Techniken in großer Stückzahl kostengünstig produzieren, und sie waren aufgrund ihrer Kenntnis aller Teile der Systemarchitektur potentiellen "externen" Konkurrenten überlegen.

Erst durch die äußerst stark steigenden Teilnehmerzahlen in den 70er Jahren gerieten die bewährten Architekturprinzipien des Telefonnetzes unter Druck. Die Unterteilung des Netzes in vier Ebenen wurde mit der Einrichtung sog. Querverbindungen innerhalb und zwischen den Ebenen de facto hinfällig. Der klassische Weg, jedes Ferngespräch zunächst auf die höchste Netzebene zu leiten und von dort über eine eindeutig definierte Route ohne Alternative zum Zielort weiter zu befördern, erforderte zwar keine intelligente Vermittlungstechnik, war aber unwirtschaftlich und technisch ineffizient, wenn direktere Verbindungen gerade in benachbarten Ortsnetzen möglich waren. Die systematische Integration solcher Optionen in die vorhandene Netzarchitektur mit der Modifikation der Linienführung durch Querverbindungen erforderte vermittlungstechnische Einrichtungen, die selbständig zwischen unterschiedlichen möglichen Verbindungen auswählen konnten. Dazu mußten die Geräte in die Lage versetzt werden, Informationen zu speichern und auszuwerten. Sie mußten also eine gewisse Intelligenz aufweisen.

Die quantitative Vergrößerung des Telefonnetzes führte zwar zu den skizzierten architektonischen Modifikationen, die übrigen Elemente der Architektur und die monofunktionale Ausrichtung des Netzes auf Sprachkommunikation blieben aber unverändert. Die Bereitschaft der Akteure, die in den 70er Jahren einsetzende Mitbenutzung des Telefonnetzes für Datenkommunikation zum Anlaß für weitergehende architektonische Innovationen zu nehmen, war nur sehr schwach ausgeprägt. Die stark vergegenständlichte Architektur des Telefonsystems blieb der zentrale kognitive Orientierungsrahmen, innerhalb dessen sich Innovationen entfalten sollten.

Die Tendenz der Akteure, die Suche nach Innovationen als "standard operating procedure" innerhalb des gewachsenen kognitiven Rahmens zu gestalten, wurde durch die neuen Probleme des größer werdenden Telefonnetzes noch verstärkt. Um intelligente (programmgesteuerte) Vermittlungssysteme zu entwickeln, mit denen die systematische Integration modifizierter Linienführung in die Netzarchitektur möglich war, schlossen sich die vier Hersteller von Vermittlungstechnik zu einer Entwicklungsgemeinschaft zusammen, die eng mit der Bundespost kooperierte.²² Neue Akteure ("Außenseiter") waren in diesem Club nicht zugelassen und der Restbestand an Konkurrenz zwischen den Herstellern wurde zumindest für die Dauer des Projekts eliminiert. Das Entwicklungsprojekt scheiterte schließlich und wurde Ende der 70er Jahre aufgegeben. Von den verschiedenen Ursachen hierfür soll im folgenden nur die Rolle der Architektur des Telefonsystems näher betrachtet werden (vgl. Werle 1990).

3.4 Interfaces, Kompatibilität und technische Standards

Die mit der Architektur des Telefonnetzes fest verwobene Vorstellung einheitstechnischer Lösungen wurde bei der Entwicklung des neuen Vermittlungssystems nicht aufgegeben. Das Ziel der vollständigen Integration neuer Vermittlungssysteme in diese gewachsene Architektur hatte zu Folge, daß deren interne Problembearbeitungsstruktur nicht unabhängig von der konkreten technischen Umgebung gestaltet werden konnte. Das Bestehende sollte durch das Neue möglichst wenig geändert werden müssen.

Programmgesteuerte Vermittlungseinrichtungen haben in Bezug auf die Speicherung und Verarbeitung von Informationen die Eigenschaft von Computern. Im Gegensatz zu den klassischen Computern, die vor allem komplizierte Berechnungen durchführen sollten, müssen Vermittlungscomputer in kürzester Zeit eine Vielzahl von Schaltungen (Vermittlungen) ermöglichen. Dies setzt voraus, daß Informationen über den Belegungszustand der Leitungen im Netz ständig aktualisiert werden und unmittelbar verfügbar sein müssen. Ohne speziell entwickelte Software lassen sich die Aufgaben nicht erfüllen. Wollte man nicht den Computer neu erfinden, so mußte die erforderliche Hardware, insbesondere aber die Software in eine Architektur passen, die für Datenverarbeitungsanlagen konzipiert war.

22 Zur Tendenz, bei riskanten Entwicklungsprojekten zu kooperieren, vgl. Butler/Carney (1986). Zur Tendenz, neue Probleme im Rahmen der konventionellen Vorstellungen und der gewachsenen technischen "Communities" zu lösen, vgl. Constant (1984).

Programmgesteuerte Vermittlungssysteme liegen also im Schnittfeld von Datenverarbeitung und Telekommunikation. Für ihre Entwicklung ist architektonisches Wissen aus beiden Bereichen erforderlich. Dieses war bei den Akteuren, die an der Entwicklung der Vermittlungssysteme arbeiteten, nicht gleichermaßen vorhanden. Die meisten waren Telekommunikationsspezialisten. Sie übernahmen relativ bereitwillig die ihnen ohnehin vertrauten architektonischen Spezifikationen, die von der Bundespost vorgegeben wurden. Zwar gelang schließlich die Entwicklung eines Vermittlungssystems für die Ortsnetze, doch konnten die erreichten Lösungen nicht stabilisiert werden, da sie - zu sehr der Telefonarchitektur verhaftet - dem raschen Innovationsstempo bei Computern nicht angepaßt waren.

Der kollektiven schmerzhaften Einsicht, eine falsche Entwicklungskonzeption verfolgt zu haben, folgte die Abwendung von der Geräteeinheitstechnik als einem architektonischen Basisprinzip des Telefonsystems. Speziell die Bundespost wollte sich von dem überkommenen Prinzip jedoch nicht gänzlich trennen und propagierte für die Zukunft anstelle der Geräteeinheitstechnik hardwareorientiert die "funktionale Einheitstechnik" und softwareorientiert die "Technik mit einheitlichen Schnittstellen". Die Definitionen der Begriffe zeigen jedoch einen deutlichen Wandel der Perspektive auf Systemarchitekturen an.

Funktionale Einheitstechnik ist ein relativ geringer Standardisierungsgrad. Es genügt hier, wenn die großen Funktionseinheiten des Systems, z.B. die Steuerungseinheiten von Rechner-Vermittlungs-Systemen verschiedener Hersteller, gegeneinander austauschbar sind. Hier bestehen für die entwickelnden Firmen also erhebliche Gestaltungsspielräume. ... Bei der 'Technik mit Einheitsschnittstellen' sind - außer für die äußeren Schnittstellen des Systems wie Schaltkennzeichen, Pegel, Frequenzschema usw. - keine normenden technischen Systemvorgaben vorhanden. Dem Gestaltungsspielraum sind fast keine Grenzen gesetzt (Ueckert 1981: 176).

