

# Gigabit Produktionsnetze in der HWW

*Peter Haas / Paul Christ*

**Unter der Bezeichnung HLRS (Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart) ist am RUS das erste Supercomputerzentrum für den universitären Wissenschaftsbereich in der Bundesrepublik angesiedelt. Derzeit plant die DFG zwei bis drei solcher Zentren. Das inzwischen realisierte Breitband-Wissenschaftsnetz (BWiN) garantiert dabei eine effektive Erreichbarkeit solcher Zentren.**

**Unter der Bezeichnung HWW (Höchstleistungsrechner für Wissenschaft und Wirtschaft) haben Land und Universität zusammen mit den Firmen debis Systemhaus und Porsche AG eine gemeinsame Betriebsgesellschaft gegründet. Diese betreibt auch die im Rahmen des HLRS beschafften Rechner.**

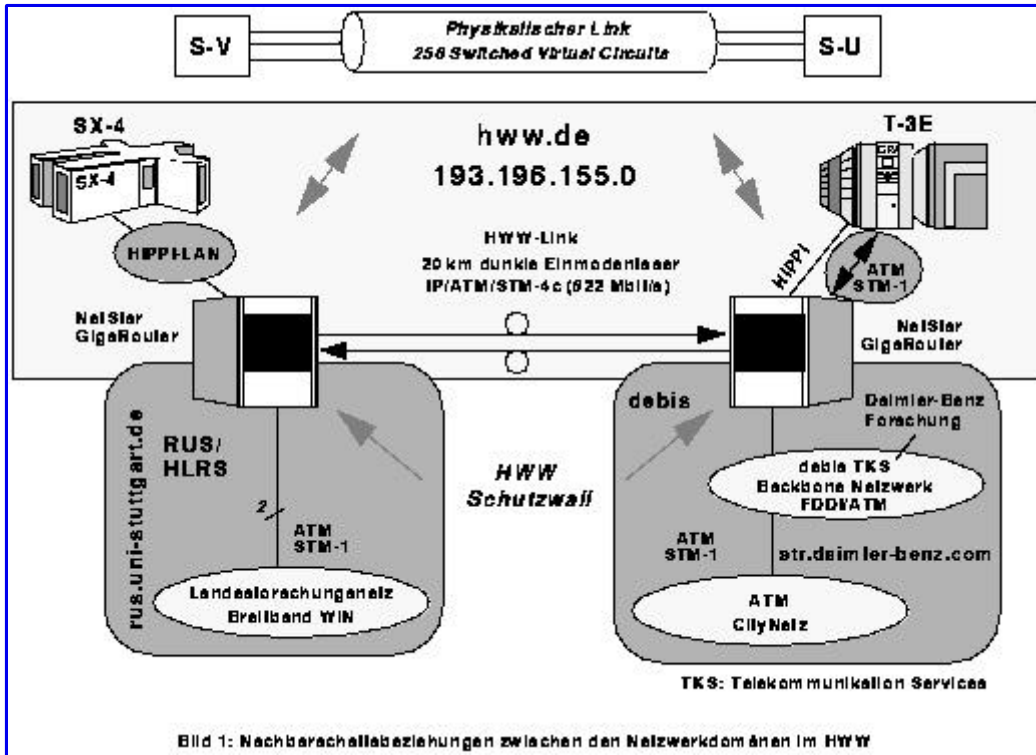
**Die HWW wird ein zwischen dem RUS-Standort Campus Vaihingen und dem debis- Sitz Untertürkheim verteiltes Rechenzentrum etablieren und betreiben. Vom RUS wurde in diesem Kontext am 15. August die Abnahme der NEC SX-4/32 (s. BI 7/8 1996) erfolgreich abgeschlossen; die Maschine wurde anschließend der HWW zum Betrieb übergeben. Die nächste Maschine wird entsprechend eine Cray T-3E/512 sein - aufgestellt am debis-Standort. Dort stehen bereits eine Cray T93 und eine Cray J90, die ebenfalls von der HWW betrieben werden.**

Der vorliegende Artikel beschreibt in diesem Zusammenhang das HWW-Netz mit besonderer Berücksichtigung der schnellen Verbindung Vaihingen-Untertürkheim. In einem weiteren Artikel, HWW-Link - Optik und SDH, wird zudem die Problematik des physikalischen Bit-Transportes zwischen den HWW-Standorten behandelt.

## **RUS / HWW / debis-Netzwerkdomänen**

In den Anfangstagen des Internet war es durchaus noch üblich, auf jedem Host eine Tabelle zu halten, in der sämtliche Endsysteme mit Namen und Adresse vermerkt waren, die für die betreffende Maschine jemals eine Bedeutung besaßen. Dieses Verfahren ist wegen der Größe des heutigen Internets schon lange nicht mehr praktikabel, und wir haben uns angewöhnt, in hierarchisch geordneten Namensräumen zu denken, den sogenannten Domänen.

