



# Wissenschaftsnetze in Deutschland und Europa: Erwartungen und Erreichtes

Eike Jessen

Institut fuer Informatik  
Technische Universitaet Muenchen  
Boltzmannstr. 3  
D 85748 Garching b. Muenchen  
[jessen@informatik.tu-muenchen.de](mailto:jessen@informatik.tu-muenchen.de)

**Abstract:** Der Beitrag versteht sich als Exposee und reflektiert verschiedene Möglichkeiten, das elektronische Publizieren Ausgang der 80er Jahre mit der heutigen Situation zu vergleichen. Ansätze, einen solchen Vergleich auf Mythen, Leitbilder und Visionen zu fokussieren, werden dargelegt. In der mündlichen Präsentation wird als Gegenstand „Hypertext“ aufgegriffen.

## 1 Wissenschaftsnetze

Ein Wissenschaftsnetz ist ein virtuelles oder reales Netz für die Information, Kommunikation und Kooperation von Wissenschaftlern, einschließlich der Studierenden; es verwirklicht ferner den Zugang zu entfernten Computern und ermöglicht damit die verteilte Datenhaltung und Verarbeitung. Oft ist ein Wissenschaftsnetz zugleich Objekt der Untersuchung: an ihm werden geeignete technische Strukturen und Verfahren entwickelt, und die durch die Benutzung eintretenden Belastungsverhältnisse können studiert werden. Wissenschaftsnetze sind oft Gegenstand der Entwicklung von Managementverfahren für Netze. Wissenschaftsnetze werden häufig zentral finanziert oder genossenschaftlich betrieben, das erlaubt flache Tarife einzuführen, was die Benutzung des Netzes fördert. Wissenschaftseinrichtungen sind ihrer Natur nach offen und kommunikativ; da sie zugleich groß sind im Verhältnis zu anderen Unternehmen, haben Wissenschaftsnetze große Netzanschlussleistungen. Wissenschaftsnetze sind auch Träger der Entwicklung neuer Netzanwendungen. Das World Wide Web ist ein glänzendes Beispiel dafür. Die Technik des Internets wurde 15 Jahre lang in der Wissenschaft entwickelt und eingesetzt, bevor sie ihren Siegeszug in der Wirtschaft und im Privatleben antrat. Wissenschaftsnetze haben bezüglich der Art der eingesetzten Nutzung und der Intensität der Nutzung im allgemeinen einen Vorlauf von 2-3 Jahren gegenüber den Netzen, die in der Wirtschaft und von Privatkunden gebraucht werden.



**Abb. 1.: Kleine Zeittafel**

1969	Start ARPANet-Projekt
1971	Betriebsstart ARPANet
1975	X.25-Protokolle
1978	OSI-Referenzmodell der ISO TCP/IP-Protokolle
1982	Bitnet
1984	NSF-Net in USA; Janet in Großbritannien DFN (Organisation, Entwicklungsvorhaben seit 1983, zunächst kein Netz)
1986	USA und Europäische Gemeinschaft entscheiden sich für ISO-Normen, gegen TCP / IP, das sich aber bis 1995 allgemein durchsetzt
1989	X.25-Wissenschaftsnetz des DFN-Vereins
1990	Nutzung des Vorläuferbreitbandnetzes als experimentelles Hochleistungsnetz scheitert
1996	Breitbandwissenschaftsnetz B-WiN
1997	TEN 34 in Europa
2000	Gigabitwissenschaftsnetz G-WiN
2001	GEANT
2004	Optisches Testbed (nächste Netztechnologie)

## 1 Erste Ziele und Entwicklungen

Das erste eigentliche Wissenschaftsnetz war das ARPANet des Department of Defense. Zwei wesentliche Erwartungen standen am Anfang dieser Entwicklung: Erprobung der Paketvermittlungstechnik (wofür anfangs vor allem militärtechnische Gründe sprachen) und bessere Kooperation der vom Department of Defense finanzierten Forschungsgruppen. Beide Erwartungen sind erfüllt worden. Die Paketvermittlungstechnik erlaubte die Einführung der fehlertoleranten Datagramm-Technik, sie ist für die stoßartigen Verkehrscharakteristiken zwischen Computern wirtschaftlicher als die herkömmliche Leitungsvermittlungstechnik, und sie stellt einer einzelnen Verbindung im günstigsten Falle die gesamte Bandbreite des Mediums zur Verfügung.