Sozial bedeutete der Übergang zur funktionalen Einheitstechnik die Aufgabe der sehr eng geführten hierarchischen Koordination der Telekommunikation. Damit sanken die Barrieren für den Eintritt neuer Akteure in den Sektor. Technisch rückte eine Betrachtungsweise der Komponenten und Module eines Systems in den Vordergrund, die sich statt auf die Gesamtheit ihrer spezifischen Eigenschaften und Merkmale nur noch auf die relationalen Spezifikationen der Module und Komponenten konzentrierte. Was gesichert werden sollte, war deren Kompatibilität in einem architektonisch spezifizierten Systemzusammenhang, nicht jedoch totale Uniformität. Die hierzu erforderlichen Spezifikationen werden auch Kompatibilitätsstandards genannt.

4 Großtechnische Systemzusammenhänge und die Entwicklung von Standards

Die auch nach dem geschilderten Wandel der Vereinheitlichungsstrategie noch weitgehende Materialität der Architektur des Telefonnetzes hängt eng mit den traditionell hierarchischen Kontrollstrukturen in der Telekommunikation zusammen. Hiervon abgeleitet ist die nationalstaatlich beschränkte Geltung von Architekturen. Eine die Grenzen überschreitende hegemoniale Erweiterung eines Netzes unter Beibehaltung seiner Architektur war in der in jeweils nationale Domänen aufgeteilten Welt der Telekommunikation unmöglich. Jedoch hatten die Hersteller von Netztechnik ein Interesse an supranationaler Vereinheitlichung, denn wenn die im eigenen Lande festgelegten Schnittstellenbedingungen von anderen Ländern übernommen wurden, erhöhte dies die Exportchancen. Für die Netzbetreiber bedeuteten einheitliche Schnittstellen zudem die Möglichkeit, das internationale Telefonnetz kostengünstig zu gestalten. Hierzu mußten nationale Telefonsysteme aber als Teile einer globalen Architektur konzeptualisiert, mußten national begrenzte Schnittstellenspezifikationen in internationale Kompatibilitätsstandards überführt werden.

Kompatibilitätsstandards werden international, wie auch auf regionaler oder nationaler Ebene, von den interessierten Akteuren (z.B. Entwicklungs- und Herstellerfirmen, Anwender, Fernmeldeverwaltungen (PTTs)) gemeinsam erarbeitet. Die Teilnahme ist grundsätzlich freiwillig, ebenso wie die Anwendung des letztlich in der Regel einstimmig beschlossenen Standards (Schmidt/ Werle 1992). Hintergrund der Kooperation oft konkurrierender Firmen ist die für größere technische Systeme konstitutive Komplementarität der einzelnen Komponenten. Damit diese auch zusammenarbeiten können, wenn sie von verschiedenen Unternehmen produziert oder angewandt werden, muß zumindest die Kompatibilität ihrer Schnittstellen sichergestellt werden. Wenn es kein hierarchisch konzeptualisiertes und kontrolliertes Welttelefonsystem gibt und wenn technische Spezifikationen auch nicht von einem dominanten Hegemon durchgesetzt werden, können also in Verhandlungssystemen die Grundlagen für die gemeinsame Festlegung der relationalen Eigenschaften einzelner Systemkomponenten geschaffen werden (Genschel/ Werle 1992).

Im folgenden soll nun gezeigt werden, wie analog zur Einordnung von materiellen Artefakten in eine umfassendere Systemarchitektur sich auch für Standards selbst generelle Ordnungsvorstellungen herausbilden. Denn mit der wachsenden Anzahl relevanter Standards entstehen Informations-, Klassifikations- und Systematisierungsprobleme, die mit Hilfe von Referenzsystemen

bzw. Architekturkonzepten bearbeitet werden können. Im Zuge der Entwicklung komplexerer technischer Systeme werden Standards dann nicht mehr nur auf die Kopplung/Schnittstelle zweier Komponenten, sondern gleichzeitig auch auf ein Gesamtsystem von Standards bezogen, innerhalb dessen sie einen von diesem spezifizierten Platz einnehmen. Durch diese Einbettung in ein architektonisches Modell gelingt es, den in den rein relationalen Eigenschaften von Standards ausgeblendeten Gesamtzusammenhang konsistent zu halten. Damit wirkt die Standardarchitektur auf die Standards selbst wieder zurück.

4.1 Standardarchitekturen und Referenzmodelle

Im Telefonsystem hat sich neben der materiellen Systemarchitektur nur allmählich eine abstrakte Standardarchitektur herausgebildet. Erst mit dem Wandel von nationalen Telefonnetzen zum internationalen multifunktionalen Telekommunikationsnetz und der - besonders durch die Liberalisierung - heterogener werdenden Konstellation relevanter Akteure vollzieht sich der Übergang. Wir werden deshalb zunächst auf die Computertechnik eingehen, in der sich Standardarchitekturen früher herausgebildet haben. Diese waren zunächst noch herstellergebunden (proprietär), und erst mit dem beginnenden Zusammenwachsen mit der Telekommunikation erfolgte langsam der Übergang zu einer allgemeinen, die einzelnen Architekturen umfassenden, offenen Standardarchitektur.

Im Gegensatz zur Telekommunikation war der Computerbereich niemals politisch reguliert, was allerdings nicht bedeutet, daß dort der Wettbewerb besonders intensiv war. Neben IBM, das bereits 1956 einen Marktanteil von 75% erlangt hatte, waren nur wenige Hersteller auf dem von Mainframe-Computern bestimmten Markt präsent (Brock 1986: 242). Der Weltmarkt, lange Zeit fast deckungsgleich mit dem US-Markt, war von sehr hohen Zutrittsbarrieren gekennzeichnet. Grundsätzlich wurden, in der Regel auf Mietbasis, ganze Systeme angeboten, die sämtlich herstellerspezifisch ausgerichtet und zueinander inkompatibel waren. Damit konnten also Komponenten verschiedener Hersteller nicht im Sinne des "mix and match" zu einem Computersystem zusammengefügt werden. Die Entscheidung für ein Computersystem hatte die Bedeutung einer langfristigen Investition.

Gerade in den Anfängen war der Computermarkt also stark vom "lock in" der Kunden in herstellerspezifische Systeme geprägt. Dabei wurde selbst Kompatibilität zwischen einander ablösenden Computersystemen oder für

einfache Erweiterungen eines Systems nicht immer gewährleistet.²³ Die hieraus resultierende Inflexibilität wurde insbesondere mit dem zunehmenden Wachstum und der Differenzierung des Computermarktes seit den 70er Jahren zum Problem. Denn nun wurde Kommunikation in aus verschiedenen (Teil-)Systemen bestehenden Computernetzen mit verteilter Intelligenz zu einem Faktor. Anders als zu Zeiten einfach vernetzter Systeme konnte hier nun nicht mehr die interne hierarchische Architektur eines zentralen Mainframe Rechners die geordnete Funktion des Gesamtsystems gewährleisten.