Bild 1 gibt eine graphische Übersicht der Netzwerkdomänen, die sich im Rahmen der HWW auf direktem Wege austauschen. Zuerst haben wir die Domäne hww.de, die sich auf alle Netzwerknoten erstreckt, die entweder der HWW angehören oder doch zumindest vom HWW betrieben werden. Dieses gilt vornehmlich für die Supercomputer einschließlich aller ihrer Netzwerkschnittstellen, die beiden NetStar GigaRouter sowie alle Managementsysteme, die für die Aufrechterhaltung des Betriebs erforderlich sind. Zu den letzteren gehören beispielsweise Domain Name und Time Server, die Anwenderverwaltung und die Netzüberwachung ganz allgemein.



**Bild 1: Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Netzwerkdomänen im HWW**

Auf der Universitätsseite schließt sich die RUS-Domäne an, `rus.uni-stuttgart.de`, wohingegen auf Seite der Firma Daimler-Benz als direkter Nachbar die Domäne `str.daimler-benz.com` auftritt. Das RUS unterhält eigene Dienste innerhalb des HWW, beispielsweise File Server und Datenmigration, die sämtlich in der RUS-Domäne geführt werden sollen.

Das HWW-Netz verwendet einen eigenen Internet-Adressbereich, ein sogenanntes Klasse-C-Netz, das freundlicherweise vom DFN-Verein aus dessen eigenem Adressbestand bereitgestellt worden ist. Ohne weitere Maßnahmen würde ein solches Netz die ebene Adressierung von 254 Endsystemen erlauben. Innerhalb vom HWW wird allerdings aus strukturellen Gründen eine Vielzahl von Teilnetzen benötigt. Insofern ist das HWW-Netz stark untergliedert, um eine Entkopplung der beiden Standorte und weiterhin der dort verwendeten unterschiedlichen Netztechnologien zu ermöglichen.

Das HWW-Netz verwendet ausschließlich standardisierte ATM-Schnittstellen für den Übergang zu öffentlichen Netzen, beispielsweise zum DFN-Breitband-Wissenschaftsnetz (BWIn), zum Landesforschungernetz BelWü oder zum ATM CityNetz der Daimler-Benz Tochter debis. Ebenso sind die HWW-internen Weitverkehrsverbindungen in ATM-Technologie realisiert. Für die Abbildung von ATM Virtual Circuits auf Internet-Adressen werden sowohl Netzadressen aus dem öffentlichen Bereich als auch private Adressräume der Internet-Gemeinschaft genutzt.

## Übergänge zwischen den einzelnen Netzwerkdomänen

### Übersicht

Bild 2 enthält eine schematische Darstellung der Übergänge zwischen den einzelnen Netzwerkdomänen. Das eigentliche HWW-Netz wird durch den grauschattierten Kasten umschrieben und stellt eine abgeschlossene Einheit dar. Von außen können die Einrichtungen des HWW lediglich über wenige, streng kontrollierte Zugänge erreicht werden.

