

HUBERT BUSCH, URSULA DROEBES, MAREK FRÖHLICH,
CHRISTIAN SCHIMMEL

**Das Berliner Wissenschaftsnetz BRAIN
2007**

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	2
1.1	Entwicklung des Berliner Wissenschaftsnetzes	2
1.2	BRAIN heute	4
2	Das BRAIN-Verbundnetz	5
2.1	Technik des Verbundnetzes	7
2.2	Konkreter Einsatz der MPLS-Technik zum Nutzen der Anwender	8
2.2.1	LAN-to-LAN-Kopplung der Standorte von Wissenschaftseinrichtungen	8
2.2.2	Fast-Reroute im Kernnetz	9
2.2.3	Quality of Service / Class of Service	9
2.3	Einrichtungübergreifender Verkehr über das Verbundnetz	9
2.4	WiN-Backup über BRAIN	10
2.5	Übergang zum Berliner Landesnetz BeLa	11
3	Einsatz von Multiplex-Techniken	12
4	Realisierung des X-WiN in Berlin	13
5	Pilotprojekt BRAIN-SAN	15
5.1	Technik des BRAIN-SAN	16
6	Zentrales Netzwerkmanagement	17
7	Organisation von BRAIN	17
7.1	Die BRAIN-Planungsgruppe	18
7.2	Die BRAIN-Geschäftsstelle	18
7.3	Das BRAIN-NOC (Network Operations Center)	18
7.5	Die Vertragsgestaltung	18
8	Fazit	19
	Literaturverzeichnis	20
	Anhang	21
A	BRAIN-Teilnehmer 2007	21
B	Grundlagen von MPLS	22
	Forwarding-Equivalence-Class	22
	Aufbau des MPLS-Headers	22
	Signalisierungsprotokolle	23
	Arbeitsweise eines LSR	24
	Virtual Private LAN-Servive (VPLS)	24
C	Fibre Channel	25
D	Einsatz von Nagios zum Netzwerkmonitoring	27

1 Grundlagen

1.1 Entwicklung des Berliner Wissenschaftsnetzes

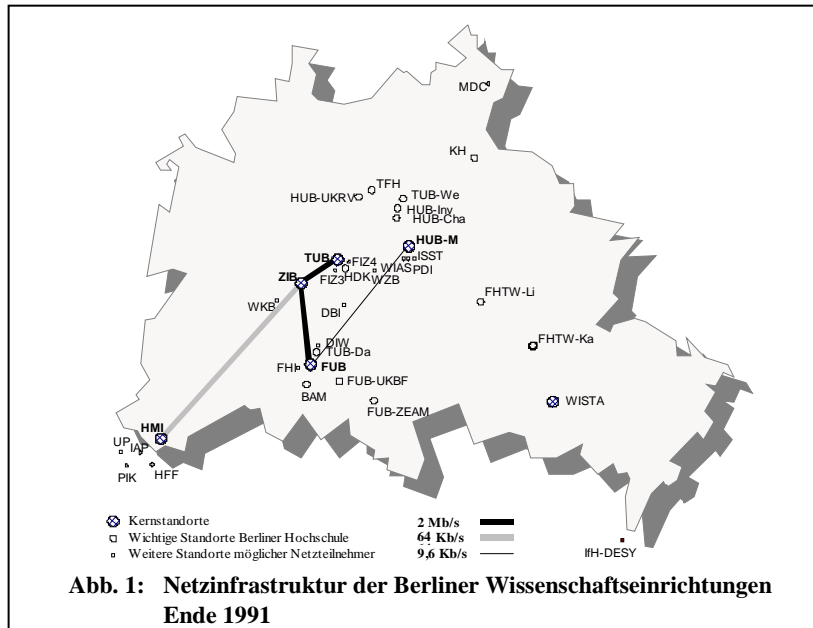
Berlin als Stadtstaat ist Kommune und Land der Bundesrepublik zugleich und ist Standort vieler renommierter Wissenschafts- und Kultureinrichtungen, unter anderem der vier Berliner Universitäten (Freie Universität Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin, Technische Universität Berlin und Universität der Künste), der großen Fachhochschulen (Fachhochschule für Wirtschaft, Fachhochschule für Technik und Wirtschaft, Technische Fachhochschule), des Konrad-Zuse-Zentrums für Informationstechnik Berlin (ZIB), sowie Einrichtungen der Helmholtz-Gesellschaft (Hahn-Meitner-Institut Berlin, Max-Delbrück-Zentrum für Molekulare Medizin), der Max-Planck-Gesellschaft, der Leibniz-Gemeinschaft und der Fraunhofer-Gesellschaft sowie der Stiftung Preußischer Kulturbesitz (Staatsbibliothek, staatliche Museen) und dem Deutschen Historischen Museum. Gemeinsam mit den Behörden Berlins haben die Wissenschaftseinrichtungen seit dem Jahr 1993 ein eigenes Glasfasernetz errichtet, welches die Wissenschafts- und Kultureinrichtungen auf ca. 2.100 km Glasfaser untereinander verbindet. Derzeit betreibt BRAIN auf diesem Glasfasernetz ein auf MPLS-Technik basierendes Gigabit-Ethernet-Netz, das „BRAIN-Verbundnetz“, mit den Diensten LAN-to-LAN-Kopplung der Einrichtungen, regionaler IP-Verkehr, Übergang zum Verwaltungsnetz und WiN-Backup. Für verteilte Standorte einer Einrichtung besteht zudem die Möglichkeit diese über dedizierte Fasern oder Bandbreiten miteinander zu vernetzen. Seit dem 2. Quartal 2007 werden im Rahmen des Pilotprojekts "BRAIN-SAN" die Möglichkeiten einer verteilten Datenhaltung der Berliner Hochschulen und wissenschaftlichen Einrichtungen erprobt. Zusätzlich zu den vorgenannten Diensten nutzt der DFN-Verein die BRAIN-Struktur im X-WiN-Netz.

Chronologie

1975 wurde mit Bereitstellung von damals schnellen Datenleitungen (9,6 kbit/s) zwischen West-Berliner Einrichtungen mit in Berlin entwickelten Netzdiensten und -protokollen ein erstes "Berliner Wissenschaftsnetz" installiert. Zu dieser Zeit war Berlin in Deutschland führend in der Entwicklung von Datennetzen und seinen Anwendungen. Die Bandbreite der Datenleitungen wurde regelmäßig entsprechend dem wachsenden Bedarf, den Möglichkeiten der Deutschen Bundespost bzw. seiner Nachfolger und den finanziellen Möglichkeiten angepasst.

1991 wurde auf Vorschlag der drei Universitäten und des ZIB vom Senator für Wissenschaft und Forschung eine Berliner MAN-Planungsgruppe (später BRAIN-Planungsgruppe) ins Leben gerufen mit dem Ziel, ein Berliner Breitbandnetz für die Wissenschaft zu planen und zu realisieren.

Nach ersten wenig Erfolg versprechenden Gesprächen mit der Deutschen Telekom bahnte sich eine enge Zusammenarbeit mit dem (damaligen) Berliner Landesbetrieb für Informationstechnik (LIT), heute IT-Dienstleistungszentrum Berlin (ITDZ), der für die Informationstechnik in den Berliner Verwaltungen zuständigen Einrichtung, an. Der LIT realisierte zu jener Zeit den Aufbau eines eigenen Glasfasernetzes für die Berliner Verwaltungen. Hierzu wurden vorhandene Kabeltrassen der Berliner Feuerwehr im öffentlichen Straßenland genutzt, so konnte das Glasfaser-Kabelnetz kostengünstig weitgehend ohne aufwändige Tiefbaumaßnahmen erstellt werden.



- 1993 kamen die Vertreter von Wissenschaft und Verwaltung überein, die Planung beider Netze zu koordinieren und das vom LIT errichtete Kabelnetz gemeinsam zu finanzieren und zu nutzen, lediglich die einzelnen Glasfasern separat der Wissenschaft bzw. der Verwaltung zuzuordnen.
- 1994 konnten bereits die ersten Strecken zwischen den Universitäten und dem ZIB in einen Vorlaufbetrieb genommen werden. Der offizielle Start des Berliner Wissenschaftsnetzes **BRAIN (Berlin Research Area Information Network)** erfolgte im gleichen Jahr, als durch einen Beschluss des Senats von Berlin [1] die Nutzung des landeseigenen Glasfasernetzes durch die Wissenschaftseinrichtungen festgeschrieben wurde.
- 1995 wurden die ersten sieben Anschlüsse in ATM-Technik im Rahmen des vom DFN-Verein mitfinanzierten Projekts „Regionales Testbed Berlin“ vollständig in Betrieb genommen. [2]
- 1999 wurde eine weitere Etappenstufe erreicht: Im März 1999 verband BRAIN 50 Wissenschaftsstandorte untereinander und der „Lückenschluss“ zum Potsdamer MAN (PMAN) mit seinen 15 Wissenschaftsstandorten, welches im Jahr 1997 nach Berliner Vorbild entstand, wurde hergestellt. Ergänzend zum ATM-Netz („Classical BRAIN-ATM“) wurden anschließend auch erste Strecken in Fast-Ethernet-Technik, das „Classical BRAIN-GE“, betrieben.
- 2002 zählte dieses Berliner Wissenschaftsnetz 15 beteiligte Einrichtungen mit über 30 Standorten. Dieses heterogene Netz mit unterschiedlichen Netzgeräten wurde dezentral von den Netzadministratoren der beteiligten Einrichtungen nach globalen Absprachen betreut. Die dezentrale Administration erschwerte das Management und die Erweiterungen der Gesamtnetze.

Basierend auf den vorliegenden Erfahrungen vereinbarten die Berliner Wissenschaftseinrichtungen, ein technisch neues Verbundnetz in Gigabit-Ethernet-

Das Glasfasernetz von BRAIN wird im Wesentlichen für folgende Dienste genutzt:

- Das BRAIN-Verbundnetz in Gigabit-Ethernet-Technik:
 - LAN-to-LAN-Kopplung der Standorte von Wissenschaftseinrichtungen auf L2-Ebene (L2-VPN)
 - Regionaler Datenverkehr über BRAIN
 - Quality of Service (QoS) / Class of Service (CoS)
 - WiN-Backup
 - Übergang zum Verwaltungsnetz (z. Z. nur Bestandsschutz)
- Vergabe von Glasfasern und WDM-Kanälen an einzelne Einrichtungen zur dedizierten Nutzung
- Realisierung des X-WiN in Berlin: Vergabe von Glasfasern und WDM-Kanälen zur Nutzung durch den DFN-Verein für das WiN-Kernnetz in Berlin und für Zugangsleitungen
- Pilotprojekt BRAIN-SAN² in direkter Zusammenarbeit mit den Berliner Hochschulen
 - Bereitstellung von "sicherem" Festplattenspeicher
 - Disaster Recovery für lokale Speichernetze
 - Anbieten von Magnetbandpools
 - Verbindung der "Teil"-SANs einer Einrichtung
 - Gemeinsamer Betrieb von Servern im SAN

Die auf dem Glasfasernetz von BRAIN angebotenen Dienste und die jeweils verwendete Technik werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

Heute stellt das Wissenschaftsnetz BRAIN eine unverzichtbare Basis für seine Teilnehmer dar und hilft, den Standort Berlin mit seiner Vielzahl bedeutender wissenschaftlicher und kultureller Einrichtungen zu stärken. BRAIN steht als Gemeinschaftsaufgabe allen öffentlich-rechtlichen Wissenschafts-, Kultur- und Bildungseinrichtungen mit Sitz in Berlin als kostengünstiges Breitbandnetz zur Verfügung. BRAIN hat sich als eine Art Selbsthilfeorganisation dieser Berliner Einrichtungen zur Verbesserung der Kommunikationsdienstleistungen etabliert.