Ähnlich wie beim Größenwachstum der Telefonnetze war auch im Computerbereich festzustellen, daß die Hersteller keine Lösungen für diese neuen Probleme zur Hand hatten. Speziell vernetzte Systeme wurden zumeist in den Anwenderfirmen oder in deren Auftrag individuell erarbeitet. Im kleineren Rahmen übernahmen network manager in Firmen so die Rolle von "system builders" (Hughes 1987). Damit war anfänglich, ähnlich wie in der Telekommunikation, der Systemzusammenhang materiell vermittelt. Anders als dort resultierte wegen der fehlenden hierarchischen Kontrolle und der Vielzahl heterogener dezentraler Netze daraus jedoch kein (national) übergreifender, einheitlicher Gesamtzusammenhang.

Es gab also weder einheitliche Topographien noch allgemein verbreitete Kommunikationsprotokolle für die Computernetze. Die Architekturen waren sehr spezifisch konfiguriert und dienten dazu, konkret existierende Rechner nach individuell bestimmten Kriterien zu einem funktionalen Computernetz zu verbinden. Solche Lösungen sind jedoch langfristig noch unflexibler als die vorherigen auf proprietäre stand-alone Mainframes ausgerichteten Netze verteilter Nutzung. Denn die bei der Zusammenschaltung funktional eigenständiger Untersysteme möglichen Synergieeffekte stellen auch ein Risikopotential dar. Nachträgliche Funktionserweiterungen, aber auch einfache Verbesserungen gefährden aufgrund dieser Unsicherheit über Interdepen-

23 Die Einführung des Systems 360 von IBM Mitte der sechziger Jahre, das verschiedene inkompatible Computersysteme ablöste, war eine wichtige Neuerung herstellerner Standardisierung. Sie ist ein gutes Beispiel für die Bedeutung strategisch handelnder Akteure in der Entwicklung technischer Systeme. Die standardisierten Schnittstellen des Systems 360 erlaubten nicht nur die flexible Konfiguration verschiedener IBM Module, sondern auch ein von IBM unabhängiges Angebot einzelner Module, d.h. es entwickelte sich ein bis dahin unbekannter Markt für Module. IBM nahm diese "Evolution" in Richtung von unfreiwillig von ihm bereitgestellten Standards für den Computermarkt jedoch keineswegs einfach hin. Stattdessen lockerte IBM die erreichte Standardisierung und begann zuvor standardisierte Interfaces zu ändern, um sich der lästigen Konkurrenz zu entledigen, obwohl dieser Verzicht auf die internen Vorteile größerer Vereinheitlichung und modularer Konstruktion auch für IBM selbst nachteilig war (Brock 1975).

denz- und Rückwirkungseffekte das für ein spezielles Computernetz generierte architektonische Wissen und damit das erreichte Optimum.

Von den Nachteilen individuell gestalteter vergegenständlichter Architekturen, waren nicht nur die Benutzer, sondern auch die Hersteller betroffen, von denen zumindest erwartet wurde, daß ihre verschiedenen Computer untereinander vernetzbar waren. Auf die nicht nur sequentielle, sondern simultane Interoperabilität zwischen verschiedenen (inkompatiblen) Produktserien und Systemen waren die Hersteller aber nicht vorbereitet. So klagte in der zweiten Hälfte der 70er Jahre ein IBM-Manager:

Today's proliferation of data communications software, data link protocols, and general purpose terminals reflects the hectic and widespread search for ad hoc solutions which has characterised data communications since its infancy ... consequent sharply rising expenses can discourage an organization from extending its data communications into new areas (zitiert in: MacDonald 1977: I-2).

Unter diesen Bedingungen erschien der Versuch zweckmäßig, einen übergreifenden, logisch kohärenten Rahmen für alle notwendigen Spezifikationen zu schaffen. Es entstanden herstellerinterne Architekturkonzepte für Datenkommunikation, die unabhängig von konkreten Netzkonfigurationen Anforderungen an die physikalischen Eigenschaften, Adressen, Formate, Codes, Signale usw. in Form eines Satzes von Kommunikationsprotokollen allgemein und systematisch geordnet festlegten. 1974 wurde System Network Architecture (SNA) von IBM als erste proprietäre Kommunikationsarchitektur eingeführt (Schulz 1989). Die Systematisierung und Vereinheitlichung der technischen Spezifikationen bestehender und zukünftiger Produkte durch SNA realisiert innerorganisatorische Rationalisierungseffekte durch die Vorteile weitergehender Modularität und den Ersatz von ad hoc Lösungen für Kommunikationsverbindungen durch einheitliche, langfristig tragfähige Festlegungen. Gleichzeitig kann die Bindung der Kunden an die eigenen Produkte stabilisiert und durch die Flexibilität der Architektur die langfristige Planungssicherheit aller Beteiligten deutlich erhöht werden.

Die zentrale Bedeutung von Standardarchitekturen für die langfristige Unternehmensstrategie ist auch daran abzulesen, daß recht bald andere Hersteller ebenfalls eigene Architekturen entwickelten. Diese sind funktional fast äquivalent und im Aufbau ähnlich. Da es keine ingenieurwissenschaftlich begründbare systemunspezifische "beste" Lösung gibt, reflektieren die Unterschiede zwischen den Architekturen eher spezifische Unternehmenstraditionen, sind aber auch das Ergebnis kompetitiver Marktabgrenzung. Zumindest waren keine aktiven Koordinationsbemühungen der Hersteller in Richtung auf eine einheitliche Lösung feststellbar. Gemeinsam ist allen Architektur-

modellen, daß sie aus unterschiedlichen Schichten bestehen, die hierarchisch angeordnet sind. Die verschiedenen, für die Kommunikation notwendigen Funktionen (z.B. Protokollkonversion, Adressierung, Übertragung, Vermittlung) sind in Gruppen ähnlicher Funktionen zusammengefaßt, die jeweils eine Schicht bilden.

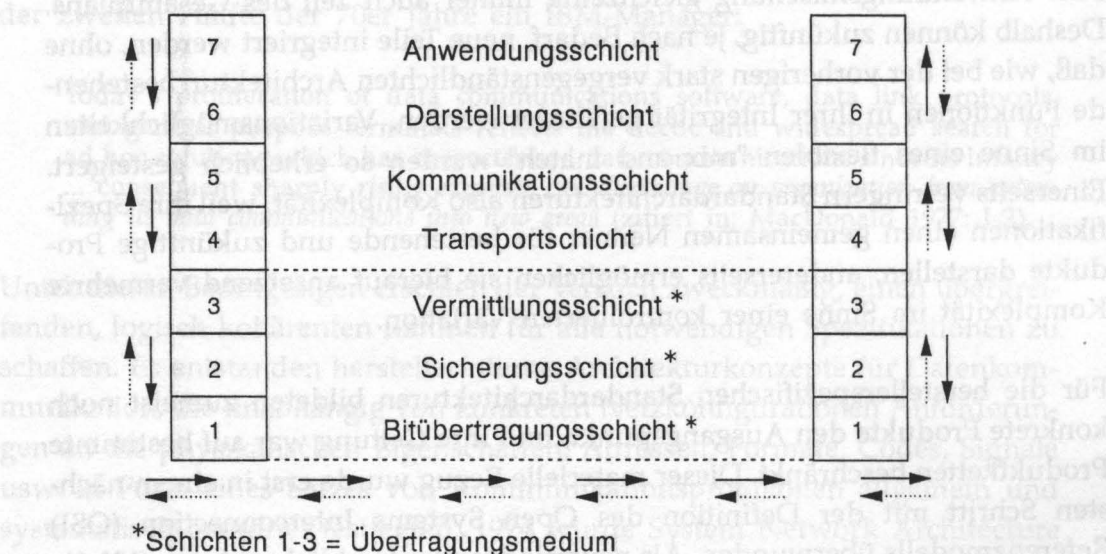
Indem alle Produkte in ihren technischen Spezifikationen diese Prinzipien der übergeordneten abstrakten Standardarchitektur beachten, ist jede spezifische Anwendungsmischung gleichzeitig immer auch Teil des Gesamtplans. Deshalb können zukünftig, je nach Bedarf, neue Teile integriert werden, ohne daß, wie bei der vorherigen stark vergegenständlichten Architektur, bestehende Funktionen in ihrer Integrität gefährdet werden. Variationsmöglichkeiten im Sinne eines flexiblen "mix and match" werden so erheblich gesteigert. Einerseits verringern Standardarchitekturen also Komplexität, weil ihre Spezifikationen einen gemeinsamen Nenner für bestehende und zukünftige Produkte darstellen, andererseits ermöglichen sie hierauf ansetzend vermehrte Komplexität im Sinne einer kontrollierten Variation.