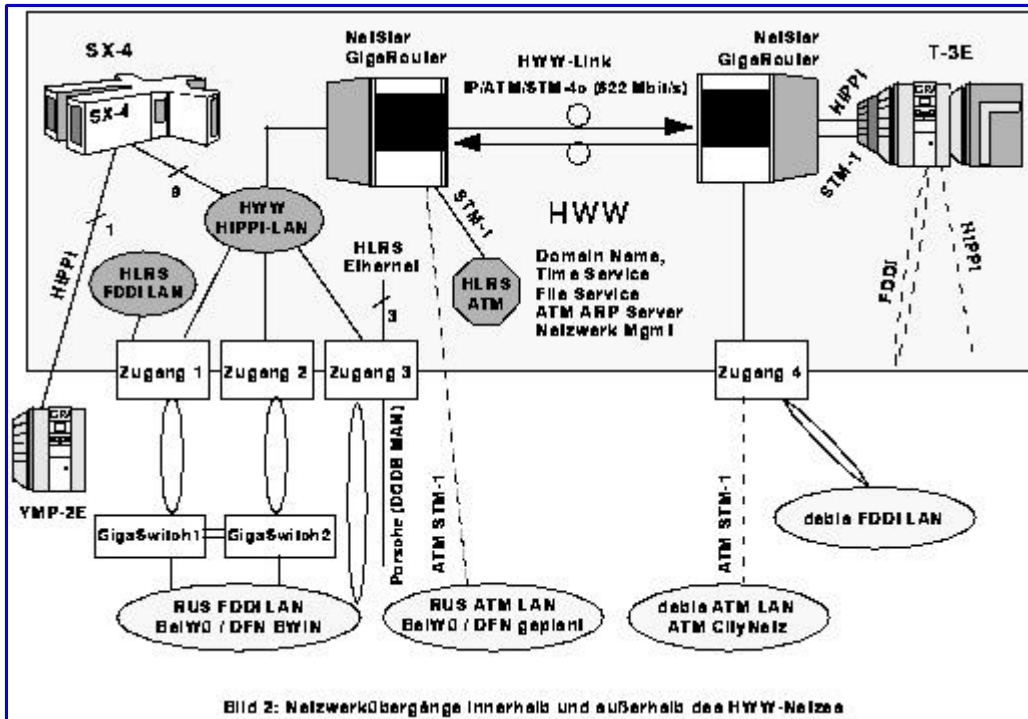


Bild 2: Netzwerkübergänge innerhalb und außerhalb des HWW-Netzes

Bild 2: Netzwerkübergänge innerhalb und außerhalb des HWW-Netzes

Auf dem Gelände der Universität Stuttgart stehen prinzipiell drei Zugangstore zur Auswahl. Jedes dieser Tore besteht aus einem Internet Protocol (IP) Router, der die Um-setzung zwischen dem im Universitätsnetz verbreiteten FDDI-Standard und dem im Vorfeld der NEC SX-4 vorherrschenden Hippi Standard vornimmt. Die beiden linksstehenden Router bedienen das Universitäts-Backbone, wohingegen der dritte Router an der Nahtstelle zum Landesforschungsnetz bzw. zum Breitband-Win arbeitet. Trotz der eingebauten Kontrollfunktionen arbeitet ein jedes der genannten Zugangstore bei der vollen Übertragungsgeschwindigkeit des äußeren FDDI-Netzes. Daraus kann man entnehmen, daß die Routerphalanx nicht so sehr auf Leistungs - sondern primär auf Redundanzermäßigungen basiert.

Der massiv parallele Superrechner Cray T-3E wird erst im Laufe des September im Rechenzentrum der Daimler-Benz Interservices (debis), Untertürkheim, aufgestellt werden. Auch gibt es Überlegungen, aus Synergiegründen weitere Cray-Superrechner aus dem Bestand des debis-Rechenzentrums in den HWW-Schutzwall zu integrieren. Daher ist das HWW-Netz in diesem Bereich noch nicht voll ausgebildet, und es existiert dort im Augenblick nur ein einziges Zugangstor, ebenfalls auf der Basis eines IP Routers. Die Eigenschaften dieses Tores sind als Spiegelbild der Tore im Universitätsbereich zu verstehen.

Natürlich entsteht ein so komplexes Gebilde wie das HWW-Netz nicht an einem einzigen Tag, und deshalb sind, wie bei der Planung herkömmlicher Verkehrswege auch, gestrichelte Linien erlaubt. Die hiermit bezeichneten Datenbahnzubringer in ATM-Technologie sind zur Zeit bei einer Schrittrate von 155 Mbit/s (STM-1) in Erprobung. Sobald die vom HWW geforderten Sicherheitsmerkmale erfüllt sind, werden wir diese ihrer Bestimmung übergeben. Geplant ist dies für das letzte Quartal diesen Jahres.

Bei dem GigaRouter der Firma NetStar handelt es sich um einen weiteren, ganz besonderen IP Router, der für eine extrem hohe Betriebsleistung ausgelegt worden ist. Der GigaRouter basiert auf einem blockierungsfreien internen 16 x 16 Crossbar in GaAs-Technologie. Jede seiner 16 Netzwerkschnittstellen kann bis zu einer beständigen Schrittgeschwindigkeit von 1 Gbit/s betrieben werden. Die verfügbaren Netzwerkschnittstellen des GigaRouter erlauben den Betrieb aller im HWW erforderlichen Giga-bit LANs, internen Höchstgeschwindigkeitslinks sowie der Übergänge zu öffentlichen Breitbandnetzen. Neben den bekannten Internet-Protokollen und ATM Standards

unterstützt der GigaRouter noch weitere Protokollprofile, wie sie etwa beim Zugriff auf netzbasierte Massenspeichersysteme erforderlich sind. Die GigaRouter-Architektur ist auf die verlustfreie Übermittlung von Datagrammen im Gbit/s-Bereich optimiert worden. Die maximale Vermittlungsleistung beträgt ca. 2,6 Millionen Datagramme/s.