2 Das BRAIN-Verbundnetz

Die bedeutendste Dienstleistung im Berliner Wissenschaftsnetz ist das BRAIN-Verbundnetz in Gigabit-Ethernet-Technik, mit einheitlichen Geräten und zentralem Netzwerkmanagement. Das BRAIN-Verbundnetz löste inzwischen die heterogenen Vorläufernetze Classical BRAIN-ATM und Classical BRAIN-GE vollständig ab. Mit der Planung des BRAIN-Verbundnetzes wurde Anfang 2003 begonnen. Nach intensiven Gesprächen und einer Diskussionsveranstaltung mit den (zukünftigen) Nutzern wurden die Anforderungen an das aufzubauende Verbundnetz formuliert:

- Die Verbindung der Standorte einer Einrichtung erfolgt mit hoher Bandbreite.
- Die Teilnehmer-Anschlüsse werden in Ethernet-Technik realisiert.
- Die Einrichtungen können eigene VLAN-Strukturen standortübergreifend einrichten.
- Jeder BRAIN-Router verfügt über mindestens eine redundante Verbindung innerhalb des Kernnetzes.

² SAN: Storage Area Network – Speichernetzwerk, in dem Clients und Speichergeräte über Fiber-Channel Daten austauschen.

- Ausfälle im Kernnetz werden automatisch erkannt und durch geeignete Maßnahmen kompensiert.
- Einrichtungsübergreifender Datenaustausch soll mit hoher Bandbreite möglich sein.
- Einsatz preiswerter Technik, Kostenvorteile werden an die Anwender weitergegeben.
- Die geschäftliche und technische Administration des Verbundnetzes erfolgt zentral.

Wir entschieden uns für die Nutzung von MPLS als Transportprotokoll im künftigen Backbone, weil damit die wesentlichen Anforderungen am besten technisch erfüllt werden konnten:

- MPLS ist ein bandbreitenunabhängiges Protokoll.
- MPLS kann mit preiswerter Ethernet-Technik kombiniert werden.
- Standortübergreifende VLAN-Strukturen für eine Einrichtung lassen sich gut mit VPLS³ als Bestandteil von MPLS abbilden.
- Fast-ReRoute sorgt für schnelle Umschaltung auf Ersatzwege bei einem Leitungsschaden.
- QoS-Anforderungen der Teilnehmer lassen sich mit MPLS erfüllen.
- Bandbreitenmanagement durch Ressource-Reservation-Protokoll (RSVP) lässt sich sehr gut mit MPLS umsetzen.

Basierend auf diesen Anforderungen erfolgte eine europaweite Ausschreibung für die Beschaffung von Gigabit-Ethernet-Routern mit MPLS-Unterstützung. Bei der Auswahl der Geräte wurde großer Wert auf die Einhaltung offener Standards und Drafts der MPLS-Working-Groups gelegt. Wichtig war auch die Unterstützung aller MPLS-Funktionalitäten in der Hardware durch entsprechende ASICs⁴ auf den Linecards. Den Zuschlag erhielt der DFN-Verein, der in Kooperation mit T-Systems Technik der Firma

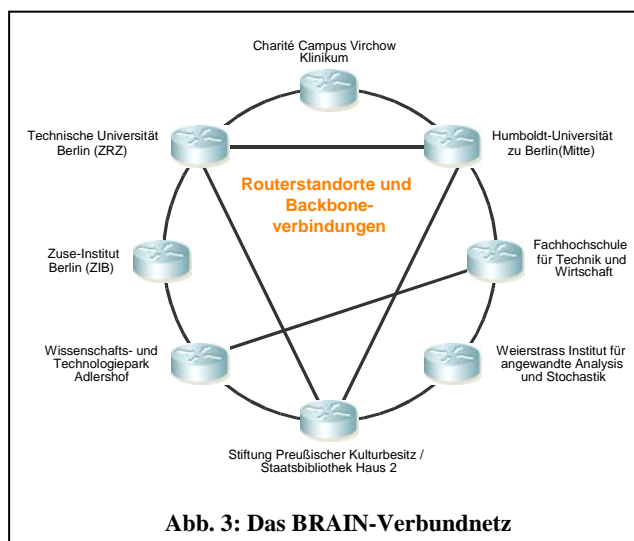


Abb. 3: Das BRAIN-Verbundnetz

Riverstone-Networks anbot. Es wurden insgesamt zehn Netzknoten vom Typ RS8000 beschafft, von denen acht auf unterschiedliche wissenschaftliche Standorte in der Stadt verteilt den MPLS-Backbone des BRAIN-Verbundnetzes bilden. Die Knoten sind durch einen Ring mit vier zusätzlichen Querverbindungen verbunden (Abb. 3). Im ZIB wurden zwei weitere Netzknoten installiert. Ein Netzknoten übernimmt weitere Routingfunktionen, verfügt jedoch über keine eigenen Teilnehmeranschlüsse. Auf dem zweiten Netz-

³ VPLS: Virtual Private LAN Services

⁴ ASICs: Application Specific Integrated Circuit - Integrierte Schaltkreise für spezielle Aufgaben, in der Regel nur eingeschränkt zur Laufzeit programmierbar, dafür verfügen sie über eine wesentlich höhere Ausführungsgeschwindigkeit als vergleichbare Softwareprogramme, die von Mikroprozessoren interpretiert und ausgeführt werden.

knoten werden neue Firmware oder komplizierte Konfigurationen getestet, ohne den Produktionsbetrieb der anderen Router zu beeinträchtigen.

Die Router verfügen über Slots zur Aufnahme von Modulen mit Gigabit-Ethernet-(GE-) Ports bzw. Modulen mit Fast-Ethernet-(FE-)Ports. Alle Ports (GE und FE) sind mit optischen Transceivern für den Anschluss von Multimode- oder Singlemode-LWL bestückbar. Zur Erhöhung der Ausfallsicherheit kann jeder Router zusätzlich mit einem zweiten Control-Modul ausgestattet werden.

Acht der zwölf Kernnetzstrecken sind mit Hilfe von bidirektionalen GBICs (Gigabit-Interface-Converter) als Single-Fiber-Verbindungen realisiert, drei weitere Strecken über WDM⁵-Verbindungen in Single-Fiber-Technik. In beiden Techniken (bidirektionale GBICs und Single-Fiber WDM) werden die Signale für den eingehenden und ausgehenden Datenverkehr über unterschiedliche Wellenlängen in der gleichen Faser transportiert. Dies führt zu einer Ersparnis von 202 km Einzelfaser gegenüber der Realisierung mit Doppelfaser allein im Kernnetz.

Das BRAIN-Verbundnetz ging im November 2003 in Betrieb und löste die dezentral betreuten Vorläufernetz komplett ab. Von den derzeit 27 BRAIN-Teilnehmern nutzen 24 Einrichtungen an 53 in der Stadt verteilten Standorten die Dienste des BRAIN-Verbundnetzes, 18 Standorte sind mit 1000 Mbit/s und 35 Standorte mit 100 Mbit/s angeschlossen.

2.1 Technik des Verbundnetzes

Als Transport-Protokoll im Kernnetz wird MPLS eingesetzt, BRAIN betreibt somit seit 2003 das erste nicht-kommerzielle Ethernet-Stadtnetz auf MPLS-Basis in Deutschland und eines der ersten in Europa. Der interessierte Leser sei an dieser Stelle auf den Anhang B verwiesen, in dem die wesentlichen Grundlagen von MPLS erläutert werden.

Der Einsatz von MPLS ermöglicht unter anderem:

- LAN-to-LAN-Kopplung auf Layer2-Ebene (VPLS⁶)
- Schnelles Umschalten aller Netzverbindungen auf alternative Pfade bei Leitungsstörungen
- Gezieltes Lenken der Verkehrsströme durch das Kernnetz, ggf. mit Bandbreitenreservierung

MPLS bietet die aus der ATM-Welt bekannten Features „Zusicherung einer Dienstgüte“ (Quality of Service, QoS) und „Verkehrsflusssteuerung“ (Traffic-Engineering), allerdings mit einem wesentlich geringeren Verwaltungsaufwand als bei ATM. Der Administrator definiert lediglich Anfangs- und Endpunkt einer zu konfigurierenden Verbindung durch das Kernnetz, sowie ggf. QoS-Merkmale und zugesicherte Bandbreite. Durch den Einsatz von Signalisierungsprotokollen wird anschließend automatisch ein entsprechender Pfad durch den Backbone generiert und an die Router signalisiert. Dieser Pfad kann dann für Layer2- oder Layer3-Dienste genutzt werden.

MPLS verwendet einen eigenen Header, der in den Datenframe zwischen dem Layer2-Header und dem Layer3-Header eingefügt wird. Diese Kapselung des Layer3-Headers

⁵ WDM: Wavelength Division Multiplex, Wellenlängenmultiplexverfahren - Die Übertragung der Daten verschiedener Anwendungen erfolgt zeitgleich mit unterschiedlichen Wellenlängen innerhalb einer Glasfaserverbindung.

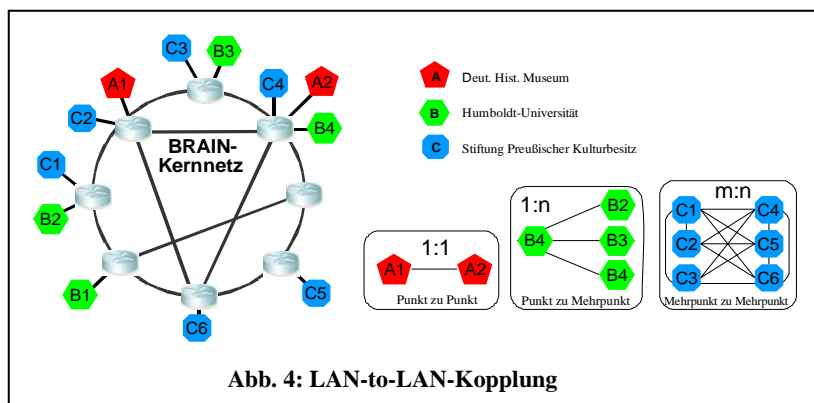
⁶ VPLS: Virtual Private LAN-Services

ermöglicht den Transport vielfältiger Datenarten, z. B. Telefonverkehr oder IP-Pakete. [4, 5]

2.2 Konkreter Einsatz der MPLS-Technik zum Nutzen der Anwender

2.2.1 LAN-to-LAN-Kopplung der Standorte von Wissenschaftseinrichtungen

Im Rahmen ihrer Anbindung wird für jede Einrichtung ein eigenes Layer2-VPN (Virtual-Private-Network) aufgespannt. Dieses Layer2-VPN verbindet die entfernten Standorte einer Einrichtung zu einem LAN, welches von den Teilnehmern mit eigenen VLANs segmentiert werden kann. Die VLAN-IDs (VIDs) können von jeder Einrichtung frei aus dem Bereich 2-1899,2000-4000 gewählt werden. Alle einkommenden Datenpakete (mit oder ohne VID) vom Quellport einer Einrichtung werden in MPLS-Pakete mit einer eindeutigen ID für jede Einrichtung gekapselt. Auf diese Weise sind die ursprünglichen Layer2-Header der Datenpakete im Backbone „unsichtbar“. Die Pakete werden durch den Backbone geschwitched, die Unterscheidung erfolgt an Hand der ID. Bei den ausgehenden Datenpaketen wird die MPLS-ID vor der Auslieferung entfernt – das ursprüngliche Ethernet-Paket wird unverändert an den Zielport der Einrichtung übergeben. Layer2-Broadcast-Domains bleiben auf diese Weise auf die Einrichtung beschränkt, selbst wenn von einer anderen Einrichtung gleiche VIDs verwendet werden. Jede Einrichtung verfügt damit über ein privates Standortübergreifendes LAN, auch VPLS genannt. In Abb. 4 sind die zurzeit im BRAIN realisierten LAN-to-LAN-Kopplungen für ausgewählte Einrichtungen schematisch dargestellt:



- **Punkt-zu-Punkt:**
Zwei Standorte einer Einrichtung werden über eine virtuelle Faser (LSP⁷) miteinander vernetzt.
- **Punkt-zu-Mehrpunkt:**
Die Verbindung einzelner Standorte erfolgt sternförmig, d. h. mit mehreren Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zu einem zentralen Standort.
- **Mehrpunkt-zu-Mehrpunkt:**
Jeder Standort einer Einrichtung erhält eine virtuelle Verbindung zu allen anderen Standorten der Einrichtung. Bei Komplettausfall der Technik eines Standortes können die anderen Standorte weiterhin untereinander Daten austauschen.