Für die herstellerspezifischen Standardarchitekturen bildeten zumeist noch konkrete Produkte den Ausgangspunkt, und ihre Geltung war auf bestimmte Produktketten beschränkt. Dieser materielle Bezug wurde erst in einem nächsten Schritt mit der Definition des Open Systems Interconnection (OSI) Referenzmodells überwunden. Als neutrale Standardarchitektur kann OSI die proprietären Architekturen ersetzen, bzw. zumindest zwischen ihnen Übersetzungsleistungen erbringen. Die damit mögliche herstellerübergreifende Interoperabilität ist gerade für die Konkurrenten von IBM attraktiv, da sie mit ihren Architekturen nur eine Zersplitterung ihres ohnehin nicht allzu großen gemeinsamen Marktsegments bewirkt hatten.

Die konkrete Arbeit am Open Systems Interconnection Modell begann 1977 in der International Standardization Organization (ISO), der u.a. für Bürosysteme und damit auch für Computer zuständigen Standardisierungsorganisation. Mit dem CCITT wirkte auch die für Telekommunikationsstandards relevante internationale Organisation relativ früh an der Definition des OSI Referenzmodells mit (Staudinger 1981). Ein Ursprung dieser Arbeiten kann in dem COST 11 Programm der Europäischen Gemeinschaft Anfang der 70er Jahre gesehen werden, das die Entwicklung und Implementation des Europäischen Informations Netzwerks (EIN) zum Ziel hatte (Dang Nguyen 1989: 8). Erst etwas später verlieh wachsende politische Unterstützung durch nationale Regierungen und die EG Kommission der Bewegung in Richtung auf eine offene Standardarchitektur größeres Gewicht. Und viele der mit IBM konkurrierenden Computerhersteller erkannten die strategischen Vorteile, die

der Zusammenschluß hinter offenen Systemen ihnen bot. Bei OSI verband sich also die Suche nach einer hinreichend abstrakten offenen Standardarchitektur mit industriepolitischen Zielsetzungen und dem kollektiven Versuch der Konkurrenten von IBM, durch gemeinsame Standardisierung aus dem Schatten des Marktführers zu treten.

Abb. 1: Kommunikationsaufbau im OSI-Schichtenmodell



Die Arbeit wurde von Beginn an durch 10 abstrakte Prinzipien strukturiert,²⁴ woraus sich eine Gesamtmenge von 7 Schichten ergab. Wie sieht nun Kommunikation nach diesem Modell aus? Prinzipiell werden, wie die Abbildung zeigt, in einem hierarchisch geordneten Prozeß Informationen nur an jeweils benachbarte Schichten weitergegeben. Jede Schicht benutzt die Dienste der unter ihr liegenden Schicht, addiert ihre eigene Funktion und gibt dieses Paket an die ihr übergeordnete Schicht ab. Die Funktion jeder Schicht, wie des Gesamtmodells insgesamt, beruht dabei einzig auf dem Austausch von festgelegten Protokollen. Durch die Konzentration auf Protokollfestlegungen bleibt die herstellerepezifische Produktgestaltung unberührt. Der hierarchische Aufbau der Architektur ermöglicht als Ordnungsprinzip die systemati-

24 Gleichzeitig durfte die neue Architektur auch nicht einer bestehenden proprietären Architektur zu ähnlich sein. Denn schließlich: "In fact, it has often been said that a standard must be equally unfair to all parties!" (Knowles et al. 1987: 10).

sche Untergliederung komplexer Sachverhalte in zusammenhängende kleinere Teilbereiche mit dem Ziel, Komplexität bearbeitbar zu machen (vgl. Simon 1962). Hier ist also keine Über- und Unterordnung impliziert, denn alle Schichten sind für die Kommunikation gleich zentral und somit gleichwertig, da jegliches Wegfallen von Funktionalität die Kommunikationsbeziehung unterbricht. Die vertikale Anordnung erlaubt vielmehr weitestmögliche Modularität, denn Interaktionsbeziehungen zwischen Schichten werden minimiert (Passmore 1985: 104). Letztendlich ermöglicht die Zusammenfassung von ähnlichen Funktionen und die auf Protokolle reduzierten und in der Anzahl minimierten Interaktionsbeziehungen, die interdependenten Komponenten nur lose zu koppeln.

Damit bekommt OSI eine Doppelfunktion. Es schafft als Architektur den in der rein relationalen Ausrichtung von Standards ausgeblendeten Gesamtzusammenhang, wobei die Herstellerneutralität es erlaubt, die durch firmenspezifische Architekturen geschaffene Komplexität noch einmal zu steigern. Als Referenzsystem stellt OSI zudem einen Orientierungsrahmen dar, mit dessen Hilfe die Funktionalität von Standards in einem technischen Gesamtsystem beurteilt werden kann. Die Koordination der Entwicklung großer technischer Systeme wird also auf eine höhere Abstraktionsebene gehoben: Denn nun werden nicht mehr nur Optionen für Techniken danach ausgewählt, inwieweit sie festgelegten Standards entsprechen, sondern nun werden Optionen für Standards auch danach bewertet, inwieweit sie sich in das umfassende Referenzsystem integrieren lassen. Damit liefert die Standardarchitektur einen umfassenden, gleichzeitig hinreichend flexiblen Plan für die weitere Entwicklung technischer Systeme.

4.2 Die Entstehung von Standards im Kontext von kognitiven und materiellen Systemzusammenhängen

Mit der Definition und Akzeptanz von OSI als Orientierungsrahmen für die koordinierte technische Entwicklung ist ein kognitiver Rahmen gesetzt, der Kriterien für die Brauchbarkeit von Standardisierungsvorschlägen enthält. Zugleich sind konkrete Funktionsbereiche vorgegeben, für die Standards benötigt werden, wenn die Entwicklung des technischen Systems auf dem von der Architektur bezeichneten Pfad erfolgen soll. Damit wird es möglich, Standards frühzeitig festzulegen. Allgemeine Kriterien für eine solche ex ante Standardisierung enthält das Architekturmodell. Informations- und Koordinationskosten der Standardisierung werden reduziert. Dies ist im Zuge der Konvergenz von Telekommunikation und EDV besonders wichtig, da der Kreis

der an der Standardisierung interessierten Akteure deutlich größer und heterogener geworden ist. Weniger als vorher haben einzelne relativ mächtige Unternehmen die Potenz, einseitig weite Bereiche der Standardisierung gemäß ihrer Interessen zu beeinflussen.