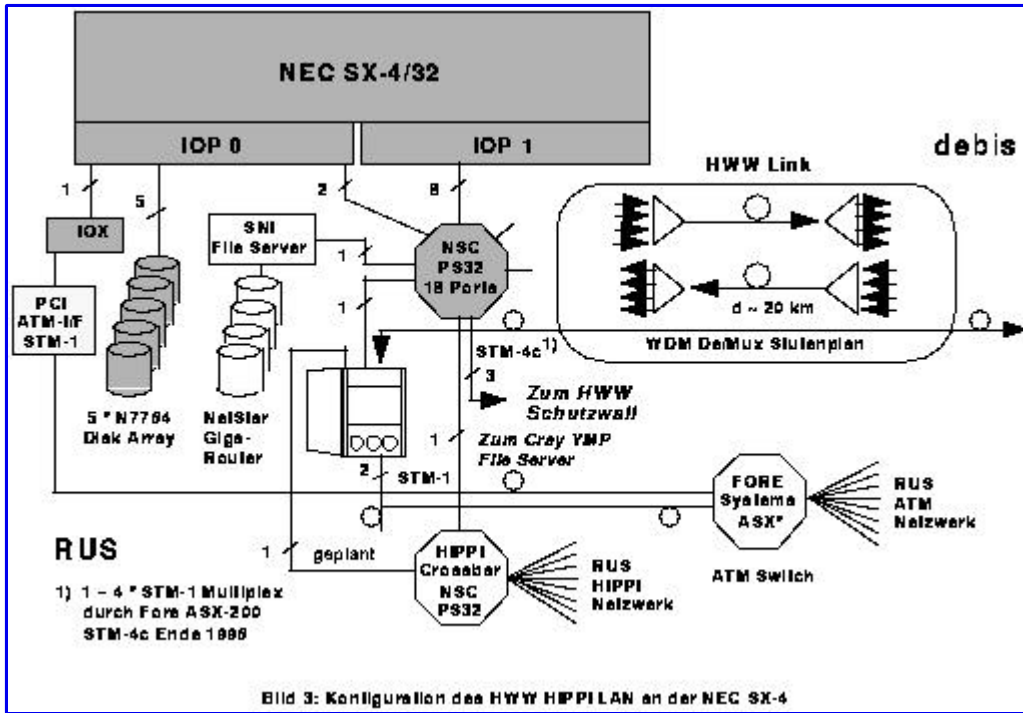
Im Inneren des HWW-Netzes werden alle gebräuchlichen Netzwerkstandards unterstützt, wie z.B. Ethernet, FDDI, ATM und HIPPI. Innerhalb HWW ist es möglich, ohne nennenswerte Leistungseinbuße von jedem der genannten Netze in ein beliebiges anderes zu wechseln.

Im Bereich des Fileserving an der NEC SX-4 werden Kanalverbindungen benötigt, deren Übertragungsleistung an den Durchsatz von modernen, mehrfach verschränkten Magnetplattensubsystemen heranreicht. Hierfür kommen nur solche Netzwerkstandards in Frage, die die bei Plattensystemen üblichen Blockgrößen von ca. 64-Kbyte unterstützen und für einen Durchsatz von nominal 100 Mbyte/s ausgelegt sind. Aus diesem Grunde, ist der Cray YMP-2E Fileserver des RUS über einen dedizierten HIPPI-Kanal mit der NEC SX-4 verbunden worden.

### **Das HWW HIPPI LAN**

Das lokale HIPPI-Netzwerk im HWW ist in Bild 3 etwas genauer dargestellt. Der HIPPI Standard (High Performance Parallel Interface) zeichnet sich dadurch aus, daß für jedes einzelne Datagramm eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung zwischen zwei Endsystemen aufgebaut wird. Der Aufbau dieser physikalischen Verbindung erfolgt dabei ausschließlich in Hardware. Je nach Entfernung der beiden Endsysteme läuft der Verbindungsaufbau in einer Zeit von üblicherweise weniger als 1  $\mu$ s ab. Die eigentliche Datenübertragungsphase verwendet eine Hardware-Flußsteuerung auf der Basis von 1-Kbyte Blöcken. Es ist daher ausgeschlossen, daß ein entfernter Empfänger von einem übermächtigen Sender überrannt werden kann. Aus diesem Grunde arbeitet ein HIPPI-Netzwerk, abgesehen von seltenen Hardwarefehlern, prinzipiell verlustfrei. Es ist daher nicht ungewöhnlich, daß zwischen geeigneten Endsystemen beständige Durchsätze von 80 Mbyte/s und mehr auf Nutzerebene erreicht werden.

Wegen der Besonderheit des physikalischen Verbindungsaufbaus besteht ein HIPPI LAN einfacherweise aus einem Kreuzschienenverteiler, an den jedes Endsystem mit wenigstens einer getrennten Sende- und Empfangsschnittstelle angeschlossen ist. Der PS32 HIPPI Crossbar der Firma Network Systems (NSC) fungiert als zentrale Datendrehscheibe im HWW HIPPI LAN. Er ist mit 18 unabhängigen Toren bestückt. Im Maximalausbau kann er 16 Vollduplex-Verbindungen gleichzeitig durchschalten bei einer Gesamtbandbreite von 26 Gbit/s.