⁷ LSP: Label-Switched-Path - ein durch einen MPLS-Backbone geschalteter Datenpfad.

Durch die Möglichkeit der Weiterleitung beliebiger Ethernetframes durch das Verbundnetz erscheint das BRAIN-Kernnetz für die Administratoren der Netzgeräte in den Einrichtungen transparent. Somit können Änderungen in der VLAN- oder IP-Struktur einer Einrichtung selbständig durch deren Administratoren und ohne Absprache mit dem zentralen BRAIN-Netzwerkmanagement erfolgen.

2.2.2 Fast-Reroute im Kernnetz

Die Ringstruktur sowie die zusätzlichen Querverbindungen sorgen für Redundanz im Kernnetz. Die Eigenschaft „Fast-Reroute“ wird im BRAIN eingesetzt, um im Fall von Leitungsunterbrechungen im Kernnetz die darüber laufenden MPLS-Tunnel auf Alternativ-Pfade umzuschwenken. Da die Alternativ-Pfade beim Aufbau eines MPLS-Tunnels automatisch signalisiert werden, können bei einer Leitungsstörung die bestehenden Verbindungen in ca. 50 - 100 ms auf die Backup-Tunnel geschwenkt werden, ohne die laufenden Anwendungen einer Einrichtung zu unterbrechen. Ein Suchen nach einer alternativen Route, wie bei IP, findet nicht statt.

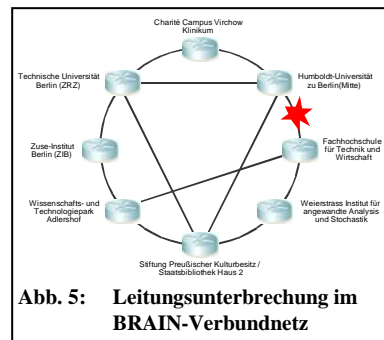


Abb. 5: Leitungsunterbrechung im BRAIN-Verbundnetz

Durch den Einsatz dieser Technik sind Unterbrechungen einzelner Kernnetz-Verbindungen für den Nutzer nicht spürbar. Dieses Feature hat sich in der Vergangenheit als außerordentlich hilfreich erwiesen, konnten so auf diese Weise geplante Wartungsarbeiten größtenteils während der normalen Geschäftszeiten durchgeführt werden.

2.2.3 Quality of Service / Class of Service

Für den Einsatz bestimmter Dienste, wie z. B. Voice-over-IP (VoIP), werden besondere Qualitätsanforderungen (z. B. niedrige Latenz und Jitter, geringe Verlustrate, hoher Durchsatz) an das Netz gestellt. Dies wird bei MPLS durch die sog. Class-of-Services (CoS) erreicht, mit denen die aus der ATM-Welt bekannten Quality-of-Services (QoS) umgesetzt werden. Auf diese Weise können QoS-fähige Endgeräte der BRAIN-Teilnehmer über das Kernnetz unter Beibehaltung aller Dienstgütemerkmale miteinander kommunizieren, eine Voraussetzung für VoIP. VoIP wird im BRAIN-Verbundnetz bereits von zwei Einrichtungen an insgesamt neun Standorten genutzt. [4, 5]

2.3 Einrichtungsübergreifender Verkehr über das Verbundnetz

Alle am BRAIN-Verbundnetz angeschlossenen Einrichtungen können über ihren Anschluss Daten über IP mit anderen BRAIN-Verbundnetz-Teilnehmern austauschen. Voraussetzung ist eine bestehende BGP-Session (BGP-4⁸) zwischen dem jeweiligen BRAIN-Kernnetzrouter und dem Router der Einrichtung. Über diese BGP-Session tauschen die Partner Peering-Informationen aus:

- die Einrichtung annonciert an BRAIN ihre eigenen IP-Netze (ausgenommen die nicht routebaren Netze nach RFC 1918)
- BRAIN annonciert der Einrichtung alle ihm bekannten Netze

⁸ BGP-4: Border Gateway Protocol - Protokoll zwischen Routern zur Festlegung der Wegewahl in IP-Netzen.

Auf dem Router der Einrichtung existieren nun neben der Default-Route zum WiN-Interface weitere Routen direkt zu den jeweiligen Netzen anderer Berliner Einrichtungen. Diese Routen werden gegenüber der Default-Route bevorzugt - der Berlin-interne Verkehr geht durchs BRAIN und entlastet das WiN-Interface der Einrichtung.

Da zum Betrieb einer BGP-Session eine eigene AS⁹-Nummer für jede Einrichtung notwendig ist, vergibt BRAIN Nummern aus einem Bereich von AS-Nummern, welcher von der IANA¹⁰ für die interne Nutzung freigegeben wurde (siehe auch RFC1930¹¹). Eine gute Einführung in BGP bietet [6].

Als weitere Möglichkeit des Datenaustausches lassen sich zwischen den Standorten unterschiedlicher Einrichtungen VLANs durch das Verbundnetz koppeln. Dazu wird mit Hilfe von MPLS ein Label-Switched-Path (LSP) von einem Standort zum anderen Standort eingerichtet. Dieser LSP (vergleichbar mit einem ATM-PVC) transportiert ein oder mehrere VLANs zwischen verschiedenen Einrichtungen. Dafür ist eine Abstimmung zwischen den beteiligten Verbundnetz-Teilnehmern und dem Netzwerkmanagement notwendig. Dieser Dienst wird aktuell von drei Einrichtungen in Anspruch genommen.

2.4 WiN-Backup über BRAIN

Die Anbindung einzelner Wissenschaftseinrichtungen an das X-WiN des DFN-Vereins über die BRAIN-Infrastruktur ist in Abschnitt 4 beschrieben. Da die Mehrzahl der Einrichtungen den internationalen IP-Verkehr ausschließlich über den DFN-Verein abwickelt, ist ein störungsfreier Betrieb außerordentlich wichtig. Für BRAIN-Verbundnetz-Teilnehmer bietet sich hier eine kostengünstige Ausfallsicherung an.

Im Normalfall gelangt der Internet-Verkehr einer Einrichtung über eine dedizierte Zuleitung zum nächsten DFN-Kernnetzknotten, von dort ab sind die Übertragungsstrecken seitens des DFN-Vereins redundant ausgelegt. In Abb. 6 ist der reguläre Datenfluss am Beispiel einer Einrichtung in Berlin-Adlershof (Knoten ADH) dargestellt.

Eine Unterbrechung der Verbindung zwischen der Einrichtung und dem Kernnetzknotten kann unterschiedliche Ursachen haben:

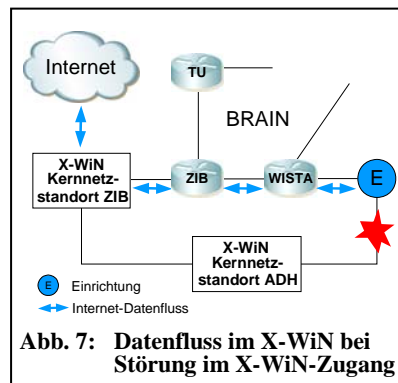
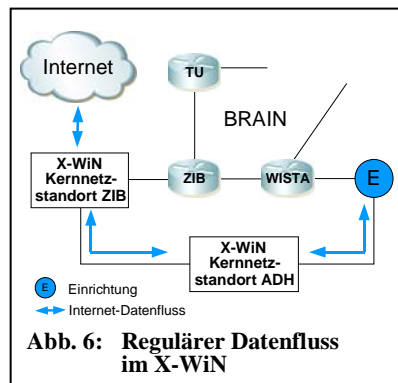
- geplante Wartungsmaßnahmen
- Unterbrechung der Zuleitung
- Ausfall von Netztechnik beim Anwender oder beim DFN-Verein

Kommt es zu einer Unterbrechung des IP-Verkehrs über den Standardzugangsweg, kann die BRAIN-Anbindung von BRAIN-Verbundnetz-Teilnehmern, die über separate Leitungen und separate Technik geführt wird, als Ersatz genutzt werden – dies gilt nicht für Einrichtungen, die auf Basis des DFN-Portanschlusses bereits ihren BRAIN-Verbundnetzzugang zur Anbindung an das X-WiN nutzen. Die BRAIN-Knoten im ZIB und in der TU Berlin sind mit dem jeweiligen vor Ort befindlichen DFN-Kernnetzknotten „ZIB“ bzw. „TUB“ über eine Gigabit-Ethernet-Verbindung verbunden, über die der Datenverkehr dann geführt wird (Abb. 7). Durch den Einsatz von BGP-4 erfolgt die Umschaltung der Wegführung sowohl auf Seiten des Anwenders als auch im DFN-Netz vollständig automatisch innerhalb von Sekunden – schneller, als die Unterbrechung vom Anwender normalerweise zur Kenntnis genommen wird.

⁹ AS: Autonomous System - Ansammlung von IP-Netzen welche als Einheit verwaltet werden und über ein gemeinsames (oder auch mehrere) internes Routing-Protokoll (IGPs) verbunden sind.

¹⁰ IANA: Internet Assigned Numbers Authority

¹¹ RFC1930: Guidelines for creation, selection, and registration of an Autonomous System (AS)



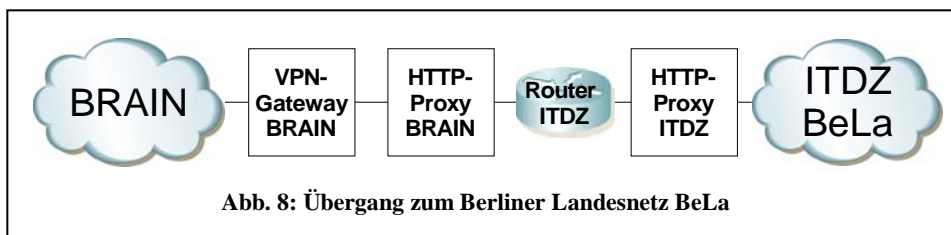
Der Dienst „WiN-Backup über BRAIN“ wird von der Mehrzahl der BRAIN-Verbundnetz-Teilnehmer genutzt, sehr erfolgreich war er während der Zeit der Umstellung vom G-WiN zum X-WiN im Zusammenhang mit dem Einsatz neuer Zugangstechnik bei den Anwendern. Die Umstellung konnte von den Beteiligten ohne Hektik zu angenehmen Zeiten – in einem Fall über mehrere Tage – durchgeführt werden. Generell bemerkten die Anwender die Unterbrechung auf der Standard-WiN-Verbindung nicht, lediglich das zentrale BRAIN-Netzwerk-Management wurde bei der Überwachung der Verkehrsströme auf die Unterbrechungen aufmerksam.

2.5 Übergang zum Berliner Landesnetz BeLa

Obwohl, wie in Abschnitt 1 ausgeführt, das Wissenschaftsnetz BRAIN und das Berliner Landesnetz BeLa dasselbe Glasfaserkabelnetz verwenden, werden für die Nutzung der Netze unterschiedliche Organisationsformen und unterschiedliche Netzprotokolle verwendet. Innerhalb des BeLa betreibt das ITDZ ein Intranet mit einer Reihe von Dienstleistungen, die auch für die Hochschulverwaltungen interessant sind. Die Universitäten und Fachhochschulen Berlins verfügen nicht über eigene Anschlüsse an das BeLa, daher haben die Verwaltungen der Hochschulen zunächst keinen Zugriff zu den Daten innerhalb desselben.

Eine der Anwendungen auf dem BeLa ist der Dokumentenserver für die Berliner Behörden, der auch von den Hochschulverwaltungen benötigt wird. Im Rahmen von BRAIN wird seit 2003 im ZIB ein Übergang zwischen dem Wissenschaftsnetz und dem BeLa betrieben, der den hohen Sicherheitsanforderungen der Verwaltungen genügt. Die Vergabe der Zugangsberechtigung erfolgt nur an registrierte Personen und an registrierte IP-Adressen der Hochschulverwaltungen.