Die Verbesserung der Kooperation von Wissenschaftlern über das Netz ist vermutlich die größte strukturelle Errungenschaft in der Wissenschaft im letzten Jahrhundert gewesen. Der zuvor eher hierarchisch geordnete Informationsraum der Wissenschaft wurde geöffnet; Kommunikationsbeziehungen zwischen Wissenschaftlern sind heute nicht mehr an die institutionellen Strukturen gebunden. Besonders großen Einfluss hat diese Veränderung auf das Informationsverhalten von Studierenden. Dass die neue Technik zusammen mit der explosionsartigen Zunahme der Computer zu einer völlig neuartigen Arbeits- und Kommunikationsinfrastruktur führen würde, über die Wissenschaft hinaus, in der Wirtschaft und im Privatleben, ist damals nur von wenigen erwartet worden. Es stellt eine der nachdrücklichsten Veränderungen dar, die in der zweiten Hälfte des letzten Jahrhunderts eingetreten sind.



Auf der Grundlage der Technik des ARPANets, insbesondere der zweiten Protokollgeneration (TCP/IP), entstanden in den Vereinigten Staaten weitere Netze, die teils bestimmten Fachdisziplinen, teils bestimmten Institutionen zugeordnet waren. Die ersten vergleichbaren europäischen Wissenschaftsnetze entstanden in der ersten Hälfte der 80er Jahre: Janet (Joint Academic Network) auf Beschluss der britischen Regierung. In Deutschland begannen die Aktivitäten des DFN (Deutsches Forschungsnetz) im Jahre 1983. Die Erwartung, mit der die Bundesregierung in die Finanzierung dieses Vorhabens hineinging, war, dass die deutschen Wissenschaftseinrichtungen in Selbstorganisation und Selbstverantwortung die nötigen Entwicklungen starten und ihre Infrastruktur aufbauen würden.

Allen Wissenschaftsnetzen lag von Anfang an die Forderung nach Offenheit zugrunde. Dieser heute vermutlich selbstverständliche Punkt war damals in klarem Widerspruch zu den erfolgreichen Bemühungen der Computerhersteller, eigene Netzarchitekturen zu definieren. Seit Mitte der 70er Jahre hatten CCITT und ISO (Comité Consultatif pour la Téléphonie et Télégraphie, International Standardisation Organisation) das Problem offener, d.h. herstellerunabhängiger Protokollarchitekturen aufgegriffen. Dieser Ansatz, der offenbar von wesentlicher Bedeutung für eine gesunde Marktordnung war, stieß in der Wissenschaft deshalb auf besonderes Interesse, weil die Wissenschaft traditionell sehr heterogene Rechnerarchitekturen benutzte. Es ist im Nachhinein nur verständlich, dass von den Wissenschaftsnetzen also auch erwartet wurde, dass sie einen frühen Beitrag zur Bereitstellung von offenen Kommunikationsnetzen leisten würden. Es schien auch natürlich, dass man sich dazu des Ansatzes der ISO bediente, der allerdings Anfang der 80er Jahre eher ein teilweise spezifiziertes Konzept als einen Satz von betriebstüchtigen Kommunikationsprotokollen darstellte. Die Unterstützung der ISO-Protokolle durch die Computerhersteller und die Carrier ließ zu wünschen übrig. Allerdings muss im Vergleich gesagt werden, dass die Computerhersteller und die Carrier die Existenz der TCP/IP-Protokollwelt frühestens in der zweiten Hälfte der 80er Jahre zur Kenntnis nahmen. Bis Anfang der 90er Jahre war es offizielle Richtlinie der westeuropäischen und der US-amerikanischen Regierungen, für öffentliche Beschaffungen die ISO-Kommunikationsprotokolle zu verlangen. Zwischen der wachsenden Gemeinde der IP-Anhänger in der internationalen Wissenschaft und den orthodoxen Standardisierern entstand eine Wettbewerbssituation, die mindestens von der IP-Seite mit viel Ehrgeiz betrieben wurde. Als einen Seiteneffekt der Internet-Entwicklung schuf sie eine faszinierende Technik der kooperativen Entwicklung einer globalen Infrastruktur, was zuvor nur großen Monopolunternehmen in institutioneller Verzahnung über die Standardisierungsorganisationen zugetraut worden war.