**Bild 3: Konfiguration des HWW HIPPI LAN an der NEC SX-4**

Die NEC SX-4 ist mit insgesamt zehn ihrer sechzehn HIPPI-Kanäle an diesen Crossbar angeschlossen. Weitere Teilnehmer sind der NetStar GigaRouter, der Cray YMP File Server des RUS, ein File Staging Server der Firma Siemens Nixdorf Informationssysteme (SNI) sowie die bereits geschilderten drei Zugangstore zum HWW-Netz. Der PS32 Crossbar unterstützt die automatische Lastteilung über Gruppen von jeweils vier HIPPI-Kanälen. Dieses Verfahren wird als Alternate Pathing bezeichnet, und kann dafür verwendet werden, die mittleren Verbindungsaufbauzeiten zu den HIPPI-Schnittstellen der NEC SX-4 noch weiter zu reduzieren. Ankommende Paketbursts vom NetStar GigaRouter oder von den drei Zugangstoren im RUS werden daher gleichmäßig auf die verfügbaren Netzwerkschnittstellen der NEC SX-4 verteilt.

### Der HWW-Link

Das HWW weist im Augenblick zwei Standorte aus, die etwa 20 km weit voneinander entfernt sind. Es sind dies das Rechenzentrum der Universität Stuttgart in Vaihingen sowie das debis-Rechenzentrum am Standort Mercedesstraße in Untertürkheim. Zwischen den beiden Standorten liegt eine dunkle Einmodenglasfaser, die im zweiten Dämpfungsminimum bei 1300 nm Wellenlänge betrieben wird. Als Endgeräte sind beid- seits ATM-Vermittlungen der Firma FORE Systems angeschlossen vom Typ ASX 200 BXE. Die Linkanschlüsse sind optisch ausgeführt entsprechend der Synchronen Digitalen Hierarchie (SDH), Stufe STM-4c, 622 Mbit/s. Lokal stehen jeweils vier optische Schnittstellen gemäß der Hierarchiestufe STM-1, 155 Mbit/s, zur Verfügung.

Im Augenblick arbeiten die beiden NetStar GigaRouter über den HWW-Link bei einer Schrittrate von 155 Mbit/s. Primär wird der Link für die Übertragung von IP-Datagrammen genutzt. Das zugehörige Protokollprofil wird durch die Kürzel IP/AAL5/ATM/STM-1 beschrieben. Jedoch sind auch sogenannte HIPPI-Tunnel über ATM möglich sowie die transparente Kopplung entfernter FDDI-LANs. Die Unterscheidung und Priorisierung der einzelnen Verkehrsarten auf dem Link erfolgt durch Permanent Virtual Circuits (PVCs). Bedarfsweise können weitere Schnittstellen derselben Hierarchiestufe aktiviert werden. Ausgangs des Jahres werden die beiden NetStar GigaRouter mit ATM-Schnittstellen der Hierarchiestufe STM-4c, entsprechend 622 Mbit/s, aufgerüstet. Die Multiplextechnik des HWW-Links wird dann gemäß einem Stufenplan den höheren Grundgeschwindigkeiten angepaßt werden. Die Grenzrate einer physikalischen HIPPI-Verbindung von

800 Mbit/s ist dabei problemlos zu erreichen, siehe Bild 5.

## Netzwerk-Performance

### Anwendungen im HIPPI LAN

Am Rechenzentrum der Universität Stuttgart sind Datennetze in der Leistungsklasse von 1 Gbit/s seit dem Erscheinen des UltraNet im Jahre 1988 sehr genau untersucht worden [1]. Wohl waren diese Netze anfänglich, wegen ihres exklusiven Charakters, den Systemanwendungen vorbehalten, beispielsweise dem File Service oder der Übertragung von Bewegtbildsequenzen hoher Auflösung auf einen Bildwiederholpeicher [2]. In der Zwischenzeit allerdings hat jeder Nutzer Zugang dazu, ohne daß er sich deshalb besonderer Kenntnisse befleißigen müßte.

Natürlich geht jeder Freigabe von Betriebsmitteln ein ausführlicher Abnahmetest voraus. Im Falle des HWW-Netzes sind alle wesentlichen Netzwerkanwendungen, wie Terminalemulation, Network File System und File Transfer Protocol, Interprozeßkommunikation und Speicher-zu-Speicher-Transfer ausführlich vermessen worden, sowohl zu lokalen als auch zu entfernten Zielrechnern.

Im allgemeinen genügt es, die letzte Verkehrsart, Speicher-zu-Speicher-Transfer, zu kennen. Sie erlaubt den höchsten Durchsatz überhaupt, und Rückschlüsse auf die an-deren Verkehrsarten lassen sich dann, zumindest qualitativ, sehr einfach herleiten [3].