Auch wenn sich mit ISO und CCITT die beiden weltweit wichtigsten Standardisierungsorganisationen auf OSI festgelegt haben, verläuft der Übergang von den stark vergegenständlichten Architekturen der klassischen Telekommunikationsnetze und den zwar abstrakteren, aber rein proprietären Architekturen im Computerbereich zur OSI-Architektur keineswegs reibungslos oder zwangsläufig. Denn mit der Implementation dieser Architektur geht eine teilweise Re-Definition und Adaption der an anderen Architekturen ausgerichteten technischen Systeme einher. Dies berührt konkrete wirtschaftliche Interessen. Die proprietäre Kontrolle der Hersteller über die Nutzung und Ausgestaltung von Systemen wird geschwächt und vorher sichere Marktsegmente können verloren gehen. Für Anwender entsteht die Gefahr, getätigte Investitionen noch vor ihrer Amortisation nicht mehr nutzen zu können.

Zahlreiche Beispiele aus der Telekommunikation verdeutlichen, daß der Wechsel von vertrauten stärker vergegenständlichten Architekturen zu dem abstrakten und offeneren OSI technisch vielleicht "logisch" und kollektiv im Prinzip auch erwünscht, in jedem Einzelfall aber unsicher und umstritten sein kann. So müssen bestehende Standards teilweise modifiziert werden, damit sie in die OSI-Architektur integriert werden können. Ein Beispiel ist hier X.25, ein Transportstandard für paketvermittelte Datenkommunikation, der erstmalig 1976 vom CCITT festgelegt wurde, noch bevor die OSI Arbeiten offiziell begonnen hatten. Später wurde X.25 jedoch so modifiziert, daß er als Standard in die unteren drei OSI Schichten integriert werden konnte. Die Vorstellung offener Kommunikation mit Hilfe einer konsistenten Standardarchitektur trägt aber auch dazu bei, daß vollkommen neue Standardisierungsprojekte initiiert werden. X.400, der in Kooperation zwischen ISO und CCITT entstandene Standard für globale Message-Handling Systeme ist ein Beispiel hierfür. X.400 tritt an den Platz diverser inkompatibler Systeme, die er mit Konversionstabellen kompatibilisiert. Der Standard bietet zudem zusätzliche Funktionalität in Richtung auf ein an der Briefpost orientiertes weltweites Electronic Mail System. Hier konnten nach der Festlegung der Standardisierungsziele die einzelnen zu standardisierenden Bereiche direkt aus OSI abgeleitet werden. Im Kontext des OSI-Referenzrahmens waren für das X.400 Projekt zwar mehrere Optionen offen, aber die Varianz war gezielt in eine bestimmte Richtung gelenkt.

Ein aktueller Konflikt um die Standardisierung von Telefax liefert ein Beispiel für die Konflikthaftigkeit des Übergangs zu OSI in vielen Einzelfällen. Dieser Telekommunikationsdienst hat sich seit der Standardisierung der "Gruppe 3"-Geräte sehr erfolgreich in der gewachsenen vergegenständlichten Architektur des Telefonsystems entwickelt. Die im Rahmen des Telefonnetzes möglichen Standards und Spezifikationen reflektieren diese Architektur.²⁵ Mit der insbesondere von einigen mächtigen PTTs mit Nachdruck betriebenen Einführung eines diensteintegrierenden digitalen Telekommunikationsnetzes (ISDN) soll das Telefonnetz in seinen Grundstrukturen deutlich geändert und in seiner Architektur den Prinzipien von OSI zumindest angenähert werden. Für Telefax bedeutet dies, daß neue Dienstelemente und andere technische Verfahren verlangt werden. Ein Standard hierfür ("Gruppe 4") wurde bereits 1984 vom CCITT verabschiedet.²⁶

Der Übergang auf den neuen Standard ist mit einigen Kosten verbunden. Verglichen mit den "Gruppe 3"-Terminals sind "Gruppe 4"-Geräte wesentlich komplizierter, beziehen sie sich doch auf eine ganz andere Umwelt: Anstelle des eindeutigen Fax-Dienstverbundes ist nun nicht mehr von vornherein determiniert, ob die abgesandte Nachricht an ein Faxgerät oder beispielsweise ein Teletexgerät oder aber direkt an einen Computer adressiert ist. Diese Flexibilität erfordert allerdings entsprechend detailliertere Spezifikationen. Diese Kosten fallen umso schwerer ins Gewicht, als auch in der alten Telefonarchitektur ein verbesserter, insbesondere schnellerer Telefaxdienst realisiert werden kann, sobald das Netz digitalisiert ist. Denn auch die "Gruppe 3"-Geräte arbeiten auf digitaler Basis und können mit dem Zusatz einiger (standardisierter) Protokolle in digitalen Netzen benutzbar werden.

Ein Vorschlag für einen in diesem Sinne modifizierten "Gruppe 3"-Standard ("3 bis") wurde in der laufenden Studienperiode des CCITT eingebracht. Die Auseinandersetzung um diesen Standard bedeutet indirekt auch einen Kampf um verschiedene Architekturmodelle. Aus der Perspektive der Integration unterschiedlicher Netze und Dienste bietet OSI ein kognitives Gerüst auch für die zukunfts offene Möglichkeit technischer Weiterentwicklungen. Mit der

25 Input und Output der Geräte sind prinzipiell papiergebunden und damit schlecht in andere Arbeitsgänge integrierbar. Ebenso wenig läßt es das verwendete Abtast- und Codierungsverfahren zu, daß ein an das Gerät geschalteter Computer das hard-copy Format umgeht. Diese eindeutig spezialisierte Ausgestaltung erlaubt dann auch keine Diensteübergänge, bzw. keine Kommunikation zwischen Terminals verschiedener Dienste im mixed-mode Betrieb.

26 Hierin sind Multifunktionsterminals wie auch der mixed-mode Betrieb einbezogen, womit dieser Dienst für den Computerbereich anschußfähig wird.

"Gruppe 4" ist bereits ein Faxstandard für das OSI-orientierte ISDN spezifiziert. Dagegen ermöglicht der Gruppe "3 bis"-Standard (digital) eine Fortschreibung des im konventionellen Telefonnetz etablierten Dienstkonzepts, das durch die erfolgreiche Verbreitung bereits bestätigt ist. Ein Übergang zu OSI wird erleichtert, wenn innerhalb der alten Architektur möglichst keine verbesserten Standards mehr entstehen. Insbesondere solche Akteure, die in ihren Zukunftsplanungen auf ISDN setzen, lehnen den "3 bis"-Standard ab. Hingegen argumentieren die Befürworter eher pragmatisch mit den in der gewachsenen Architektur liegenden, wenn auch begrenzten, Verbesserungsmöglichkeiten, die kurzfristig zur Verfügung stehen. Zusammen mit anderen Faktoren leitet also die Verpflichtung gegenüber verschiedenen Architekturen die konkrete Entscheidungen über einen Standard.