Erst ab Anfang der 90er Jahre begannen die Internetprotokolle endgültig die Datenkommunikation zu dominieren. Bis dahin gab es betriebstüchtige abweichende Architekturen, die teils durch Anpassung anderer Protokolle spontan von Gemeinschaften geschaffen wurden; das wichtigste Beispiel in den 80er Jahren war hier das Bitnet, was in Europa unter der Bezeichnung EARN (European Academic Research Network) eine wichtige Rolle in der Frühzeit der Wissenschaftsnetze spielte. Das wichtigste Ergebnis der internationalen Standardisierung für die entstehenden Datennetze war aber das X.25-Netzwerkprotokoll (1975), auf dessen Grundlage die Carrier überall auf der Welt (und gerade auch in den USA) betriebstüchtige und international verschmolzene Paketvermittlungsnetze aufbauten. Es war nur natürlich, dass die Neugründungen



mittlungsnetze aufbauten. Es war nur natürlich, dass die Neugründungen europäischer Wissenschaftsnetze diese Technik aufgriffen, zumal sie von den Postverwaltungen im Laufe der 80er Jahre in professioneller Qualität angeboten wurde.

### 3 Entwicklungen in Deutschland

Die erste Hälfte der 80er Jahre in Deutschland war durch regionale Netze, z.B. in Berlin und Nordrhein-Westfalen, aufbauend auf X.25, gekennzeichnet. Dazu kam das schon genannte EARN ab 1983. Die Gründung des DFN-Vereins im Jahre 1984 führte merkwürdiger Weise nicht zum Aufbau einer Netzinfrastruktur; als vorrangige Aufgabe wurde zunächst angesehen, einen geeigneten Satz von standardisierten Kommunikationsprotokollen aufzustellen und dessen Implementierung bei allen wichtigen Computerlieferanten der Wissenschaftsszene durchzusetzen. Dazu kamen Entwicklungen, mit denen Netzanwendungen vorangetrieben werden sollten, anfangs vor allem Electronic Mail, später Graphik. Der DFN-Verein änderte seine Haltung erst, als Ende der 80er Jahre die Arbeitsgemeinschaft der Großforschungseinrichtungen an die Projektierung eines eigenen Netzes ging, das dann auch den Hochschulen zur Mitbenutzung offen stehen sollte. Es gelang dem DFN-Verein, mit der Deutschen Bundespost einen günstigen Vertrag über ein Wissenschaftsnetz auf der Basis von X.25 abzuschließen. Dieses Netz hatte große Ähnlichkeiten mit dem damals bereits erfolgreich laufenden DatexP-Dienst der Deutschen Bundespost, bot aber leistungsfähigere Anschlüsse und kostete nur etwa 1/3 von dem, was die gleiche Anzahl von Anschlüssen und das gleiche Volumen innerhalb des DatexP-Dienstes gekostet hätte. Dieses sogenannte X.25-Wissenschaftsnetz nahm seinen Betrieb am 1. Januar 1990 auf und verdrängte bald alle anderen Netzstrukturen innerhalb der deutschen Wissenschaft. Mit der Öffnung der neuen Bundesländer baute der DFN-Verein in der gleichen Technik ein eigenes Netz auf (ErWiN, erweitertes Wissenschaftsnetz). Dank der engen Zusammenarbeit mit der früheren Akademie der Wissenschaften der DDR war es auf diesem Wege möglich, an vielen Orten leistungsfähige Datenverbindungen anzubieten, bevor das Fernsprechen einen ausreichenden Stand erreicht hatte. Gegen deutliche Vorbehalte der Deutschen Bundespost wurden 1992 neben den anfänglich angebotenen Anschlüssen von 9,6 und 64kb/s auch Anschlüsse von 2Mb/s angeboten. Die Nutzung des Wissenschaftsnetzes entwickelte sich sehr erfreulich: über die 90er Jahre hinweg betrug das mittlere jährliche Wachstum 130% (Faktor 2,3). Ab 1994 war abzusehen, dass die neue Infrastruktur den Anforderungen nicht mehr genügen würde.