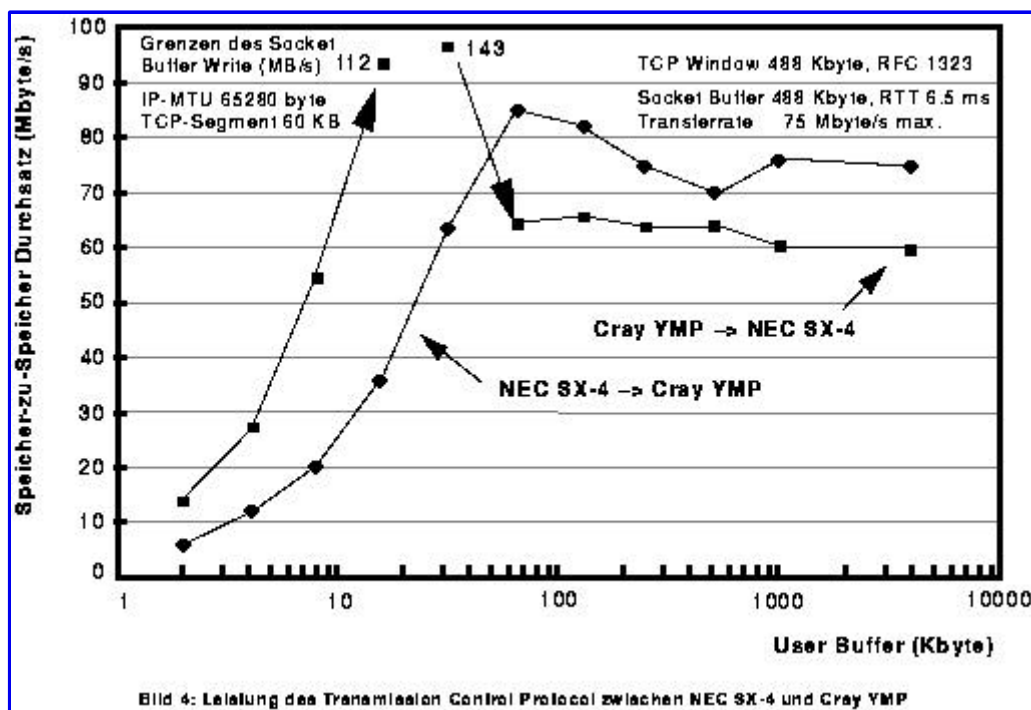


Bild 4: Leistung des Transmission Control Protocol zwischen NEC SX-4 und Cray YMP

Das Bild 4 charakterisiert die Leistung des Transmission Control Protocol (TCP) bei der Übertragung von Hauptspeicherblöcken zwischen der NEC SX-4 und dem File Server Cray 1192 des RUS. Für die interessierenden Blockgrößen ab 32 Kbyte wird zwischen den beiden Maschinen ein beständiger Durchsatz von wenigstens 60 Mbyte/s auf Anwenderebene erzielt. Voraussetzung dafür ist allerdings, daß in der Transportverbindung zwischen den beiden Maschinen ein Flußkontrollfenster von wenigstens einem halben Mbyte verwendet wird [4]. Bei kundiger Einstellung der Parameter des File Transfer Protocol (FTP) gelten ähnliche Werte beim Transfer großer Dateien zwischen den beiden Rechnern. Die Tabelle 1 faßt die bei den Abnahmetests der NEC SX-4 erzielten Leistungsmerkmale zusammen und stellt einen Vergleich her zu den Cray Systemen im HWW-Umfeld (1 MB = 1 Mbyte =

10<sup>6</sup> byte).

Testkategorie/Rechnertyp	NEC SX-4/32 32 CPUs DRAM Cache	Cray T94128 512 MW SSD SCX I/O	Cray C941024 4.17 ns Clock Model E
TCP Speicher-zu-Speicher			
1 * SW Loopback [MB/s]	126	170	70
4 * SW Loopback [MB/s]	482	225	78
1 * HIPPI Loopback [MB/s]	53	--	45
1 * HIPPI Peer-zu-Peer [MB/s]	88	50	72
4 * HIPPI Peer-zu-Peer [MB/s]	354	200	--
File Transfer Protocol (FTP)			
1 * 40 MB [MB/s]	77	--	64
4 * 40 MB [MB/s]	215	--	70
Network File System, Version 2			
1 (4) * 60-KB Writes [MB/s]	12 (20)	--	--
1 (4) * 60-KB Reads [MB/s]	14 (18)	--	--
Cray NFS			
1 (2) * 48-KB Writes [MB/s]	N.A.	--	8 (14)
1 (2) * 60-KB Reads [MB/s]	N.A.	--	8 (14)

Tabelle 1: Ergebnisse der Netzwerk I/O Tests an der NEC SX-4

## HWW-Link

Der HWW-Glasfaserlink stellt das wesentliche Bindeglied zwischen den beiden Standorten des HWW in Vaihingen und Untertürkheim dar. Dieser Link muß daher für eine Vielzahl von Verkehrsarten gleichermaßen gut geeignet sein, unabhängig von der Entfernung zwischen den Kommunikationspartnern und unabhängig davon, ob diese ei-nem einzigen oder unterschiedlichen Netzen angehören.