5 Koordination technischer Evolution durch Standards

Vorwiegend am Beispiel der Kommunikations- und Informationstechniken wurde in den vorhergehenden Abschnitten skizziert, daß die kognitive Konzeption von Technik mehrere Facetten aufweist. Technik kann verstanden werden:

- * als bestimmbar beschaffene und gestaltete je singuläre Einheit; Einheiten sind entweder identisch oder verschieden;
- * als architektonisch strukturierbares System, in dem neben der Beschaffenheit der singulären Einheiten, die nun als Komponenten erscheinen, auch ihre Relationen spezifiziert werden;
- * als spezifizierbare Relation von Einheiten, deren Beschaffenheit nur interessiert, wenn sie für die Relation von Bedeutung ist (relationale Eigenschaften);
- * als architektonisch strukturierbares System von spezifizierbaren Relationen; neben den Relationen wird die Relation der Relationen spezifiziert.

Analytisch handelt es sich bei dieser Unterscheidung um verschiedene Sichtweisen, die auf dieselbe Technik gerichtet werden können. Ob damit gleichzeitig eine historische Abfolge von typischen Perspektiven skizziert wird, kann in diesem Zusammenhang offen bleiben. Größere technische Systeme -

komplexe stand-alone Aggregate und mehr noch großflächige technische Netze - wurden natürlich nie wie einfache Maschinen betrachtet, von Ingenieuren und Technikern ebensowenig wie von Politikern oder Ökonomen. Solche Systeme setzen sich aus vielen einzelnen Komponenten zusammen, die ihrerseits relativ kompliziert sein können, dennoch aber überwiegend über ihre Einbindung in das System definiert sind. Sie lassen sich nicht isoliert konstruieren und weiter entwickeln. Architekturen von technischen Systemen bieten hier eine Orientierungsmöglichkeit. Sie stecken damit auch den Bereich ab, in dem Innovationen wahrscheinlich werden.

Dies gilt insbesondere für hierarchisch koordinierte Akteurkonstellationen, da in ihnen - zumindest in der idealtypischen Betrachtungsweise - soziale Kontroll- und Sanktionsmechanismen existieren, die über die kognitiven Vorgaben durch Architekturen hinaus eine Engführung von Innovationen im technischen Systemzusammenhang sichern. Unsicherheiten im Hinblick auf zukünftige Umweltentwicklungen werden in solchen Konstellationen über Abschottung und Schließung sowie über Möglichkeiten der Umweltkontrolle zu einem guten Teil absorbiert. Man mag hierarchische Konstellationen für untypisch halten, im Bereich der Telekommunikation, aber auch bei anderen technischen Netzen mit hoher Infrastrukturbedeutung waren (und sind) sie in vielen Industrieländern eher die Regel als die Ausnahme. Dies muß die evolutionstheoretische Mechanik der Variation, Selektion, Retention berücksichtigen, wenn die entsprechenden Mechanismen spezifiziert werden.

In hierarchischen Konstellationen können relativ konkret gefaßte Architekturkonzepte von technischen Systemen durchgehalten werden. Sie stecken den Rahmen für technische Neuentwicklungen ziemlich genau ab, wobei die (hierarchisch diagnostizierten) Schwachstellen des Systems den Fokus der innovativen Aktivitäten bilden. Mit dem rein quantitativen Wachstum der technischen Systeme kann jedoch im Zeitverlauf selbst unter verhältnismäßig statischen Bedingungen eine relativ konkrete und vergegenständlichte Systemarchitektur unübersichtlich werden, gerade weil sie zu sehr die Eigenschaften der einzelnen Komponenten und nicht nur ihre Relationen berücksichtigt. Dies macht außerdem die Entwicklung neuer Komponenten sehr aufwendig, denn es sind viele und unterschiedliche Detailvorgaben zu berücksichtigen, die sich aus der konkreten Position eines neuen Teils innerhalb der Architektur ergeben. Mit diesem Problem war, wie gezeigt wurde, das deutsche Telefonsystem mit seiner auf dem Prinzip der Geräteeinheitstechnik basierenden Architektur in zunehmendem Maße konfrontiert. Gescheiterte oder zeitlich erheblich verzögerte Entwicklungen waren nicht Opfer rigoroser Umweltselektion, sondern in diesem Sinne "hausgemacht".

Aus der Analyse des deutschen Falles läßt sich eine verallgemeinerbare Wechselwirkung eines sozialen Koordinationsmechanismus mit einer technischen Systemstruktur diagnostizieren. Hierarchische Koordination von Akteuren erlaubt (und bewirkt) eine detaillierte und vergegenständlichte Festlegung einer Systemarchitektur, da die Berücksichtigung der Spezifikationen gesichert ist. Hersteller der technischen Komponenten des Systems können (und müssen) ihren Maschinenpark mit der Aussicht auf Economies of Scale spezifisch ausrichten. Sie können sicher sein, daß der Netzbetreiber die benötigten Komponenten nur bei ihnen bezieht. Ihre Investitionen in den spezialisierten Maschinenpark binden sie jedoch auch an den Netzbetreiber, da nur er ihre Produkte abnimmt. Dieser ist seinerseits auf genau diese Produzenten angewiesen, da andere die Produkte in der vorgegebenen Spezifikation nicht herstellen. Für alle Beteiligten ist ein Abweichen von der vergegenständlichten Systemarchitektur unattraktiv.²⁷ Technische Innovationen bewegen sich in einer solchen Konstellation in der eng vorgegebenen Architektur und sind inkrementalistisch.

Eine evolutionstheoretische Interpretation des empirischen Befundes müßte wohl die Akteure und den Modus ihrer Handlungskoordination ebenso wie die Systemarchitektur der Umwelt der einzelnen technischen Komponenten des Systems zurechnen. Diese Umwelt würde gleichzeitig sowohl Variation steuern (und in unserem Beispiel unwahrscheinlich machen) als auch selektiv wirken (nur inkrementalistische Innovationen würden überleben). Warum die Umwelt sozial und architektonisch so strukturiert ist, wie sie sich darstellt, könnte die Evolutionstheorie allein nicht erklären.

Unser zweites Beispiel, das schwerpunktmäßig den Bereich der Informationstechnik behandelt, zeigt, daß auch und gerade in nicht hierarchisch koordinierten Akteurkonstellationen Architekturkonzepte die technischen Aspekte der Entwicklung größerer technischer Systeme koordinieren. In Konstellationen, in denen relativ viele Akteure Komponenten produzieren, die in größeren Systemzusammenhängen verwendet werden (sollen), spielen stark vergegenständlichte Systemarchitekturen nur dann eine Rolle, wenn Ressourcen (und Marktmacht) sehr einseitig verteilt sind. Solange IBM eine absolut dominante Stellung einnahm, war die proprietäre Architektur der Rechnersysteme dieses Unternehmens ebenfalls dominant. Hier war eine Art hegemonialer sozialer Koordination mit einer noch stark vergegenständlichten Systemarchi-

27 In der Terminologie von Williamson (1985) müßte man hier wohl von einer hohen "asset specificity" sowohl in bezug auf die Komponenten als auch hinsichtlich der Systemarchitektur sprechen. Diese Spezifität ist in unserer Perspektive aber nicht nur Ursache hierarchischer Koordination (oder im Extremfall vertikaler Integration), sondern auch Folge dieser Koordinationsform.

tektur gepaart. Aus der strategischen Perspektive von IBM hatte diese Architektur auch eher den Zweck, die Entwicklung von in die Architektur passenden neuen Komponenten außerhalb des Unternehmens zu verhindern. Dies gelang dem Unternehmen nur zeitweise und teilweise. Ähnlich wie in der Telekommunikation hat auch in der Datenverarbeitung schon die rein quantitative Erweiterung der Computer und der Computernetze das Festhalten an vergegenständlichten Architekturen unattraktiv gemacht, weil nicht die Komplexität verringert, sondern schließlich erhebliche Unübersichtlichkeit geschaffen wurde.

Wenn viele Unternehmen mit etwa gleich großen Ressourcen Techniken entwickeln, die als Komponenten in größeren technischen Systemen zusammenarbeiten sollen, dann ist es - evolutionstheoretisch gesehen - unwahrscheinlich, daß dies ohne eine übergreifende kognitive Koordination gelingt. Alle Akteure sind mit großer Unsicherheit über die aktuelle Struktur und viel mehr noch über die zukünftige Entwicklung größerer technischer Systeme konfrontiert. Diese Unsicherheit zu reduzieren, kann als gemeinsames Interesse unterstellt werden. Im Gegensatz zu Konstellationen hierarchischer Koordination kann die Unsicherheit nicht durch die Festlegung einer detailliert (vergegenständlicht) spezifizierten Systemarchitektur beseitigt werden, da kein Akteur ohne entsprechende soziale Garantien der Verbindlichkeit der Festlegung bereit wäre, etwa seinen Maschinenpark auf die Produktion entsprechend spezifischer technischer Komponenten einzustellen.

Die Abstimmung und Vereinbarung nur der relationalen, nicht aber aller Eigenschaften von Komponenten erfordert ein geringeres Commitment der Akteure und reicht - zumindest als erster Schritt - für die technische Koordination aus. Solche Vereinbarungen können als Kompatibilitätsstandards bezeichnet werden. In zunehmendem Maße und in wachsender Zahl werden solche Vereinbarungen in institutionell ausdifferenzierten Arenen und Organisationen, im nationalen, regionalen und internationalen Rahmen getroffen. Entscheidungen orientieren sich am Konsensprinzip, um breite Akzeptanz der Standards, die normativen Charakter haben, aber zumeist nicht wie gesetzliche Regeln durchgesetzt werden können, zu erreichen.

Für größere Systeme reicht aber, wie gezeigt wurde, punktuelle Standardisierung nicht aus. Vielmehr müssen die Standards selber zueinander in Beziehung gesetzt werden, sollen größere Systeme kognitiv strukturiert werden. Systemarchitekturen für Standards spezifizieren und ordnen, wie die Beispiele SNA und OSI deutlich gemacht haben, die Relationen von Standards. Innerhalb einer Architektur ist Raum für eine Vielfalt von komplementären und substitutiven Standards. Die Koordination technischer Entwicklungen über

Standardarchitekturen wirkt sich im Unterschied zu den vergegenständlichten Systemarchitekturen praktisch nicht mehr auf die konkrete Gestaltung der meisten Elemente von technischen Komponenten aus.

Auch hier deutet sich eine verallgemeinerbare Wechselwirkung eines sozialen Koordinationsmechanismus mit einer technischen Systemstruktur an. Bei nicht hierarchischer Koordination ist es - schon wegen fehlender Sanktionsmöglichkeiten - unwahrscheinlich, daß sich vergegenständlichte Systemarchitekturen herausbilden oder stabilisieren. Der Koordinationsbedarf im Hinblick auf technische Entwicklungen wird hier über Standardarchitekturen befriedigt. Diese Koordination ist kollektiv intendiert, weil sie Unsicherheit absorbiert. Sie ist in dieser Form nur möglich, wenn die Akteure nicht hierarchisch koordiniert sind, und erfolgt in Konstellationen, die als Verhandlungssysteme bezeichnet werden können.²⁸ Auch wenn es ein kollektives Ziel der Akteure ist, Unsicherheit im Hinblick auf die zukünftige Entwicklung von technischen Systemen zu reduzieren, bedeutet dies nicht, daß die konkrete Gestalt einzelner Standards oder ganzer Architekturen nicht Gegenstand erheblicher Konflikte ist. Diese haben ökonomische, technisch-kognitive und auch politische Gründe.

Es macht auch für die Evolution technischer Systeme einen Unterschied, welche Architekturen dominant sind. Ganz generell koordinieren sie jedoch die Evolution, indem sie bewirken, daß Variation mit erheblich größerer Wahrscheinlichkeit innerhalb als außerhalb des von der Standardarchitektur abgesteckten Korridors stattfinden. Wenn aber Selektionsprozesse sich nur auf Techniken beziehen, die tatsächlich existieren, dann wird sich auch dieser Prozeß in dem abgesteckten Korridor entfalten.

28 Diese Verhandlungssysteme müssen nicht institutionalisiert sein, implizieren aber eine vernetzte Akteurkonstellation. An dieser Stelle sei angemerkt, daß auch im Falle der reinen Marktkoordination Standards und ganze Architekturen stabilisiert werden können, Unsicherheit absorbiert der Markt jedoch nicht, eher generiert er sie.

Literatur

- Aldrich, Howard/ Susan Mueller, 1982: The Evolution of Organizational Forms: Technology, Coordination, and Control. In: Barry M. Staw/ L.L. Cummings (Hrsg.), *Research in Organizational Behavior*, Bd. 4. Greenwich, CT: JAI-Press, 33-87.
- Arthur, W. Brian, 1989: Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. In: *The Economic Journal* 99, 116-131.
- Arthur, W. Brian, 1990: Positive Feedbacks in the Economy. In: *Scientific American* (February), 80-85.
- Asdonk, Jupp/ Udo Bredeweg/ Uli Kowol, 1991: Innovation als rekursiver Prozeß. In: *Zeitschrift für Soziologie* 20, 290-304.
- Barnett, William P., 1990: The Organizational Ecology of a Technological System. In: *Administrative Science Quarterly* 35, 31-60.
- Barnett, William P./ Glenn R. Carroll, 1987: Competition and Mutualism among Early Telephone Companies. In: *Administrative Science Quarterly* 32, 400-421.
- Basalla, George, 1988: *The Evolution of Technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Baumol, William J./ John C. Panzar/ Robert D. Willig, 1982: *Contestable Markets and The Theory of Industry Structure*. New York: Harcourt.
- Belt, Henk van den/ Arie Rip, 1987: The Nelson-Winter-Dosi Model and Synthetic Dye Chemistry. In: Wiebe E. Bijker/ Thomas P. Hughes/ Trevor J. Pinch (Hrsg.), *The Social Construction of Technological Systems*. Cambridge, MA: MIT Press, 135-158.
- Brock, Gerald, 1975: *The U.S. Computer Industry*. Cambridge, MA: Ballinger.
- Brock, Gerald, 1986: The Computer Industry. In: Walter Adams (Hrsg.), *The Structure of American Industry*. New York: Macmillan, 237-260.
- Butler, Richard J./ Mick Carney, 1986: Strategy and Strategic Choice: The Case of Telecommunications. In: *Strategic Management Journal* 7, 161-177.
- Chandler, Alfred D. jr., 1977: *The Visible Hand: The Managerial Revolution in American Business*. Cambridge, MA: Belknap Press.
- Clark, Kim B., 1985: The Interaction of Design Hierarchies and Market Concepts in Technological Evolution. In: *Research Policy* 14, 235-251.
- Constant, Edward W. II, 1984: Communities and Hierarchies: Structure in the Practice of Science and Technology. In: Rachel Laudan (Hrsg.), *The Nature of Technological Knowledge. Are Models of Scientific Change Relevant?* Dordrecht: Reidel, 27-46.
- Dang Nguyen, Godefroy, 1989: *The European R&D Policy for Telecommunications*. Final Report. Bad Honnef: WIK Discussion Paper.
- David, Paul A., 1985: Clio and the Economics of QWERTY. In: *American Economic Review* 75, 332-337.

- David, Paul A., 1989: *A Paradigm for Historical Economics: Path Dependence and Predictability in Dynamic Systems with Local Network Externalities*. Stanford, CA: Stanford University, Center for Economic Policy Research/ High Technology Impact Program (Manuskript).
- Dierkes, Meinolf/ Andreas Knie, 1989: Technikgenese: Zur Bedeutung von Organisationskulturen und Konstruktionstraditionen in der Entwicklung des Motorenbaus und der mechanischen Schreibtechniken. In: Burkart Lutz (Hrsg.), *Technik in Alltag und Arbeit*. Berlin: Edition Sigma Bohn, 203-218.
- Dosi, Giovanni, 1982: Technological Paradigms and Technological Trajectories. In: *Research Policy* 11, 147-162.
- Dosi, Giovanni/ Luigi Orsenigo, 1988: Coordination and Transformation: An Overview of Structures, Behaviours and Change in Evolutionary Environments. In: Giovanni Dosi u.a. (Hrsg.), *Technical Change and Economic Theory*. London: Pinter, 13-37.
- Genschel, Philipp/ Raymund Werle, 1992: *From National Hierarchies to International Standardization: Historical and Modal Changes in the Coordination of Telecommunications*. MPIFG Discussion Paper 92/1. Köln: Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung.
- Gilfillan, S.C., 1970: *The Sociology of Invention*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Guillet de Monthoux, Pierre, 1981: *Vulgärkantianische Unternehmenslehre. Eine Einführung in die Kunst, Industrie und Technologie zu konstruieren*. München: Leudemann.
- Hannan, Michael T., 1988: Organizational Population Dynamics and Social Change. In: *European Sociological Review* 4, 95-109.
- Hannan, Michael T./ John Freeman, 1977: The Population Ecology of Organizations. In: *American Journal of Sociology* 82(5), 929-964.
- Heinze, G. Wolfgang, 1985: Zur Evolution von Verkehrssystemen. Perspektiven der Telekommunikation. In: Sigurd Klatt (Hrsg.), *Perspektiven verkehrswissenschaftlicher Forschung*. Berlin: Duncker & Humblot, 271-322.
- Heinze, G. Wolfgang/ Heinrich H. Kill, 1987: Chancen und Grenzen der neuen Informations- und Kommunikationstechniken. Zur Übertragung verkehrsevolutorischer Erfahrungen auf die Telekommunikation. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (Hrsg.), *Räumliche Wirkungen der Telematik*. Hannover: Vincentz, 21-72.
- Heinze, Wolfgang G./ Heinrich H. Kill, 1988: The Development of the German Railroad System. In: Renate Mayntz/ Thomas P. Hughes (Hrsg.), *The Development of Large Technical Systems*. Frankfurt a.M.: Campus, 105-134.
- Henderson, Rebecca M./ Kim B. Clark, 1990: Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of Established Firms. In: *Administrative Science Quarterly* 35, 9-30.
- Hughes, Thomas P., 1983: *Networks of Power. Electrification in Western Society 1880-1930*. Baltimore, MA: Johns Hopkins University Press.

- Hughes, Thomas P., 1987: The Evolution of Large Technological Systems. In: Wiebe E. Bijker/ Thomas P. Hughes/ Trevor J. Pinch (Hrsg.), *The Social Construction of Technological Systems*. Cambridge, MA: MIT-Press, 51-82.
- Keck, Otto, 1981: *Policymaking in a Nuclear Program. The Case of the West-German Fast Breeder Reactor*. Lexington: Lexington Books.
- Knie, Andreas, 1991: *Diesel - Karriere einer Technik. Genese und Formierungsprozesse im Motorenbau*. Berlin: Edition Sigma Bohn.
- Knowles, T./ J. Larmouth/ K.G. Knightson, 1987: *Standards for Open Systems Interconnection*. Oxford: BSP Professional Books.
- Laudan, Rachel, 1984: Cognitive Change in Technology and Science. In: Rachel Laudan (Hrsg.), *The Nature of Technological Knowledge. Are Models of Scientific Change Relevant?* Dordrecht: Reidel, 83-104.
- Luhmann, Niklas, 1981: Geschichte als Prozeß und die Theorie sozio-kultureller Evolution. In: Niklas Luhmann, *Soziologische Aufklärung 3*. Opladen: Westdeutscher Verlag, 178-197.
- MacDonald, V.C., 1977: Some Criteria for Standards in Computer/Communications. In: *Mexicon '77*. Mexico City, I.1 - I.8.
- Mayntz, Renate, 1988: Zur Entwicklung technischer Infrastruktursysteme. In: Renate Mayntz et al., *Differenzierung und Verselbständigung. Zur Entwicklung gesellschaftlicher Teilsysteme*. Frankfurt a.M.: Campus, 233-259.
- Nelson, Richard R./ Sidney G. Winter, 1977: In Search of Useful Theory of Innovation. In: *Research Policy* 6, 36-76.
- Nelson, Richard R./ Sidney G. Winter, 1982: *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA: Belknap Press.
- Passmore, David L., 1985: The Networking Standards Collision. In: *Datamation* 31(1), 98-108.
- Perrow, Charles, 1984: *Normal Accidents. Living with High-Risk Technologies*. New York: Basic Books.
- Pinch, Trevor J./ Wiebe E. Bijker, 1984: The Social Construction of Facts and Artefacts: or How the Sociology of Science and the Sociology of Technology Might Benefit Each Other. In: *Social Studies of Science* 14, 399-441.
- Radkau, Joachim, 1983: *Aufstieg und Krise der deutschen Atomwirtschaft 1945-1975*. Reinbek: Rowohlt.
- Rammert, Werner, 1988: Technikgenese. Stand und Perspektiven der Sozialforschung zum Entstehungszusammenhang neuer Techniken. In: *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 40, 747-761.
- Ropohl, Günter, 1979: *Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der allgemeinen Technologie*. München: Hanser.
- Rosenberg, Nathan, 1976: *Perspectives on Technology*. Cambridge: Cambridge University Press.