Als 1996 das Breitband-Wissenschaftsnetz („B-WiN“) in Betrieb ging, besaß Deutschland erstmals ein Wissenschaftsnetz auf dem Leistungsniveau der nordamerikanischen Netze, vergleichbar mit dem vBNS (very Broadband Network Service), und wie dieses ATM-basiert. Allerdings waren der Betriebsaufnahme des Breitband-Wissenschaftsnetzes schwierige Entscheidungsprozesse vorangegangen: während das X.25 Wissenschaftsnetz jährlich 14 Mio DM kostete, waren für das B-WiN etwa 80 Mio DM aufzuwenden. Der Bund erklärte sich bereit, eine einmalige Startfinanzierung von 80 Mio DM für das neue Netz zu übernehmen. Allerdings wurden dadurch Verschiebungen im Forschungshaushalt erforderlich, die den Bund zunächst ein Gutachten des Wissenschaftsrates einholen ließen. Das Breitband-Wissenschaftsnetz hätte, dem gewachsenen Bedarf



folgend, etwa 1 Jahr früher eingeführt werden müssen. Angesichts der verzögerten Entscheidung zum B-WIN nutzte Baden-Württemberg die Möglichkeit, ein Landesnetz unter Rückgriff auf die beiden Energieversorgungsunternehmen des Landes aufzubauen: BelWue. In den Folgejahren wurde anhand der Existenz von BelWue immer wieder die Frage gestellt, ob ein Ensemble von Landesnetzen eine bessere Infrastruktur in Deutschland als ein homogenes bundesweites Wissenschaftsnetz sein würde. Erst im Jahre 2003 wurde eine Lösung gefunden, die das Baden-Württembergische Hochschulnetz wieder zu einem organischen Teil der deutschen Wissenschaftsinfrastruktur machte: auf der DFN-Seite hatte man inzwischen das Konzept von sogenannten Clustern entwickelt, Ensembles von Wissenschaftseinrichtungen, die über einen gemeinsamen Anschluss an das allgemeine Wissenschaftsnetz versorgt wurden. Dieses war eine geeignete Konstruktion, um die Baden-Württembergischen Wissenschaftseinrichtungen über das BelWue als Zugangsnetz anzuschließen.

Mit der Einführung des Breitband-Wissenschaftsnetzes setzte in Deutschland eine rapide Steigerung der Netznutzung ein. Das lag nicht nur an der Überwindung der mit dem X.25 Wissenschaftsnetz bestehenden Engpässe, sondern auch an der einsetzenden massenhaften Nutzung des World Wide Web. Einen wesentlichen Engpass stellten bis etwa 1998 die Verbindungen in die Vereinigten Staaten von Amerika dar. Ab 1998 begannen die Preise für Interkontinentalverbindungen schnell zu fallen, so dass ausreichende Kapazitäten bereitgestellt wurden. Die Versuche, die Kosten für die Verbindungen zwischen den USA und Deutschland zwischen beiden Ländern aufzuteilen, scheiterten bis heute.

Als man 1998 an die Planung eines Nachfolgenetzes zum Breitband-Wissenschaftsnetz, genannt Gigabit-Wissenschaftsnetz (G-WiN) ging, war die Kapazität des B-WIN nicht erschöpft. Der Markt hatte sich jedoch inzwischen durch Deregulierung weitgehend umgestellt; es war ersichtlich, dass sich der Einsatz von ATM wirtschaftlich nicht lohnte. Abermals gewann die Deutsche Telekom die Ausschreibung des DFN-Vereins; im Vertrag konnte festgelegt werden, dass bei konstantem Preis die Leistung des Netzes vier Jahre lang jährlich verdoppelt werden würde. Ferner wurde kein starres Netz definiert, sondern ein Bausatz von SDH-Verbindungen, die der DFN-Verein nach seinen Bedürfnissen konfigurieren konnte, um sich Verschiebungen in der Netzbelastung anpassen zu können. Wie schon beim B-WiN, behielt der DFN-Verein die Aufgabe des Internet-Routing bei sich. Mit dem Gigabit-Wissenschaftsnetz war erstmals ein Stand erreicht, der weiter fortgeschritten als die nordamerikanischen Wissenschaftsnetze war. G-WiN wurde nach Zahl der Anschlusspunkte und nach transportiertem Volumen das größte Wissenschaftsnetz der Erde.

Die technische Entwicklung der letzten Jahre lief auf den weitgehenden Ersatz von elektronischen Zwischensystemen in den optischen Fernverkehrsnetzen durch optische Komponenten hinaus. Allerdings ließ der Marktdruck auf eine solche Entwicklung ab 2002 nach. Das Wachstum in den Netzen flachte sich ab und den Carriern stand weniger Kapital zur Verfügung. Diese Umstände sprechen dafür, dass Gigabit-Wissenschaftsnetz nicht schon 2005, sondern erst später durch ein Nachfolgenetz zu ersetzen, zu dem allerdings die technischen Klärungen jetzt beginnen müssen.



#### **4 Experimentiernetze und Testbeds**

In den 80er Jahren plante die Deutsche Bundespost, die Haushalte mit Breitbandanschlüssen zu versorgen, und baute dazu das VBN auf (Vorläufer-Breitbandnetz). Für das Netz wurde eine eigene Protokollarchitektur, aufbauend auf ATM, entwickelt. Im Hinblick auf dieses Netz und die übrigen Zwecke des Fernverkehrs wurden in Deutschland im Laufe der 80er Jahre sehr erhebliche Investitionen in den Aufbau einer Lichtleiterinfrastruktur gemacht. Als sichtbar wurde, dass VBN nicht 1990 starten würde, waren offenkundig bedeutende Leerkapazitäten vorhanden. Die Vermarktung dieser Kapazitäten würde erst kommen, wenn es attraktive Angebote für das Publikum geben würde. Ende der 80er Jahre entstand in der deutschen Wissenschaft daher der Vorschlag, freie Netzkapazitäten einem experimentellen Hochgeschwindigkeitsnetz zur Entwicklung neuer Nutzungsformen zu wirtschaftlich besonders günstigen Bedingungen zu überlassen. Man setzte darauf, dass Wissenschaftler, insbesondere aber Studierende, für das Medium attraktive Anwendungen finden würden, wie es ja tatsächlich fünf Jahre später mit dem World Wide Web geschah. Trotz grundsätzlicher Bereitschaft an der Spitze des damaligen Bundesministeriums für Post- und Fernmeldewesen, wurde das Projekt nicht verwirklicht; die Deutsche Bundespost investierte vielmehr ihr wirtschaftliches und technisches Kapital ab 1990 in den Aufbau einer modernen Kommunikationsinfrastruktur in den neuen Bundesländern.

Der DFN-Verein sah es immer als seine Aufgabe an, die Arbeit der Wissenschaftler durch neue Nutzungsformen von Netzen zu verbessern. In vielen Fällen waren dazu leistungsfähigere Netze notwendig, als die Wissenschaft augenblicklich finanzieren konnte. Zugleich war der DFN-Verein dringend daran interessiert, die technischen und betrieblichen Eigenschaften neuer Netztechnologien rechtzeitig kennen zu lernen. Zweimal, ab 1994 und ab 1998, richtete daher der DFN-Verein regionale Testbeds ein, die Wissenschaftlern eine neue, weit leistungsfähigere Netztechnologie zur Verfügung stellten, die für das gesamte Bundesgebiet noch unerschwinglich war. Die Anwendungen in diesen Testbeds, regionale Testbeds und Gigabit-Testbeds kamen vorzugsweise aus der Medizin, aus dem wissenschaftlichen Rechnen und aus dem Fernunterricht.

Ein neues Testbed, zur Erprobung der bereits genannten Technik der volloptischen Netze, dürfte 2004 starten.

#### **5 Entwicklung in Europa**

Im Laufe der 80er Jahre entstanden überall in Europa nationale Wissenschaftsnetze. In den 90er Jahren vollzog sich dieselbe Entwicklung in den Staaten Osteuropas, wo sie nicht schon in den 80er Jahren eingesetzt hatte. Es entstand eine allgemeine Übereinkunft, an den nationalen Wissenschaftsnetzen festzuhalten und diese durch eine sehr leistungsfähigere gesamteuropäische Infrastruktur zu verknüpfen. Die europäischen Behörden ergriffen ihre Chance, sich hier für die gemeinsame Sache einzusetzen, mit großer Tatkraft auf. Es entstand eine Folge von fortschreitend leistungsfähigeren europäischen Overlay-Netzen: TEN 34, TEN 155, GEANT. Mit seinen 10 Gb/s-Strecken



setzte sich GEANT an die Leistungsspitze der Wissenschaftsnetze. GEANT baute eigene Verbindungen zu anderen Kontinenten auf, die größtenteils an die Stelle eigener Interkontinentalverbindungen der nationalen Wissenschaftsnetze traten.

## 6 Bewertung:

Abbildung 1 zeigt die zeitliche Folge der Entwicklung von Wissenschaftsnetzen, insbesondere in Deutschland. Einige erwartete Ergebnisse sind in Abbildung 2 zusammengestellt. Wegen der Vorläuferfunktion der Wissenschaftsnetze stoßen wir hier auf Erwartungen, die die Entwicklung der Netze generell begleitet haben bzw. noch begleiten. Mehrfach ist das Motiv für die Erwartung verschwunden. Realzeit-Multimedia war anfangs ein Problem unzureichender Netzbandbreiten, aber nach Lösung dieses Problems blieb der Mangel an attraktiven Angeboten. Zusammen mit der Tatsache, dass wir dank des Internet-Booms seit 1999 allgemein in überdimensionierten Netzen kommunizieren, führte das dazu, dass ATM und QoS-Mechanismen heute nicht die Bedeutung haben, die ihnen vor zehn Jahren beigemessen wurde.

### Abb. 2.: Erwartetes und Erreichtes

Erprobung und Bewährung der Paketvermittlung	erreicht
Kooperation zwischen Wissenschaftlern	erreicht
Anstoß für die Wirtschaft	erreicht
Offenheit: Befreiung von proprietären Architekturen	erreicht
Entwicklung neuer Kommunikationsformen	erreicht
Prägung des Nachwuchses	erreicht
Kooperative Entwicklung einer globalen Infrastruktur	erreicht
Promotion ISO-Protokolle, ATM	nicht erreicht
Realzeit Multimedia über Netz	(spät) erreicht
Verkehrsgütemechanismen (Quality of Service)	nicht erreicht
Sicherheit des Netzes	knapp erreicht
Zuverlässigkeit des Netzes	knapp erreicht
Ersetzung von Wissenschaftsnetzen durch kommerzielle Netze (USA)	nicht eingetreten