Der einfachere Fall ist der in Bild 4 beschriebene, nämlich die Kommunikation zwischen zwei mehr oder weniger direkt verbundenen Endsystemen. Man kann hier davon ausgehen, daß Datagramme maximaler Größe, ~ 64 Kbyte, ohne Fragmentierung übertragen werden. Die Grenzrate einer physikalischen HIPPI-Verbindung von 800 Mbit/s ist dabei problemlos zu erreichen.

Anders sieht es aus, wenn die beiden Kommunikationspartner unterschiedlichen Netzen angehören und darüber hinaus auch noch weit voneinander entfernt sind. In diesem Fall wird sich gemäß den Internet-Spezifikationen eine vergleichsweise kleine Datagrammgröße von 576 byte einstellen. Es ist augenfällig, daß die GigaRouter ATM-Schnittstellen in beiden Hierarchiestufen, STM-1 und STM-4c, im Bereich der Übertragung kleiner Datagramme sehr viel leistungsfähiger als der HIPPI-Standard sind. In der Tat ist die Hierarchiestufe STM-4c bei dem zu erwartenden Spektrum der Datagrammgrößen auf dem HWW-Link konkurrenzlos, sodaß die Entscheidung für diese Betriebsform fast zwangsläufig ist.

## Zusammenfassung

Das HWW-Netz kombiniert eine Auswahl der heute verfügbaren LAN-Standards im Höchstgeschwindigkeitsbereich. Der Auswahl der einzelnen Netztechnologien liegt eine Optimierung zugrunde, die die existierende Infrastruktur im Umfeld des HWW, die Eigenschaften der Höchstleistungsrechner und die zu erwartenden Betriebsformen gleichermaßen berücksichtigt. Im Inneren des HWW-Netzes werden Transferraten im Gbit/s-Bereich erzielt. Gleiches gilt mit geringen Einschränkungen auch für die Kommunikation mit ausgewählten externen File Servern, z.B. der Cray YMP des RUS.



Weitere Informationen insbesondere über den Zugang zum HLRS sind erhältlich unter [/HLRS](#)