Für den Verbindungsaufbau eines berechtigten Arbeitsplatzes in einer Hochschulverwaltung mit dem BeLa wird zunächst eine verschlüsselte Verbindung zwischen dem jeweiligen Client-PC in der Hochschulverwaltung und einem VPN-Gateway (Hardware) im



ZIB aufgebaut, notwendig dafür ist der Einsatz einer speziellen von BRAIN zur Verfügung gestellten Software auf dem Arbeitsplatz-PC des Anwenders. Das VPN-Gateway etabliert einen verschlüsselten IP-Tunnel zwischen dem VPN-Client und dem VPN-Gateway im ZIB nach Prüfung der Voraussetzungen. Die Nutzeranfragen werden nicht direkt an die Dokumentenserver gestellt, sondern an einen vom BRAIN betriebenen HTTP-Proxy im ZIB, dieser leitet die Anfragen an einen weiteren HTTP-Proxy im ITDZ-Netz weiter. Der ITDZ-Proxy kontaktiert die einzelnen Dokumentenserver im ITDZ-Intranet und erhält schließlich die gewünschten Informationen. Die Ergebnisse der Anfrage sendet der ITDZ-Proxy an den BRAIN-Proxy zurück, welcher sie seinerseits an die aufrufende Einrichtung weiterleitet.

Aus Sicherheitsgründen muss während der Dauer des Zugriffs auf den ITDZ-Dokumentenserver der Client-PC vom lokalen Netz der jeweiligen Hochschuleinrichtung getrennt sein. Dies wird von der jeweiligen Client-Software automatisch bei Verbindungsaufbau geleistet. Nach Verbindungsabbau wird die LAN-Verbindung des Client-PC automatisch wieder hergestellt.

Der Dienst „Übergang zum Berliner Landesnetz“ besteht seit 2002 und wird von allen am BRAIN angeschlossenen Universitäten und Fachhochschulen genutzt. Die für den Zugang via BRAIN notwendige VPN-Client-Software ist auf Microsoft Windows-Systemen bis XP (Service-Pack 1) lauffähig. Die Hardware (VPN-Gateway CC500) und die Software (Nokia-VPN-Client) wurden von Nokia abgekündigt und werden nicht weiter supported. Da das ITDZ inzwischen eine eigene VPN-Lösung für den Zugriff auf das BeLa anbietet, wird von BRAIN für diesen Dienst derzeit nur noch Bestandsschutz gewährt.

3 Einsatz von Multiplex-Techniken

BRAIN setzt derzeit auf acht Strecken WDM-Technik für den Transport von Gigabit-Ethernet, Fast-Ethernet, ATM, Fibre Channel und SDH ein. Die WDM-Geräte der Serie TS1100 des schwedischen Herstellers Transmode sind über eine einzelne dedizierte Glasfaser miteinander verbunden. Der modulare Aufbau der Geräte ermöglicht künftige Erweiterungen durch den Einsatz von Modulen (Transponderkarten, Multiplexer/DeMultiplexer, siehe Abb. 9). Im derzeitigen Ausbau können pro Wellenlänge Bandbreiten bis zu 2,5 Gbit/s übertragen werden. Das Management der Geräte erfolgt vollständig über eine einfach gehaltene Web-Schnittstelle und über SNMP¹² und ist daher mit allen aktuellen Betriebssystemen möglich. Ein dedizierter Server mit proprietärer Steuerungssoftware ist nicht notwendig.

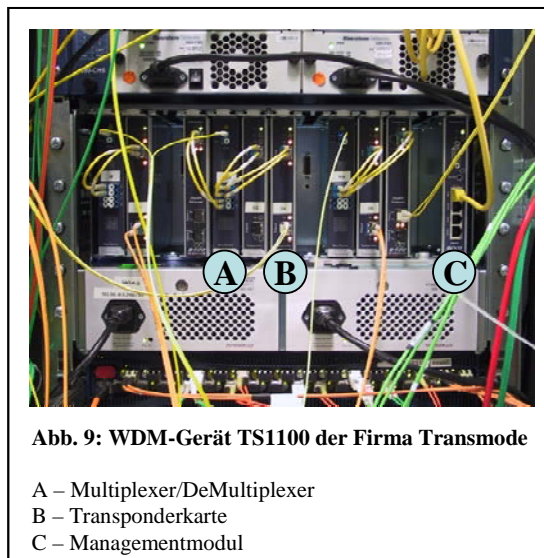


Abb. 9: WDM-Gerät TS1100 der Firma Transmode

- A – Multiplexer/DeMultiplexer
- B – Transponderkarte
- C – Managementmodul

¹² SNMP: Simple Network Management Protocol, einfaches Protokoll zur Überwachung und Steuerung von Netzkomponenten

Die WDM-Komponenten sind in der Lage, vier Farben aus dem CWDM¹³-Wellenlängenspektrum gleichzeitig über eine LWL zu übertragen. Dabei können pro Farbe Bandbreiten bis zu 2,5 Gbit/s genutzt werden. Durch die Kombination von CWDM mit TDM¹⁴-Modulen lassen sich mehrere Anwendungen über eine Wellenlänge übertragen. Die Daten der unterschiedlichen Anwendungen werden zeitlich versetzt auf die Trägerwelle (entspricht einem 2,5 Gbit/s optischen Kanal) moduliert. Beispielsweise werden auf einer Strecke mit Hilfe eines TDM-Moduls zwei Fast-Ethernet-Kanäle und zwei STM1-Kanäle innerhalb einer Wellenlänge über eine Faser übertragen. Auf diese Weise wurden Engpässe im Glasfasernetz behoben und Glasfaserstrecken eingespart.

Im BRAIN werden derzeit mit WDM-Technik Strecken in einer Gesamtlänge von 184 km Einzelfaser betrieben. Würde stattdessen für jede der im WDM-Kernnetz transportierten Anwendungen eine separate Doppelfaser geschaltet werden, ergäbe sich eine Gesamtlänge von 1.054 Faserkilometer, dies entspricht einer Ersparnis von 82,5% gegenüber der Bereitstellung von Dark-Fiber pro Anwendung.

4 Realisierung des X-WiN in Berlin

Bereits im Jahr 1994 vereinbarten der DFN-Verein und die wissenschaftlichen Einrichtungen in Berlin unter Federführung des ZIB, die entstehende Leitungsstruktur von BRAIN zur Förderung des Deutschen Forschungsnetzes zum Vorteil aller Beteiligten zu nutzen. Im Jahr 1994 konnten zunächst im Rahmen des Schmalband-WiN (S-WiN) zwei 2 Mbit/s-Anschlüsse sowie mehrere 64 kbit/s- und 9,6 kbit/s-Anschlüsse gemeinsam im Rahmen einer Landesvereinbarung durch insgesamt 15 Berliner Wissenschaftseinrichtungen genutzt werden. Mit Bereitstellung des Breitband-WiN (B-WiN) im Jahr 1996 nutzten bereits 28 Einrichtungen einen gemeinsamen Anschluss an der Freien Universität Berlin (FUB), zunächst mit 34 Mbit/s, später mit 155 Mbit/s. Mit der Ausdehnung des BRAIN-Kabelnetzes nach Potsdam im März 1999 standen insgesamt 40 Wissenschaftseinrichtungen in Berlin und Potsdam gemeinsam die beiden 155 Mbit/s-Anschlüsse an der FUB und der Universität Potsdam zur Verfügung. Die Verantwortung für die Datenleitungen in Berlin bzw. Potsdam sowie für die Verteilung der Datenströme in der Region lagen beim BRAIN gemeinsam mit der Universität Potsdam.

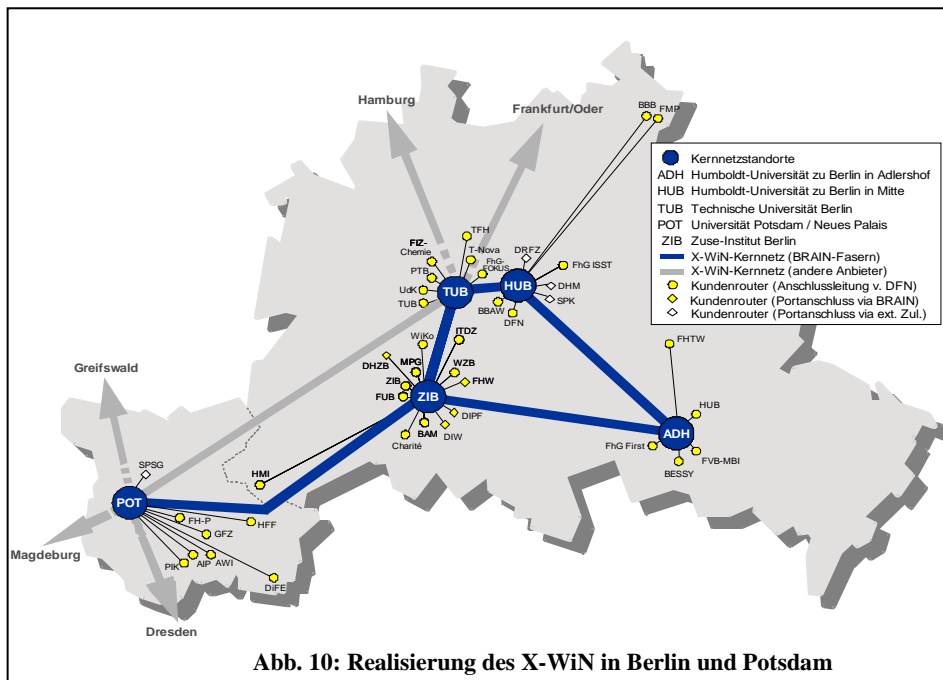
Der DFN-Verein führte das Modell der Gemeinschaftsanschlüsse mit dem Auslaufen des B-WiN zum Ende des Jahres 2000 nicht weiter. Im neu entstandenen Gigabit-WiN (G-WiN) waren zunächst (neben den Mitnutzungsvereinbarungen für kleine Anschlüsse bis 2 Mbit/s) nur noch Einzelanschlüsse, bei der die Verantwortung des DFN-Vereins erst am Standort des Anwenders endet, vorgesehen. Um auch weiterhin die landeseigene Infrastruktur zum Vorteil aller Beteiligten zu nutzen, wurde vereinbart, ca. 300 km Doppelfaser von BRAIN und dem Potsdamer MAN an den DFN-Verein für die Verbindung des neuen G-WiN-Kernnetzknötens im ZIB mit den vier Regionalknoten in den Universitäten sowie der direkten Anbindungen an die Anwender auf Mietbasis zur Verfügung zu stellen. Gleichzeitig beauftragten die Berliner und Potsdamer Einrichtungen den DFN-Verein, mit Hilfe der vorhandenen Infrastruktur zusätzliche Bandbreiten für den regionalen Verkehr der Einrichtungen untereinander bereit zu stellen.

Im vierten Quartal 2005 wurde das X-WiN-Kernnetz in der Region Berlin/Potsdam in Betrieb genommen. Die bisherigen Regionalknoten wurden gleichberechtigte Kernnetzknötens, die beiden benachbarten Standorte in der FUB und im ZIB sind zu einem Standort im ZIB zusammengeführt worden, ein zusätzlicher Knoten ist auf Grund der Erfor-

¹³ CWDM: Coarse Wavelength Division Multiplexing, 1470 – 1610 nm mit 20 nm Abstand

¹⁴ TDM: Time Division Multiplexing, Zeitmultiplexverfahren - die Übertragung der Daten verschiedener Anwendungen erfolgt zeitlich versetzt innerhalb eines Datenkanals.

dernisse im Computer- und Medienzentrum der Humboldt-Universität zu Berlin in Berlin-Adlershof eingerichtet worden. Das Berliner Wissenschaftsnetz BRAIN bzw. die Universität Potsdam stellen dem DFN-Verein hierfür ca. 125 km Doppelfaser gegen Entgelt zur Verfügung. Für die überregionalen Verbindungen, die über die Technische Universität Berlin nach Hamburg und Frankfurt (Oder) und über die Universität Potsdam nach Magdeburg, Dresden und Greifswald erfolgen, sowie für die direkte Verbindung dieser beiden Kernnetzstandorte hat der DFN-Verein Glasfaserverbindungen von den Leitungsanbietern GasLine bzw. KPN angemietet, (siehe Abb. 10).



Derzeit hat der DFN-Verein in der Region mehr als 30 Wissenschaftseinrichtungen über weitere 170 km Doppelfaser von BRAIN bzw. des Potsdamer MAN sowie zwei Einrichtungen über STM1-Verbindungen per WDM auf einer 35 km langen Einzelfaser an die fünf Kernnetzknotten in Berlin und Potsdam angebunden.

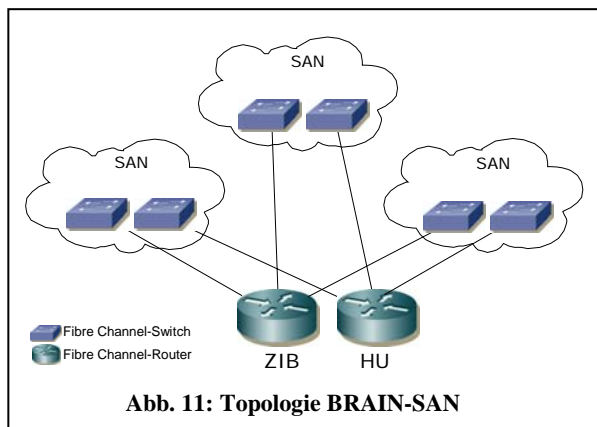
Weitere acht Wissenschaftseinrichtungen in der Region mit Anforderungen an die Bandbreite bis zu 34 Mbit/s nehmen am X-WiN auf der Basis des „Portanschlusses“ teil, für welchen anstelle des DFN-Vereins der Anwender für die Zugangsleitung bis zum Kernnetzknotten verantwortlich ist. Hierfür verwenden vier Einrichtungen, die mit auf dem Campus einer Universität oder unmittelbar benachbart angesiedelt sind, Zugangsleitungen der jeweiligen Universität; die anderen vier Einrichtungen das BRAIN-Verbundnetz (siehe Abschnitt 2).

Die technische Zusammenarbeit zwischen dem DFN-Verein und den Rechenzentren, die die Kernnetzknotten beherbergen, erfolgt reibungslos; Kleinaufträge vom DFN-NOC in Stuttgart, z. B. das Patchen für eine neue Verbindung, werden von Mitarbeitern der Rechenzentren in der Regel innerhalb einer Stunde durchgeführt. Auch die geschäftliche Zusammenarbeit erfolgt im beiderseitigen Einvernehmen: Einerseits ist das ZIB „normaler Anwender“ im X-WiN und nimmt auf der Basis des DFN-Standardvertrages Teil an diesem Dienst, andererseits ist das ZIB als Treuhänder für BRAIN Bereitsteller der vom DFN-Verein im Kernnetz und als Zugangsleitungen in Berlin verwendeten Übertragungsstrecken.

5 Pilotprojekt BRAIN-SAN

Im Rahmen von BRAIN wird derzeit, zusätzlich zum BRAIN-IP-Verbundnetz, ein "BRAIN-SAN" erprobt, um Möglichkeiten einer verteilten Datenhaltung der Berliner Hochschulen und wissenschaftlichen Einrichtungen zu schaffen.

Mit dem BRAIN-SAN können die Hochschulen und wissenschaftlichen Einrichtungen ihre Datenhaltungsressourcen gegen Entgelt gegenseitig anbieten bzw. nutzen, ihre Managementkapazitäten bündeln und durch örtlich verteilte Speicherung ihr Risiko, Daten durch Havarien zu verlieren, minimieren.



Innerhalb des Pilotzeitraumes sollen folgende möglichen Dienste erprobt werden:

- Bereitstellung von "sicherem" Festplattenspeicher:
Einrichtung A betreibt ein SAN und bietet Einrichtung B Festplattenspeicher an; die Daten werden an unterschiedlichen Standorten gespiegelt und auf Magnetbänden gesichert (permanente Lösungen oder Überbrückung von Engpässen).
- Disaster Recovery für lokale Speichernetze:
Einrichtung A betreibt ein SAN und möchte aus Gründen des Katastrophenschutzes Daten zusätzlich auch an einem anderen Standort B speichern.
- Anbieten von Magnetbandpools:
Eine Einrichtung besitzt einen Speicherroboter und bietet Magnetbandpools anderen Einrichtungen an.
- Verbindung der "Teil"-SANs einer Einrichtung:
Eine Einrichtung mit mehreren Standorten kann die Speicheranforderungen dezentraler Standorte über ihre Speicherkapazität am Hauptstandort erfüllen.
- Gemeinsamer Betrieb von Servern im SAN:
Zwei Einrichtungen A und B betreiben derzeit je einen anonymen FTP-Server. Diese werden auf einem SAN gemeinsam angeboten, der Zugriff kann unverändert über die jeweilige Einrichtung erfolgen.

Im Zuse-Institut Berlin (ZIB) und in der Humboldt-Universität zu Berlin (HU) wird von BRAIN je ein Multi-Protocol-Router MPR7500 der Firma Brocade betrieben, zu denen jede interessierte Einrichtung nach Möglichkeit zwei unabhängige Fibre Channel-Anbindungen zu ihren lokalen Fibre Channel-Switches erhält (siehe technische Beschreibung zu Fibre Channel im Anhang C). Für das Pilotprojekt sind derzeit 12 Strecken über WDM-Verbindungen realisiert, 4 weitere Strecken mit LWL-Doppelfasern.

Während der Pilotphase bis Ende 2009 sollen Technik und Organisation erprobt werden. Die Netzanbindung sowie ein begrenztes Speichervolumen wird den derzeit fünf Pilotteilnehmern bis Ende 2007 kostenfrei, danach zu geringem Entgelt in Berlin zur Verfügung gestellt. Ziel dieses Pilotbetriebes ist zu prüfen, ob ein solcher Dienst auf Dauer (über 2009 hinaus) angeboten wird.

5.1 Technik des BRAIN-SAN

Die Multi-Protocol-Router MPR7500 der Firma Brocade bieten die Möglichkeit, einzelne oder mehrere Geräte physisch getrennter SANs einer oder mehrerer Einrichtungen logisch miteinander zu verbinden. Innerhalb Berlins werden Entfernungen bis zu 35 km überbrückt. Durch die Koppelung der Geräte entsteht ein so genanntes Logical Private SAN (LSAN¹⁵) [7]. Mit Hilfe dieser LSAN erhält jede am BRAIN-SAN-Piloten teilnehmende Einrichtung die Kontrolle darüber, welche eigenen SAN-Ressourcen welcher anderen Einrichtung zur Verfügung gestellt werden.

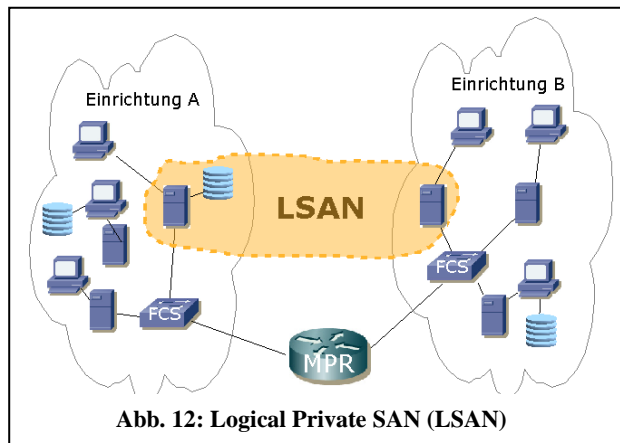


Abb. 12: Logical Private SAN (LSAN)

Um LSANs zwischen den Einrichtungen zu konfigurieren, muss der Administrator der BRAIN-SAN-Router einmalig in einer Matrix auf den Routern festlegen, welche Einrichtung LSANs mit anderen Einrichtungen bilden kann. Im BRAIN-SAN kann grundsätzlich jeder Teilnehmer eine LSAN-Beziehung zu allen anderen Teilnehmern aufbauen. Dies geschieht wie folgt:

Die MPR7500 machen die Einrichtung eines gemeinsamen LSAN zwischen zwei Einrichtungen relativ einfach. Die teilnehmenden Einrichtungen tauschen die WWN¹⁶s der SAN-Geräte aus, die Ressourcen anbieten/nutzen. Aus den WWNs werden eindeutige Zonen¹⁷bezeichner, unter denen anschließend

- Einrichtung A Geräte für Einrichtung B bereitstellt,
- Einrichtung B Geräte von Einrichtung A importiert.

Nach Konfiguration der Zonenbezeichner auf den Teilnehmer-Switchen werden diese an die MPR7500 übermittelt. Die Router erkennen gemeinsame Zonenbezeichner und richten automatisch LSANs für den Datenaustausch ein.

Aus praktischen Gründen können nur 1:1-Beziehungen gebildet werden, also zwei Teilnehmer pro LSAN. Jeder Teilnehmer kann allerdings beliebig viele dieser 1:1-Beziehungen zu anderen Teilnehmern bilden.

¹⁵ LSAN - Logisches SAN

¹⁶ WWN - World-Wide-Number, eindeutige Geräteadresse einer Komponente im SAN

¹⁷ Zone - Die Segmentierung eines SANs erfolgt durch Einteilung in Zonen. Die Komponenten einer Zone sind für SAN-Komponenten außerhalb dieser Zone nicht sichtbar.

6 Zentrales Netzwerkmanagement

Sämtliche aktiven Netzkomponenten (Router, Switche und WDM-Geräte) werden zentral vom ZIB aus administriert und einschließlich der Infrastruktur in den externen Knotenräumen überwacht. Zur Netzüberwachung werden sowohl eigenentwickelte Programme (vorwiegend in der Programmiersprache Perl) als auch die Open Source Software Nagios (detaillierte Informationen zum Einsatz von Nagios siehe Anhang D) eingesetzt, die auf UNIX-basierten Systemen lauffähig sind; als Server kommen Systeme mit Debian GNU/Linux zum Einsatz. Zum Zwecke der Serverkonsolidierung kommt Virtualisierung¹⁸ auf Basis von XEN¹⁹ zum Einsatz.

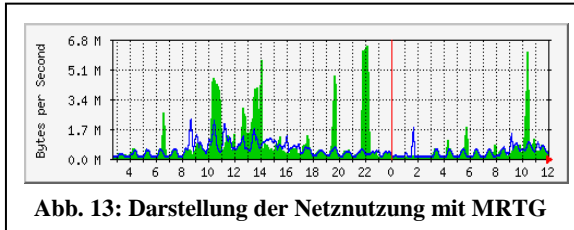


Abb. 13: Darstellung der Netznutzung mit MRTG

Die grafische Aufbereitung der Netzauslastung der Perl-Skripte erfolgt mit MRTG²⁰. Der aktuelle Status des Gigabit-Ethernet-Kernnetzes kann über eine Webschnittstelle²¹ mit allen gängigen Web-Browsern von überall eingesehen werden. Sowohl die externe als auch die interne Dokumentation werden ebenfalls über Webschnittstellen bereitgestellt.

Zu den regelmäßigen Aufgaben des zentralen BRAIN-Netzwerkmanagements gehören auch das Schalten und die Inbetriebnahme neuer Glasfaser-Verbindungen, die Fehlersuche, Fehleranalyse und ggf. Fehlerbehebung innerhalb der Anbindungen der Standorte sowie insbesondere auch die Beratung der Einrichtungen in allen Fragen der Anbindung von entfernten Standorten ans BRAIN.

Für die Fehlersuche auf Glasfaserstrecken hat sich die Beschaffung eines OTDR²²-Messgerätes bewährt. Mit Hilfe dieses Gerätes lassen sich Leitungsschäden bzw. schlechte Steckverbindungen innerhalb einer geschalteten Glasfaserstrecke feststellen und lokalisieren.

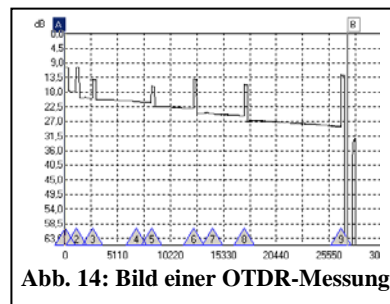


Abb. 14: Bild einer OTDR-Messung

7 Organisation von BRAIN

BRAIN wird nach außen in rechtlicher und wirtschaftlicher Hinsicht treuhänderisch vom ZIB vertreten. Für die Realisierung der Aufgaben von BRAIN werden zwei ganze und zwei Teilzeitstellen im ZIB aus Erlösen des BRAIN finanziert. Die wesentlichen Komponenten der einfachen Organisationsstruktur von BRAIN sind in den folgenden Abschnitten aufgeführt.

¹⁸ Virtualisierung - Simulation von Hardware auf einem Computer durch geeignete Software

¹⁹ XEN - Virtualisierungssoftware, die an der Universität Cambridge entwickelt wurde

²⁰ MRTG: Multi Router Traffic Grapher - einfach zu bedienendes Werkzeug zur grafischen Darstellung von Verkehrsflüssen, z. B. in Routern, <http://oss.oetiker.ch/mrtg/>

²¹ <http://www.brain.de/netzstatus>

²² OTDR: Optical-Time-Domain-Reflectometer - Gerät zur Ermittlung und Analyse von Laufweiten und Reflexionscharakteristika von elektromagnetischen Wellen und Signalen im Wellenbereich des Lichts

7.1 Die BRAIN-Planungsgruppe

Im Jahr 1991 wurde auf Vorschlag der Universitäten und des ZIB vom Senator für Wissenschaft und Forschung eine Berliner MAN-Planungsgruppe ins Leben gerufen, aus ihr ist 1995 die „BRAIN-Planungsgruppe“ hervorgegangen. Die BRAIN-Planungsgruppe besteht aus vier Mitgliedern der drei großen Berliner Universitäten und des ZIB. Als zentrales Planungs- und Steuerungsorgan für sämtliche standortübergreifende Netzaktivitäten der Berliner Wissenschaftseinrichtungen definiert sie u. a. Projekte, die neben dem Betrieb der regionalen Kommunikationsinfrastruktur unter Standardbedingungen mit einer hohen Produktionssicherheit auch die Erprobung neuer Techniken und Anwendungen zum Nutzen der beteiligten Einrichtungen zum Inhalt haben. Die Umsetzung der Projekte kann durch BRAIN-Mitarbeiter oder durch Vergabe an eine der beteiligten Einrichtungen erfolgen. Die BRAIN-Planungsgruppe arbeitet eng mit der entsprechenden MAN-Gruppe der Universität Potsdam, mit dem ITDZ und dem DFN-Verein zusammen.

7.2 Die BRAIN-Geschäftsstelle

Zu den Aufgaben der BRAIN-Geschäftsstelle gehört insbesondere die Verwaltung des Glasfasernetzes, u. a. die Vergabe von Glasfaserstrecken, die Vergabe von Patchaufträgen an das ITDZ und einzelne Anwender sowie die Beauftragung neuer Strecken. Für die Verwaltung der derzeit 176 Verbindungen auf 260 Teilstrecken wird ein maßgeschneidertes Kabelmanagementsystem eingesetzt. Daneben ist die Geschäftsstelle zuständig für Ausarbeiten und Überprüfen der Verträge mit dem ITDZ (Nutzen des Glasfasernetzes), dem DFN-Verein (BRAIN als Anbieter von Glasfaser und sonstigen Datenverbindungen) und den Anwendern (Nutzen der Dienste) einschließlich der Überwachung des Geldflusses.

7.3 Das BRAIN-NOC (Network Operations Center)

Das BRAIN-NOC ist verantwortlich für die Konfiguration und Aufrechterhaltung der von BRAIN angebotenen Dienste sowie die technische Umsetzung der von der BRAIN-Planungsgruppe beschlossenen Projekte. Das BRAIN-NOC setzt sich aus Mitarbeitern der BRAIN-Geschäftsstelle und der Freien Universität Berlin (FU) zusammen. Im Falle von technischen Störungen können die Mitarbeiter des BRAIN-NOC über eine Hotline-Rufnummer (030/838-BRAIN) während der üblichen Geschäftszeiten (Mo – Fr, 8.00 Uhr bis 16.00 Uhr) von BRAIN-Teilnehmern kontaktiert werden. Außerhalb dieser Zeiten besteht die Möglichkeit, eine Nachricht auf der Voice-Mailbox zu hinterlassen. Sobald möglich, wird der Anrufer anschließend von einem der BRAIN-Mitarbeiter zurückgerufen.

7.5 Die Vertragsgestaltung

Alle von BRAIN angebotenen Dienste werden in einem einheitlichen Vertrag zusammengefasst, die anfallenden Investitions- und Betriebskosten werden entsprechend der Zahl der Anschlüsse, Anschlussbandbreiten und Streckenlängen auf die Teilnehmer umgelegt, wobei auch der Anteil der Grundfinanzierung für die Einrichtung durch das Land Berlin eine entscheidende Rolle spielt.

Der Betrieb von BRAIN wird im Wesentlichen durch seine Nutzer finanziert. Das Land Berlin trägt allerdings pauschal die überwiegenden Kosten für die Wartung des Glasfasernetzes, soweit es vom ITDZ bereitgestellt wird. Die jährlichen Kosten für die Nutzung des BRAIN-Verbundnetzes mit allen beschriebenen Dienstleistungen (also einschließlich WiN-Backup und Zugang zum Verwaltungsnetz) betragen derzeit beispielsweise (je nach Art der Grundfinanzierung der Einrichtung durch das Land Berlin):

- 1 x 100 Mbit/s-Anschluss: 3.933 €- 9.800 €(zzgl. Ust)
- 1 x 1000 Mbit/s- und 1 x 100 Mbit/s-Anschluss: 8.933 €- 21.200 €(zzgl. Ust)

8 Fazit

Heute stellt das Wissenschaftsnetz BRAIN, basierend auf dem landeseigenen Glasfasernetz, eine unverzichtbare Basis für seine Teilnehmer dar und hilft, den Standort Berlin mit seiner Vielzahl bedeutender wissenschaftlicher und kultureller Einrichtungen zu stärken. BRAIN steht als Gemeinschaftsaufgabe allen öffentlich-rechtlichen Wissenschafts-, Kultur- und Bildungseinrichtungen mit Sitz in Berlin als kostengünstiges Breitbandnetz zur Verfügung und hat sich zur Verbesserung der Kommunikationsdienstleistungen etabliert. Die Dienstleistungen von BRAIN helfen den lokalen Netzadministratoren der beteiligten Einrichtungen in ihrer Arbeit und stellen insgesamt eine beispielhafte Zusammenarbeit der Berliner Wissenschaftseinrichtungen untereinander zum Wohle aller dar. Diese Dienstleistungen sind nicht in Konkurrenz zum DFN-Verein oder zu gewerblichen IP-Providern zu sehen, sondern tragen dazu bei, trotz knapper werdender Mittel in den öffentlichen Haushalten, zukunftsorientierte Netzverbindungen bereitzustellen. Die Mitarbeiter von BRAIN werden auch zukünftig das Dienstangebot des Berliner Wissenschaftsnetzes gemäß den Anforderungen der Teilnehmer und den technischen und finanziellen Möglichkeiten verbessern und erweitern.

Im Jahr 2008 werden weitere Einrichtungen mit deren Standorten an das BRAIN-Kernnetz angeschlossen. Eine Ausdehnung des BRAIN-Verbundnetzes nach Potsdam, d. h. die Installation eines eigenen BRAIN-Kernnetzknötens, über den sämtliche BRAIN-Dienste auch für die Potsdamer Einrichtungen zur Verfügung stehen, wird angestrebt. Die Ausnutzung des verfügbaren Kabelkontingents wird durch Einsatz zusätzlicher WDM-Technik optimiert. Die Möglichkeit zur Erhöhung der Redundanz innerhalb des Kabelnetzes bzw. die Anbindung von Standorten in noch nicht über Glasfaser erschlossenen Lagen, z. B. durch Einsatz von Funktechnik, wird geprüft. Zusätzliche Dienste, die für die Berliner Wissenschaftseinrichtungen einen Mehrwert darstellen und über die BRAIN-Infrastruktur etabliert werden können, werden evaluiert und deren Umsetzung angestrebt.

Weitere Informationen zu BRAIN unter <http://www.brain.de>.

Literaturverzeichnis

- [1] Senatsbeschluss Nr. 4862/94 vom 14.Juni 1995: Aufbau eines Metropolitan Area Network (MAN) als Hochgeschwindigkeitsnetz (HGN) für die Berliner Verwaltung unter Berücksichtigung des Wissenschaftsbereichs
- [2] Hubert Busch, Sandra Schulz, Günther Kroß: Aufbau des Berliner Breitbandnetzes für die Wissenschaft, Technical Report TR 95-5 des Konrad-Zuse-Zentrums für Informationstechnik Berlin, 1995, <http://opus.kobv.de/zib/volltexte/1995/521/>
- [3] Hubert Busch, Ursula Droebes, Marek Fröhlich: Das Berliner Wissenschaftsnetz BRAIN in: 20. DFN-Arbeitstagung über Kommunikationsnetze, Herausgeber: Paul Müller, Gerhard Peter, Eike Jessen, Proceedings, Heilbronn, 2006, <http://edoc.hu-berlin.de/conferences/dfn2006>, S. 255 - 266
- [4] Bruce Davie, Yakov Rekhter: MPLS - Technology and Applications, Morgan Kaufmann Publishers, Academic Press, 2000
- [5] Sean Hardeny: The MPLS Primer, Prentice Hall, 2002
- [6] Stewart III, John W.: BGP-4 - inter-domain routing in the Internet, 1999
- [7] Introduce Brocade Multiprotocol Routing Services, GA-WP-642-02, Brocade Communication Systems, 2004, http://www.brocade.com/san/white_papers/pdf/Brocade_MRS_WP.pdf

Anhang

A BRAIN-Teilnehmer 2007

BAM	Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
BESSY	Berliner Elektronenspeicherring – Ges. für Synchrotronstrahlung m. b. H.
Charité	Charité – Universitätsmedizin Berlin
DFN	Verein zur Förderung eines Deutschen Forschungsnetzes e.V., - Geschäftsstelle Berlin
DHM	Deutsches Historisches Museum
DHZB	Deutsches Herzzentrum Berlin
DIPF	Bibliothek für Bildungsgeschichtliche Forschung (BBF) des Deutschen Instituts für Internationale Pädagogische Forschung
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
FHTW	Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin
FHW	Fachhochschule für Wirtschaft Berlin
FIRST	Fraunhofer-Institut Rechnerarchitektur und Softwaretechnik
FOKUS	Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme
FU	Freie Universität Berlin
FVB	Forschungsverbund Berlin e. V.
GWZ	Geisteswissenschaftliche Zentren Berlin e.V.
HMI	Hahn-Meitner-Institut
HU	Humboldt-Universität zu Berlin
ISST	Fraunhofer-Institut für Software- und Systemtechnik
MPG	Max-Planck-Gesellschaft
SPK	Stiftung Preußischer Kulturbesitz (Staatsbibliothek zu Berlin)
SPSG	Stiftung Preußische Schlösser und Gärten Berlin-Brandenburg
TFH	Technische Fachhochschule Berlin
TU	Technische Universität Berlin
UdK	Universität der Künste Berlin
WiKo	Wissenschaftskolleg zu Berlin
ZIB	Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik Berlin
ZLB	Zentral- und Landesbibliothek Berlin

B Grundlagen von MPLS

Bei MPLS (Multiprotocol Label Switching) handelt es sich um ein verbindungsorientiertes Switching auf der Basis von IP-Routing und zusätzlichen Kontrollprotokollen. Die Standardisierung erfolgt durch die IETF²³. Das erste Framework erschien bereits 1997, mittlerweile sind 12 RFCs und 25 Drafts zu MPLS erschienen. Die maßgeblichen RFCs sind RFC 3031²⁴ und RFC 3032²⁵. Mit MPLS können beliebige Layer3-Datenströme gekapselt und über einen vordefinierten Pfad (Label-Switched-Path, LSP) durch einen IP-basierten Backbone transportiert werden. Die Kapselung geschieht durch Einfügen des MPLS-Headers zwischen den Layer2- und dem Layer3-Header eines jeden Datenframes. Der Header wird daher auch als Layer2.5-Header oder "Shim"-Header bezeichnet. Dieser zusätzliche Header macht MPLS weitgehend unabhängig vom eingesetzten Transportprotokoll - es funktioniert mit Ethernet, ATM, Point-to-Point, Frame-Relay oder auch Token-Ring. Im BRAIN wird Ethernet als Transportprotokoll verwendet.

Ein MPLS-basierter Backbone setzt sich aus einer Anzahl von MPLS-fähigen Routern, den Label-Switch-Routern (LSR) zusammen. Router an der Peripherie eines MPLS-Backbone werden Label-Edge-Router (LER) genannt. Die LER sind für die Signalisierung der LSP durch den Backbone zuständig. LER nehmen die Datenpakete von Kundennetzen entgegen, klassifizieren sie (Zuweisung an eine Forwarding-Equivalence-Class - siehe nächster Absatz), kapseln sie und senden sie an den nächsten LSR des LSP durch den Backbone. In großen MPLS-basierten Carrier-Netzen sind die LER und LSR getrennte Funktionseinheiten; nur die LER verbinden die Kundenrouter mit dem Backbone, die anderen Backbone-Router werden als LSR bezeichnet. In BRAIN ist jeder LSR aufgrund der Netztopologie zugleich auch LER.

Forwarding-Equivalence-Class

Eine Forwarding-Equivalence-Class (FEC) definiert bestimmte Attribute für die Weiterleitung eines Paketes. Alle Datenpakete, die zu der gleichen Forwarding-Equivalence-Class (FEC) gehören, werden vom LSR gleich behandelt: sie werden über den gleichen LSP, ggf. unter Berücksichtigung von QoS (siehe Abschnitt 2.2.3) weitergeleitet. Eine FEC kann unterschiedliche Granularität annehmen. So können alle Pakete mit gleicher Layer3-Zieladresse zu einer FEC zusammengefasst werden, Pakete mit gleicher Quell- und Zieladresse applikationsabhängig (unter Berücksichtigung der Layer4-Information, der Portnummer in IP-Netzen) zu einer anderen FEC. Eine FEC, welche Layer2-Informationen des Datenframes am Kundenübergang zum Backbone unterscheidet, wird als L2-FEC bezeichnet. L2-FECs werden im Zusammenhang mit VPLS auf den LER konfiguriert. VPLS ist ein wesentlicher Dienst des BRAIN-Verbundnetzes.

Aufbau des MPLS-Headers

Der MPLS-Header ist 32 Bit lang. Bit 1 – 20 bilden das MPLS-Label, kurz Label. Das Label innerhalb eines Datenframes bestimmt dessen Zugehörigkeit zu einer FEC. Für die Weiterleitung des Frames innerhalb des MPLS-Backbones ist ausschließlich der Wert des Labels und der Incoming-Port des Frames maßgebend - L3-Informationen innerhalb des Frames werden nicht ausgewertet. Ein Label hat nur lokale Signifikanz zwischen zwei kommunizierenden LSR. Jeder LSR verwaltet seine eigene lokale Label-Datenbank - es existiert keine globale Labelvergabe innerhalb eines MPLS-Backbones.

²³ IETF: Internet Engineering Task Force

²⁴ RFC 3031: Multiprotocol Label Switching Architecture

²⁵ RFC 3032: MPLS Label Stack Encoding

Bit 21 - 23 des MPLS-Headers enthalten die Experimental Bits. Sie sind für zukünftige Erweiterungen reserviert, werden aber üblicherweise zum Transport von QoS-Informationen genutzt.

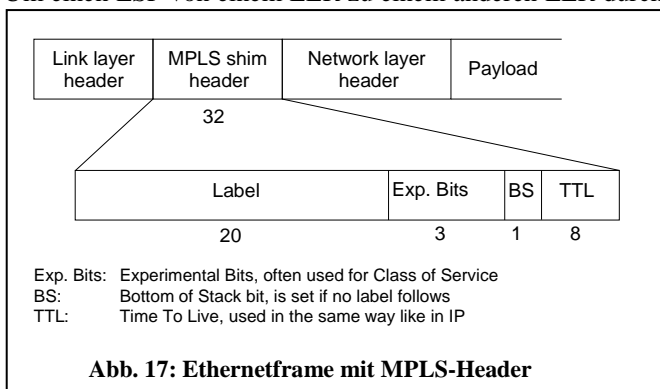
Bit 24 ist das Stack-Bit. Da MPLS hierarchisches Label-Stacking erlaubt, muss das letzte Label auf dem Stack besonders gekennzeichnet werden - das Stack-Bit ist in diesem Fall gesetzt.

Bit 25 - 32 ist das TTL²⁶-Feld. Es hat die gleiche Funktion wie des TTL-Feldes des IP-Headers: Ein Mechanismus um beim Transport eines Frames Loops zu verhindern.

Signalisierungsprotokolle

Für die Verteilung der Labelinformationen auf die LSR im Backbone werden üblicherweise Signalisierungsprotokolle verwendet.

Um einen LSP von einem LER zu einem anderen LER durch den Backbone zu konfigurieren,



braucht der Netzwerkadministrator den LSP nur auf den beteiligten LER einzurichten. Das Signalisierungsprotokoll sucht mit Hilfe des IGP (internes Routing-Protokoll) einen Weg durch den Backbone und sendet die Label-Informationen für den Pfadverlauf auf alle LSR, durch den der

Pfad verläuft.

Kommt es durch einen Defekt (Leitungsschaden, Interfaceausfall) zu einer Unterbrechung des Pfadverlaufs, wird vom Signalisierungsprotokoll sofort versucht, eine alternative Route für den LSP zu finden.

Im folgenden sollen kurz die wichtigsten Signalisierungsprotokolle für LSP vorgestellt werden:

- Label-Distribution-Protocol (LDP), RFC 3036; LDP weist folgende Merkmale auf:
 - Es unterstützt das Auffinden von anderen LDP-fähigen Routern im Backbone (LSR-Discovery)
 - Es setzt auf TCP auf, um den verlässlichen Transport von Nachrichten zu gewährleisten (ausser LSR-Discovery)
 - Es unterstützt unterschiedliche Klassen von Nachrichten:
 - DISCOVERY-Nachrichten zum Auffinden andere LSR
 - ADJACENCY-Nachrichten zur Initialisierung, Überwachung und Terminierung von Sessions zwischen LSR
 - LABEL-ADVERTISING-Nachrichten zum Verteilen der Labelinformationen
 - NOTIFICATION-Nachrichten zum Anzeigen von Fehlern
 - Künftige Erweiterungen des Standards sind durch die Verwendung von Nachrichten als TLV(Type, Length, Value)-kodierte Objekte möglich

²⁶ TTL: Time To Live

- Border-Gateway-Protocol (BGP-4), RFC 3107, draft-ietf-mpls-bgp4-mpls: BGP-4 ist per Standard offen für Protokollerweiterungen. Dies nutzte die MPLS-Working-Group²⁷ zur Definition einiger Multiprotokollerweiterungen für BGP-4 zur Labeldistribution. Die Charakteristika von BGP-4 zur Label-Distribution sind mit denen von LDP vergleichbar.
- Ressource-Reservation-Protocol (RSVP): Mit Hilfe des RSVP können QoS-Merkmale für den Transport von Daten innerhalb eines MPLS-Backbone signalisiert werden. Werden an die FEC des Frames bestimmte Anforderungen gestellt, beispielsweise eine minimale gewährleistete Bandbreite und/oder eine geringe Latenz, signalisiert RSVP diese Anforderungen an alle auf dem LSP liegenden LSR. Jeder LSR reserviert die angeforderten Ressourcen für den LSP und bestätigt die Bereitstellung der Ressourcen an die anderen LSR. Kann ein LSR die angeforderten Ressourcen nicht bereitstellen (Beispielsweise weil die geforderte Bandbreite die noch verfügbare Bandbreite übersteigt), wird der Aufbau des LSP abgelehnt. Das RSVP kann um Mechanismen zur Lenkung der Verkehrsströme (Traffic-Engineering) zu RSVP-TE (RFC 3209 – RSVP-TE: Extensions to RSVP for LSP Tunnel) erweitert werden.

Arbeitsweise eines LSR

MPLS auf einem LSR teilt sich in die funktional voneinander unabhängigen Kontrollkomponente (Control Component) und die Weiterleitungskomponente (Forwarding Component). Die Control Component führt das Label-Binding durch, also das Mapping einer FEC zu einem Label. Aus den Labelinformationen wird auf jedem LSR die lokale Forwarding-Table erstellt. Zum Verteilen der Labelinformationen im Backbone werden von der Control Component Signalisierungsprotokolle (z. B. LDP, RSVP) ausgeführt. Dies erfordert ein internes Routing-Protokoll (z. B. OSPF, ISIS, I-BGP) im Backbone. Die Forwarding Component ist für die Weiterleitung der mit einem MPLS-Header versehenen einkommenden Datenpakete zuständig, dazu wird an Hand des Labels des Datenframes ein Lookup in der Forwarding-Table vorgenommen. Dieser Lookup liefert den Port für die Weiterleitung und ein neues Label. Das alte Label wird gegen das neue Label ausgetauscht (Label-Swapping) und der Datenframe über den Ausgangsport weitergeleitet. Ist in der Forwarding-Table noch eine Outgoing-Queue für ein Label angegeben, wird das Paket in der entsprechenden Queue des Ausgangsports platziert.

Virtual Private LAN-Servive (VPLS)

MPLS ist in der Lage, beliebige Ethernetframes zu kapseln und über einen IP-basierten Backbone zu transportieren (VPLS nach draft-lassere-vkompella-ppvnp-vpls.txt). Aus Sicht der Anwender wird eine virtuelle Layer2-Verbindung zwischen zwei Standorten geschaltet. Dazu muss auf den LER eine L2-FEC konfiguriert werden, die alle einkommenden Ethernet-Frames eines Anwenderportes auf dem LER über die MPLS-Struktur unverändert überträgt. Die MPLS-Router des BRAIN-Verbundnetzes unterstützen auch eine Point-to-Multipoint-Struktur: MAC-Adressen der jeweiligen Teilnehmeranschlüsse werden gelernt und nach einer gewissen Zeit wieder vergessen („altern“), Broadcasts werden an alle weiteren Standorte des gleichen Teilnehmers am BRAIN-Verbundnetz weitergeleitet. Dem Anwender steht durch diese Technik eine dedizierte virtuelle Bridge nach IEEE 802.1d zur Verfügung. Die Ports dieser Bridge sind die Anwenderports auf den jeweiligen LER, die Bridge selbst ist der MPLS-Backbone. Durch die Weiterleitung von beliebigen Ethernet-Frames, auch BPDUs (Bridge-Protocol-Data-Units, die z.B. für

²⁷ MPLS-Working-Group: <http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html>

Spanning Tree verwendet werden), können die Einrichtungen beliebige virtuelle LANs (VLANs) zur Segmentierung ihrer LANs Standortübergreifend nutzen.

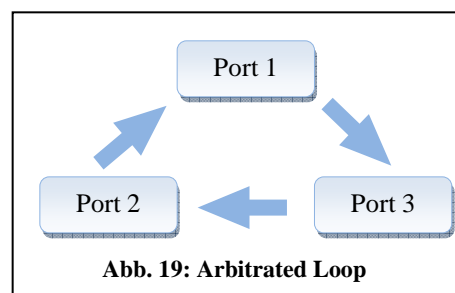
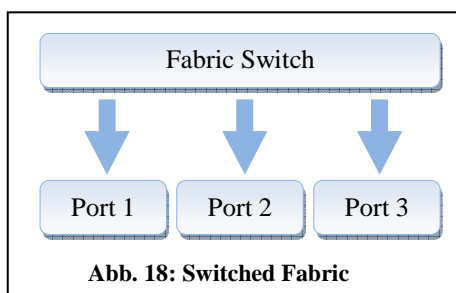
C Fibre Channel

Fibre Channel ist ein Protokoll für den seriellen Transfer großer Datenmengen mit großer Bandbreite. Fibre Channel ist in der Lage, viele verbreitete Protokolle, wie SCSI, und IP zu kapseln und über große Distanzen und mit hoher Geschwindigkeit zu übertragen. Daraus resultierend ist das Fibre Channel-Protokoll (FCP) prädestiniert für die Konnektivität von Speichermedien im SAN. Die hier verfügbaren Bandbreiten liegen bisher bei 1, 2 und 4 Gb/s.

Jede Fibre Channel-Komponente besitzt eine „World Wide Node Number“ (WWNN) und einen „World Wide Port Name“ (WWPN) zur Adressierung multipler Ports pro Komponente. Diese Nummern (64Bit Hexadezimalzahlen) sind, analog zu den im IP verwendeten Adressen, weltweit eindeutig.

Es können verschiedene Arten von Endgeräten via Fibre Channel angebunden werden, beispielsweise Bandlaufwerke, RAID-Arrays und PCs. Um die PC-Anbindung zu realisieren, werden so genannte „Host Bus Adapter“ (HBAs) benötigt. Im Fall der optischen Übertragung besitzen diese Erweiterungskarten, welche über PCI-Express angebunden werden müssen, mindestens einen Anschluss für ein optisches Lichtwellenleiterpaar für den Datentransfer (Full duplex).

Topologisch betrachtet bietet Fibre Channel zwei Implementierungen: „Switched-Fabric“ (Abb. 18), welche Punkt-zu-Punkt Verbindungen beschreibt und „Arbitrated Loop“ (Abb. 19) für die Übertragung via logischem Bus. Letztere findet seltener Anwendung, da die Switched Fabric mehr Vorteile bietet. Zu diesen zählt das Multipathing, welches bei redundanter Anbindung eines HBAs die Ausfallsicherheit erhöht und die Bandbreite anheben kann. Um weitere Redundanz zu implementieren und höchste Verfügbarkeit zu gewährleisten, ist es üblich, duale Fabrics einzusetzen, welche den Datentransfer auch bei Ausfall einer ganzen Fabric nicht zusammenbrechen lässt.



Fibre Channel ist ein Layer2-Protokoll, besitzt aber fünf eigene Layer:

- FC-0: Physikalische Konnektivität zwischen Medium und Interface
- FC-1: Transmission Control Protocol - Encodierung und Decodierung des Signals und Festlegung der Geschwindigkeit (133MBit/s, 266MBit/s, 531MBit/s, 10625 MBit/s)
- FC-2: Network Layer

- FC-3: Multicasting²⁸ und Striping²⁹
- FC-4: Protocol Mapping - hier werden weitere Protokolle gekapselt um im Fibre Channel-Frame übertragen zu werden. Es wird nach Kanalprotokollen (Bsp. iSCSI) und Netzwerkprotokollen (IP, ATM) unterschieden

Die eigentliche Funktionalität von Fibre Channel wird in Layer FC-2 spezifiziert, die dort enthaltenen Frames haben folgende Form:

- Startdelimiter (4 Byte)
- Frameheader (24 Byte)

1. Byte	2. Byte	3. Byte	4. Byte
Routing Control	Zieladresse		
QoS	Quelladresse		
Typ	Frame Control		
Sequence ID	Data Field Control	Sequence Count	
Originator Exchange ID		Responder Exchange ID	
Parameter			

- Routing Control Byte (1 Byte) - definiert ob der Frame ein Daten- oder Link-Control Frame ist (Acknowledge und Response)
- WWN Zieladresse (3 Byte)
- Quality of Service (1 Byte) – Priorisierung einzelner Frames
- WWN Quelladresse (3 Byte)
- Typ (1 Byte) – Beschreibt das im Datenteil enthaltene Protokoll
- Frame Control (3 Byte) – spezielle Fibre Channel Optionen
- Sequence ID (1 Byte) – Identifiziert den Frame als Teil einer Sequenz
- Data Field Control (1 Byte) – definiert, ob im Datenteil weitere Fibre Channel Header vorhanden sind
- Sequence Count (2 Byte) – Zähler für die in einer Sequenz übermittelten Pakete
- OX-ID - Originator Exchange ID (2 Byte) – wird zur Gruppierung Zusammenhängender Pakete benötigt
- RX-ID - Responder Exchange ID (2 Byte) – wie Originator Exchange ID nur vom Empfänger veränderbar
- Parameter (4 Byte) – Protokollspezifische Optionen
- Daten (0Byte – 2.112 Byte)
- CRC Fehlerkorrektur (4 Byte)
- Enddemilitter (4 Byte)

²⁸ Multicasting: Datenübertragung von einer Quelle zu mehreren Zielen gleichzeitig

²⁹ Striping: Erhöhung der Bandbreite durch gleichzeitige Inanspruchnahme mehrerer Ports

D Einsatz von Nagios zum Netzwerkmonitoring

Zur permanenten Netzwerküberwachung wird die Open Source Software Nagios eingesetzt. Die weit verbreitete Software ist durch ihren modularen Aufbau für den Einsatz der Überwachung des BRAIN-Kernetzes geeignet. Nagios ist eine auf UNIX-basierenden Betriebssystemen lauffähige Management-Software, der durch Konfigurationsdateien Hosts und Services bekannt gemacht werden. Als Hosts werden sämtliche zu überwachenden aktiven Netzkomponenten, sowohl WDM-Equipment und Router als auch Management-Systeme des BRAIN-Kernetzes, definiert. Auf diesen Hosts werden wichtige Statusinformationen (Services) abgefragt, in Gruppen zusammengefasst und in Fehlerklassen kategorisiert. Services sind Überwachungsdienste, die bestimmten Aufgabenbereichen angepasst wurden. Es existieren beispielsweise Services zum Überwachen des Datenverkehrs oder für die Überprüfung von Frame-Headern. Nagios überwacht bisher 41 Hosts und 318 Services im BRAIN-Kernetz.

Für die Abfrage der Statusinformationen wird SNMP genutzt. Die Netzkomponenten speichern eigene Statusinformationen in Form einer hardwarespezifischen und genormten Datenbank, der Management Information Base (MIB). Diese Daten können durch SNMP-Abfragen ermittelt oder in kritischen Fällen sofort als SNMP-Trap³⁰ an das Nagios-System weitergeleitet werden. Die MIB umfasst neben Interfacedaten auch Environment- und Datenflussstatistiken, welche dann in Nagios weiterverarbeitet werden. Ferner können somit Verfügbarkeitsstatistiken und Fehlerhäufigkeiten ermittelt werden.








Host ↑↓	Service ↑↓	Status ↑↓	Last Check ↑↓	Duration ↑↓	Attempt ↑↓	Status-Information ↑↓
 cwdm-hu	WDM-Optical-Input-Power	WARNING	05-11-2007 11:03:04	4d 19h 21m 57s	3/3	WARNING - Optical in Power Client (7700) Slot 1.4 too low: -25.2 dBm (max. -29 dBm)
 fcr1	Interface-Status-SAN	CRITICAL	05-11-2007 11:00:22	48d 2h 41m 28s	3/3	CRITICAL Port 6 (HU-SAN2) has no Light Port 10 (SPK-SAN2) has no Light
 fcr2	Interface-Status-SAN	CRITICAL	05-11-2007 11:03:35	5d 18h 39m 21s	3/3	CRITICAL Port 9 (SPK-SAN1) has no Light Port 10 (SPK-SAN2) has no Light
 pcb	Memory-usage	UNKNOWN	05-11-2007 11:02:01	48d 1h 38m 29s	3/3	ERROR: netsnmp : Received noSuchName(2) error-status at error-index 5.
 test	Interface-Status	WARNING	05-11-2007 11:02:12	48d 2h 38m 29s	3/3	WARNING et.7.1 Internal [SPK-TEST] oper down
 wizlan-HMI	Interface-Status-WIZLAN	CRITICAL	05-11-2007 11:02:32	7588d 14h 11m 36s	3/3	CRITICAL Port 3 oper down
 wizlan-HU	Interface-Status-WIZLAN	CRITICAL	05-11-2007 11:00:51	7588d 14h 11m 28s	3/3	CRITICAL Port 1 unknown status

Abb. 15: Nagios-Web-Interface - Statusinformationen

³⁰ SNMP-Trap: automatisch generierte Nachricht einer Komponente über eine Statusänderung

Die folgenden von Nagios ermittelten Service-Gruppen sind speziell für BRAIN entwickelte Abfragen, welche voll- und teilautomatisiert wichtige Statusinformationen bereitstellen:

- CPU- und Speicherauslastung der Managementsysteme und Router
- Status der Routerinterfaces und WDM-Komponenten und deren Datenpaketfehlerquote
- Erreichbarkeit aller Komponenten und Laufzeit des Signals
- Datenflussstatistiken und Auslastung aller Kernnetzverbindungen
- SNMP-Trap-Daten
- Uptime
- Optische Signalqualität der WDM-Verbindungen
- Environment-Daten (Temperatur, Luftfeuchtigkeit)
- Spezifische Managementsystemdaten (Speicherplatzauslastung, Webserver- und DNS-Serverüberwachung etc.)

Je nach Schwere eines Fehlers werden Benachrichtigungen unterschiedlicher Art an definierte Kontaktpersonen weitergeleitet. Das Eskalationsmanagement kann über diverse Kanäle gesteuert werden, z. B. per E-Mail, als SMS oder auch durch Betrachtung des Web Interfaces (Abb. 15). Fehlerszenarien werden dahingehend vereinfacht, dass im Managementsystem Abhängigkeiten definiert sind. Fällt beispielsweise ein Teilnetz aus, werden nur Alarme für die Ursache des Problems erzeugt, nicht aber für das vollständige nicht erreichbare Teilnetz.

Das Managementsystem ist durch frei erhältliche, meist in Perl entwickelte Plugins erweiterbar. Als hilfreich haben sich die Plugins zum SNMP-Trap Handling als auch die Visualisierung der erhaltenen Daten mittels Nagios-Grapher erwiesen (Abb. 16). Hierbei werden alle von Nagios ermittelte Daten in einer Datenbank gespeichert und stehen für rückblickende Betrachtungen und Auswertungen zur Verfügung.

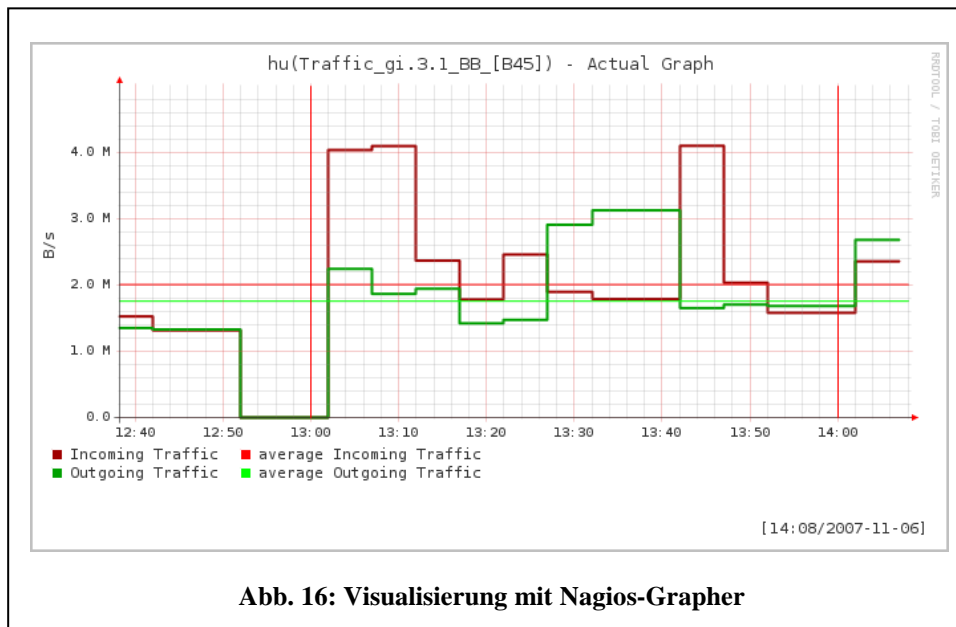


Abb. 16: Visualisierung mit Nagios-Grapher