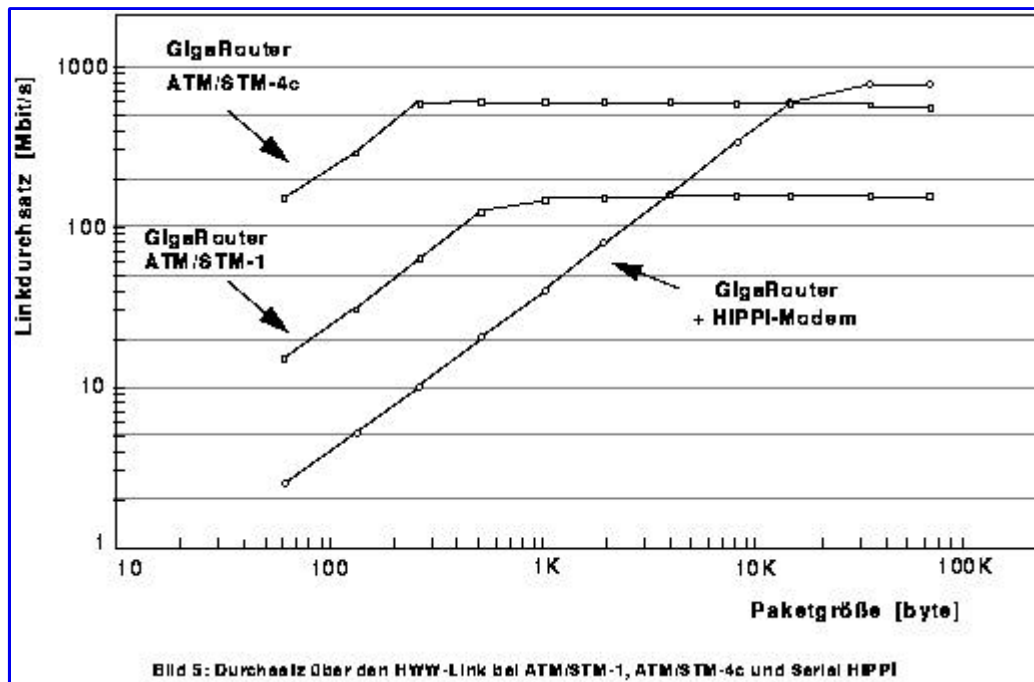


Bild 5: Durchsatz über den HWW-Link bei ATM/STM-1, ATM/STM-4c und Serial HIPPI

## Danksagung

Beim Aufbau des HWW-Netzes haben eine Vielzahl von Personen sehr verdienstvoll mitgewirkt. Besonderer Dank am RUS gebührt Dr. Lothar Ehnis für die Gestaltung der Sicherheitsarchitektur sowie Dieter Raith für deren Implementierung und praktische Erprobung. Wilfried Milow hat die optischen Eigenschaften des HWW-Link erfaßt und die FORE Systems ATM-Vermittlungen in Betrieb genommen. Die Internetdienste des HWW wurden von Dr. Lisa Golka vorgeschlagen und eingerichtet. Peter Merdian und Joseph Michl haben den Anschluß an das Landesforschungsnetz und das Breitband WiN übernommen. Schließlich waren Roland Fauser und Klaus-Dieter Lehle von der debis Systemhaus CCS GmbH maßgeblich am Aufbau der GigaRouter Infrastruktur beteiligt, ebenso Helmut Mühl-Kühner, NetStar Deutschland GmbH. Die Netzwerk-HWW-Link-Performance-Messungen an der NEC SX-4 stammen zu einem großen Teil von Masahiko Ishii, NEC Tokio.

## Verwendete Abkürzungen

AAL ATM Adaptation Layer  
 ATM Asynchroner Transfer Mode  
 BelWü Baden-Württemberg Extended LAN  
 BWiN Breitband-Wissenschaftsnetz  
 CNFS Cray Network File System  
 CPU Central Processing Unit  
 debis Daimler-Benz Interservices  
 DFG Deutsche Forschungsgemeinschaft  
 DFN Deutsches Forschungsnetz  
 DRAM Dynamic Random Access Memory  
 FDDI Fibre Distributed Data Interface  
 FTP File Transfer Protocol  
 HIPPI High Performance Parallel Interface  
 HLRS Höchstleistungsrechenzentrum Stuttgart  
 HPCN High Performance Computing and Networking  
 HWW Höchstleistungsrechner für Wissenschaft und Wirtschaft Betriebs GmbH  
 IP Internet Protocol  
 IOP Input/Output Processor  
 IOX Input/Output Multiplexor

LAN Local Area Network  
MTU Maximum Transmission Unit  
NEC Nippon Electric Corporation  
NFS Network File System  
NSC Network Systems Company  
PAGEIN Pilot Applications for a Gbit European Integrated Network  
PCI Peripheral Connect Interface  
PVC Permanent Virtual Circuit  
RFC Internet Request for Comment  
RUS Rechenzentrum Universität Stuttgart  
SCX Scalable Coherent System Interconnect  
SDH Synchrone Digitale Hierarchie  
SNI Siemens Nixdorf Informationssysteme  
SSD Solid State Disk  
STM Synchroner Transport Modul  
SVC Switched Virtual Circuit  
TCP Transmission Control Protocol  
TKS Telekommunikation Services

## Literatur

- [1] Christ, P., Haas, P.: Performance, Protocol, and Reliability Analysis, RACE Document R2031/RUS/PAGEIN/DS/P/0010, January 1993  
[2] Haas, P., Christ, P.: Networking Issues in PAGEIN: The N of HPCN, Published by Wolfgang Gentzsch, Uwe Harms (Eds.), Lecture Notes in Computer Science, Volume 797, High-Performance Computing and Networking, pp. 86--93, Springer Verlag, Berlin, ISBN 3-540-57981-8  
[3] Haas, P.: High Performance Communication in Large MTU Networks, Cray User Group (CUG) 1995 Fall Proceedings, pp. 163 -- 174, Fairbanks, USA, September 25--29, 1995  
[4] Borman, D., Braden, R., Jacobson, V.: TCP Extensions for High Performance, Internet Request for Comment (RFC) 1323, May 13, 1992. Zu erhalten beispielsweise über <http://www.darkface.pp.se/rfc/>

Peter Haas, 121-3647  
E-Mail: [haas@rus.uni-stuttgart.de](mailto:haas@rus.uni-stuttgart.de)

Paul Christ, NA-2515  
E-Mail: [christ@rus.uni-stuttgart.de](mailto:christ@rus.uni-stuttgart.de)

---

# HWW-LINK: Optik und SDH

*Wilfried Milow*

Im vorangegangenen Artikel *Gigabit Produktionsnetze im HWW* wurde in einem Kapitel auch der HWW-Link, die physische Verbindung zwischen den beiden Standorten Stuttgart-Vaihingen und -Untertürkheim erwähnt. Der vorliegende Artikel gibt eine Beschreibung der bei dessen Realisierung aufgetretenen Fragen, de-ren Antworten für andere Netzbetreiber von Interesse sein könnten.

## Relevante Ebenen des OSI-Modells

Dieser Abschnitt kennzeichnet die Fragestellung des Artikels zunächst als zu den untersten Unter-Schichten des sogenannten OSI-Modells gehörend. Unterhalb der WebSeite, die vielleicht gerade auf Ihrem Bildschirm abgebildet ist, liegen die in der folgenden Tabelle 1 aufgeführten OSI-Schichten: