

IPv6 im WiN

Vertrag TK 602-NT 205

Abschlußbericht

Projektzeitraum 01. Juli 2002 – 30. Juni 2004

Erstellt von:
Dr. Georg Richter
Christian Schild
André Stolze
Christian Strauf
Tina Strauf



Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Zentrum für Informationsverarbeitung

27. September 2004

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	3
2	ÜBERBLICK	3
3	AKTIVITÄTEN IM PROJEKTZEITRAUM	5
3.1	6WiN	5
3.1.1	<i>Betrieb des 6WiNs</i>	6
3.1.2	<i>Tests im 6WiN</i>	7
3.2	VOM JOIN-TEAM BETRIEBENE SERVER	8
3.2.1	<i>FTP-Server (FTP)</i>	8
3.2.2	<i>Mail-Server (SMTP, POP3, IMAP)</i>	9
3.2.3	<i>Name-Server (DNS)</i>	10
3.2.4	<i>News-Server (NNTP)</i>	10
3.2.5	<i>WWW-Server (http)</i>	11
3.3	6BONE	11
3.3.1	<i>Umzug des 6bone-Knotens</i>	11
3.3.2	<i>6bone-Phaseout</i>	12
3.3.3	<i>Status des 6bone-Knotens zum Projektende</i>	12
3.4	NETZWERKMANAGEMENT	12
3.4.1	<i>Argus</i>	13
3.4.2	<i>JOIN-TV</i>	13
3.4.3	<i>AS-Path-Tree</i>	13
3.4.4	<i>Looking Glass</i>	13
3.4.5	<i>Site-Management mit DHCPv6</i>	14
3.5	DIAL-IN ZUGÄNGE	15
3.6	JOIN SOFTWARE ROUTER	15
3.7	ARBEITEN IM JOIN-LABOR	16
3.7.1	<i>Switch-Tests</i>	16
3.8	6NET	17
3.9	KOOPERATIONEN / MITGLIEDSCHAFTEN	18
3.9.1	<i>G-WiN Labor (IPPM)</i>	19
3.9.2	<i>GÉANT-IPv6-Task-Force</i>	19
3.9.3	<i>IPv6-Showcase</i>	19
3.9.4	<i>IPv6 Taskforce Deutschland</i>	19
3.9.5	<i>Meinberg Funkuhren</i>	20
3.9.6	<i>NEC (DHCPv6)</i>	21
3.9.7	<i>TF-NGN</i>	21
4	FAZIT	22
4.1	IPV6 IN VERGANGENHEIT, GEGENWART UND ZUKUNFT	22
4.2	ALLGEMEINE PROJEKTERGEBNISSE	23
4.3	IPV6 IM WiN	24
4.3.1	<i>...zum Ende des Projekts</i>	24
4.3.2	<i>...nach Abschluss des Projekts</i>	24
5	WURDE DAS PROJEKT ZU FRÜH BEENDET?	24
6	ANHÄNGE	25
6.1	VERÖFFENTLICHUNGEN	25
6.2	VORTRÄGE	26
6.3	6WiN KUNDEN	27
6.3.1	<i>Angeschlossene Kunden</i>	27
6.3.2	<i>Noch nicht angeschlossene Kunden</i>	28
6.3.3	<i>Aktuell aktive 6bone-Kunden</i>	29

1 Einleitung

An der Westfälischen Wilhelms-Universität wurde vom JOIN-Projektteam für den Verein zur Förderung eines Deutschen Forschungsnetzes (DFN) das Projekt „IPv6 im WiN“ (TK 602 - NT 205) zur Einführung des neuen Internet-Protokolls Version 6 (IPv6) in den Betrieb des DFNs durchgeführt. Dieses Projekt war ein Folgeprojekt zum Vorgänger „IPv6 im WiN“ (TK 602 – NT 117) und beinhaltete als solches offen gebliebene und fortzuführende Aufgaben sowie neue Projektziele.

An der Westfälischen Wilhelms-Universität (WWU) existiert bereits seit 1995 die Projektgruppe mit dem Namen JOIN, die sich mit IPv6 und der Integration dieses Protokolls in Netzwerke aller Art beschäftigt. Die Projektschwerpunkte haben sich über die Zeit vom Engagement bei der Standardisierung diverser Teilaspekte des Protokolls über Tests erster Applikationen und Hardware bis hin zur Entwicklung von Transitionstrategien von der alten Version des Internet-Protokolls (IP oder IPv4) zu IPv6 entwickelt.

Während des aktuellen Projekts lag der Schwerpunkt in der Integration von IPv6 in einen Pilot-Betrieb des DFNs. Dazu wurde das 6WiN genutzt, einem zum GWiN parallelen IPv6-only Netzwerk, welches im Rahmen eines Kooperationsprojekts mit der T-Systems Nova Berkom in den Jahren 2001-2002 aufgebaut wurde. Im Zusammenhang mit dieser Aufgabe sollten außerdem DFN-Mitglieder gezielt bei der Integration von IPv6 in ihre Netze beraten und speziell angepasste Migrationszenarien entwickelt werden. Darunter fiel sowohl die Entwicklung von IPv6-Adressplänen, die Beratung in Bezug auf die Umstellung von Applikationen und Diensten als auch die Entwicklung von Lösungen für spezielle Szenarien wie Dial-In-Zugänge.

2 Überblick

Im Rahmen des Projekts „IPv6 im WiN“ (TK 602- NT 205) konnte die erfolgreiche Arbeit des Vorgängerprojektes TK 602 - NT 117 fortgesetzt werden, und die für das aktuelle Projekt gesetzten Ziele wurden allesamt erreicht. An einigen Stellen, wo die Lösung eines Problems auf Grund fehlenden technischen Fortschritts bei Herstellern von Soft- und Hardware nicht konventionell gefunden werden konnte, hat JOIN innovative Überbrückungslösungen entwickelt. Dabei konnte häufig auf die Expertise von Partnern im Kooperationsprojekt 6NET zurückgegriffen werden, wodurch sich vielfach wertvolle Synergie-Effekte erzielen ließen.

Im Laufe des Projektes wurde IPv6 über das 6WiN für alle DFN-Mitgliedseinrichtungen nutzbar gemacht. Dieses Angebot wurde im Projektzeitraum von nicht weniger als 33 DFN-Mitgliedseinrichtungen angenommen, die zum Teil native (3), zum größeren Teil aber über einen IPv6-in-IPv4 Tunnel an das 6WiN angeschlossen worden sind.¹ Gleichzeitig wurden nicht nur die anzuschließenden Einrichtungen, sondern auch sämtliche anderen DFN-Mitgliedseinrichtungen möglichst umfassend im Hinblick auf IPv6 beraten und geschult. Dafür hat das JOIN-Team u.a. auf allen in der Projektlaufzeit stattfindenden DFN-Betriebstagen ein IPv6-Forum organisiert und

¹ Da das 6WiN eine zum GWiN parallele Infrastruktur ist, wäre für eine native Anbindung von Kunden eine dedizierte Leitung vom 6WiN-Standort zum Kunden notwendig gewesen, eine Investition, die aus Projektmitteln nicht finanzierbar war.

dort zum Teil auch projektferne Experten zu Präsentationen eingeladen, die z.B. über Neuentwicklungen in Sachen IPv6 in der Industrie referierten.

Die Beratungstätigkeit in Hinblick auf Mitgliedseinrichtungen beinhaltete neben der Klärung allgemeiner Fragen zu IPv6, wie beispielsweise zum aktuellen Status von IPv6 im Internet allgemein, auch speziellen Fragen, wie die Unterstützung bei der Fehlersuche in der Tunnelkonfiguration oder im DNS oder dem Einsatz bestimmter Transitionsmechanismen an bestimmten Stellen im Netz. Im Laufe des Projektes wurde außerdem eine kostengünstige Hardware-Lösung gefunden, die interessierten DFN-Mitgliedseinrichtungen einen schnellen Anschluss an das 6WiN ermöglichen sollte. Da DFN-Einrichtungen in der Regel nicht ihren GWiN-Access-Router für diese Aufgabe verwenden wollten oder konnten und alle kommerziellen Produkte in diesem Bereich den Anforderungen nicht gerecht wurden, hat JOIN innerhalb des Projektes einen eigenen speziell angepassten Software-Router entwickelt und implementiert.

In der zweiten Hälfte der Projektlaufzeit hat JOIN einen großen Teil zur Integration von IPv6-Funktionalität in einigen Appliances und Anwendungen beigetragen. So unterstützte JOIN die Programmierer der Open-Source-Software für Voice-over-IP „GnomeMeeting“ in ihrem Bestreben, IPv6 als Transport-Protokoll nutzbar zu machen und half der Firma Meinberg bei der Entwicklung einer IPv6-fähigen Version ihres NTP-Server Produkts „Lantime“. Teils war bei diesen Aufgaben Beratungstätigkeit, teils aber auch lediglich die Bereitstellung von IPv6-Konnektivität über den vom JOIN-Team seit 1996 betriebenen deutschen 6bone-Knoten für Nicht-DFN-Kunden erforderlich.

Im Laufe des Projektzeitraums wurde auch der Internet-Auftritt des JOIN-Projektes nach Anschaffung neuer Hardware grundlegend neu gestaltet. Das Hauptaugenmerk lag hierbei auf einer erhöhten Übersichtlichkeit und Erweiterung der zur Verfügung gestellten Inhalte. So wurde zum Beispiel eine Suche integriert, die es ermöglicht, effizient und schnell IPv6 relevante RFCs und Internet-Drafts zu bestimmten Schlagworten zu finden. Außerdem wurde auch der Bestand an Howto-Dokumenten aktualisiert und stark erweitert.

Weiterhin wurde für das 6WiN ein eigener (virtueller) Webserver eingerichtet, um Betriebshinweise zum 6WiN und allgemeine Informationen zu diesem Netz von der JOIN-Site zu trennen. Dies ist auch im Hinblick auf eine Erleichterung der Übergabe am Ende des Pre-Pilotbetriebes des 6WiN an das DFN-NOC geschehen.

Neben dem Web-Server, der auch die von JOIN verwendeten Netzwerkmanagement-Software beherbergt, sind im neu entstandenen JOIN-IPv6-Server-Subnetz ein NTP-Server der Firma Meinberg Funkuhren, der DNS-Server des JOIN-Projektes, ein experimenteller Net-News-Server, der JOIN-FTP-Server sowie zwei Open-VPN-Server zu Dial-In-Testzwecken zusammengefasst worden.

3 Aktivitäten im Projektzeitraum

3.1 6WiN

Das JOIN-Team betrieb über den gesamten Projektzeitraum hinweg das native IPv6-only-Kernnetz 6WiN für den DFN (siehe Abbildung 3-1). Dieses Netzwerk wurde im Rahmen des Kooperationsprojektes mit der T-Systems Nova Berkom im Jahr 2002 vom JOIN-Team aufgebaut und seit Ablauf des Kooperationsprojektes Ende 2002 im Rahmen des JOIN-Projektes weiter betrieben und sowohl für den Anschluss von DFN-Mitgliedseinrichtungen an das globale IPv6-Netz genutzt als auch zu Testzwecken.

Übersichtsbild des 6WiN

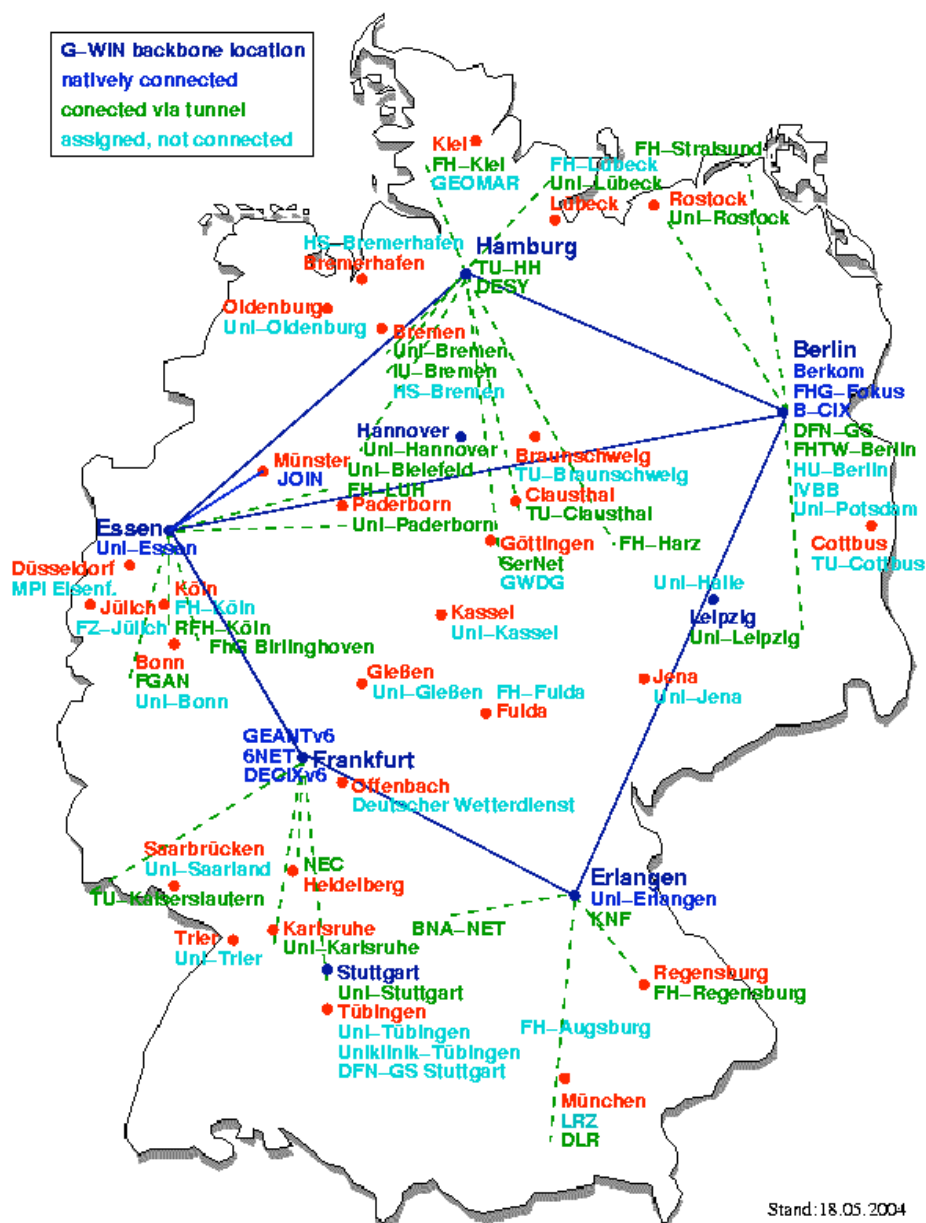


Abbildung 3-1

3.1.1 Betrieb des 6WiNs

3.1.1.1 Kundenanbindung

Im Rahmen des 6WiN-Betriebs hat das JOIN viele DFN-Mitglieder als Kunden an das 6WiN angeschlossen. Neben der eigentlichen Schaltung des Tunnels und der dazu nötigen Übermittlung von Informationen an den Kunden wurden dabei auch Hilfestellungen bei auftretenden Problemen mit dem Tunnel oder bei der Installation und im Betrieb vom IPv6-Nameservice geleistet. Außerdem hat JOIN neue und bereits seit längerem angeschlossene Kunden hinsichtlich des weiteren Einsatzes von IPv6 im Netz der beteiligten Universitäten und Forschungseinrichtungen beraten. Dabei ging es von Fragen zum Einsatz bestimmter Hardware über Hilfestellung bei der Entwicklung von geeigneten IPv6-Adressplänen bis zu konkreten Hilfestellungen bei Problemen um alle Fragen, die bei der Integration von IPv6 in die Netze der Mitgliedseinrichtungen auftreten konnten.

Diese Beratung erfolgte in der Regel über E-mail, nicht selten wurde bei komplizierten Fehlerbehebungsmaßnahmen aber auch telefoniert.

Insgesamt wurden während der Projektlaufzeit 33 Einrichtungen angebunden (siehe 6.3).

3.1.1.2 Externe Anbindungen

Ein für den Betrieb des 6WiNs essenzieller Teil beim Aufbau und der Wartung des Netzes sind die im Laufe des Projektes etablierten externen Anschlüsse. So konnten mit dem DECIX in Frankfurt und dem B-CIX in Berlin Anschlüsse an zwei wichtige Exchange-Points realisiert werden.

Im Rahmen der Teilnahme am 6NET Projekt wurde das 6WiN in Frankfurt im Jahr 2002 auch an das Testnetzwerk 6NET angeschlossen und damit über IPv6 mit den anderen Wissenschafts-Netzwerken in Europa verbunden.

Im Jahr 2003 begann DANTE damit, das GÉANT-Netzwerk, welches sämtliche Wissenschafts-Netzwerke in Europa verbindet, in einen IPv6-Pilotbetrieb zu überführen. In diesem Zusammenhang wurde auch das 6WiN an das GÉANT angeschlossen, eine Anbindung, die langfristig die Anbindung über das 6NET vollständig ersetzen soll. Im speziellen Fall des DFN, bei dem das IPv4-Netz (GWiN) und das IPv6-Netz (6WiN) topologisch vollständig voneinander getrennt sind, konnte der Anschluss an das GÉANT, für das physikalisch nur eine IPv4-Anbindung existiert, nicht native hergestellt werden. Hier musste stattdessen die Anbindung über einen IPv6-in-IPv4 Tunnel realisiert werden, der allerdings topologisch sehr kurz und daher recht effizient ist.

Die im Rahmen des Kooperations-Projekts „Showcase“ etablierte direkte native Verbindung zur T-Systems Nova Berkomp in Berlin wurde deaktiviert. Stattdessen wurde die Leitung zur Fraunhofer Fokus GmbH, die sich im gleichen Gebäude, wie die T-Systems Nova Berkomp befindet, genutzt. Die neue Anbindung wurde dabei ebenfalls native durch ein Multihop-BGP-Peering realisiert.

Im Laufe des Projekts hat JOIN versucht, alle zunächst über Tunnel realisierten externen Anbindungen durch native Verbindungen zu ersetzen, da Tunnel im Produktions-

einsatz oft nicht toleriert werden. Dies war fast vollständig erfolgreich. Der letzte existierende Tunnel ist lediglich die Verbindung zum GÉANT-Netzwerk.

3.1.1.3 Änderung der Präfixlänge

Ursprünglich wurden von RIPE im Jahr 2001 /35-Präfixe an Internet-Provider in Europa vergeben. Zu diesem Zeitpunkt beantragte auch der DFN erstmals IPv6-Adressraum und erhielt das Präfix 2001:638::/35, welches seit Mitte 2002 im 6WiN eingesetzt wird. Bereits 2002 aber änderte RIPE seine Vergaberichtlinien für IPv6 Adressraum und vergab fortan /32-Präfixe. Kunden, die bereits ein /35-Präfix erhalten hatten, konnten durch einem formlosen Antrag ihr Präfix auf /32 verlängern lassen. Diese Chance nahm der DFN Anfang 2003 wahr und im August konnte JOIN diese Änderung auch in den Betrieb des 6WiNs und damit in Bezug auf die externen BGP-Peerings realisieren.

3.1.1.4 Routingstrategie

Während des Projektzeitraums wurde geprüft, ob sich das 6WiN von seinem Status als Transitnetz zu einem reinen Kundennetz herabstufen ließ, also zu einem Netz ohne jeglichen Transitverkehr für Nicht-DFN-Mitglieder. Im Verbund zwischen 6NET, GÉANT, DECIX/BCIX und vor allem einigen Kunden, die quasi selbst Provider sind (BelWue) und das 6WiN als Upstream-Provider nutzen, war dies jedoch nicht ohne weiteres möglich. Hier muss nochmals evaluiert werden, inwieweit dieser Schritt machbar und sinnvoll ist.

3.1.2 Tests im 6WiN

3.1.2.1 Benutzte IOS Versionen

Aus Gründen der Betriebssicherheit und um neue Funktionalitäten wie beispielsweise IPv6 Multicast zu testen, wurden auf den 6WiN-Routern regelmäßig neue Betriebssystemversionen (IOS) eingespielt, unter anderem auch von Cisco vorzeitig zur Verfügung gestellte "Early Field Trials" (EFT). Eingesetzte Versionen waren:

- 12.3(1)
- 12.3(1)a
- 12.3(2)T1
- 12.3(2)T2
- 12.3(4)T
- geshi (EFT)
- geshi-II (EFT)
- 12.3(7)T

3.1.2.2 IPv6 Multicast

Mit Hilfe einiger Tests und oben genannter IOS-Versionen konnte im Rahmen des Projekts erfolgreich IPv6-Multicast im 6WiN getestet, unmittelbar etabliert und damit auch Kunden angeboten werden. Die notwendigen Protokolle (PIM-SM, MBGP) standen mit IOS 12.3(4)T erstmalig produktiv zur Verfügung, so dass im November

2003 IPv6 Multicast im 6WiN aktiviert werden konnte. Multicast-Angebote werden für 6WiN-Kunden über MBGP zur Verfügung gestellt. Im 6NET sind mehrere RPs (Multicast-Rendezvous-Punkte) mit unterschiedlicher Reichweite (6NET: 6NET Scope, Renater: global Scope) erreichbar. Für den DFN wurde noch kein eigener Rendezvous-Punkt aufgesetzt.

Als Kunden sind bisher die Universität Münster und FhG in diese Tests involviert, es haben jedoch bereits weitere Einrichtungen (Leipzig, Erlangen) ihr Interesse bekundet. Nach Möglichkeit sollen die Multicast-Tests mit diesen Instituten auch über den Projektzeitraum hinaus fortgesetzt werden.

3.2 Vom JOIN-Team betriebene Server

Es ist für die Verbreitung von IPv6 unerlässlich zu demonstrieren, dass IPv6 nicht länger nur ein Gedankenexperiment ist, sondern in allen Bereichen produktiv einsetzbar ist und sowohl funktionierende Anwendungen als auch Services im Internet zur Verfügung stehen. Im Zuge dieser Aufgabenstellung wurden im JOIN-Projekt einige der Internet-Basis-Dienste wie WWW, Mail, Net-News und FTP über IPv6 auf Servern bereitgestellt, sobald funktionsfähige Software verfügbar wurde. In den folgenden Unterkapiteln werden die betriebenen Dienste kurz vorgestellt.

3.2.1 FTP-Server (FTP)

Bereits im Vorgänger-Projekt wurde von JOIN ein IPv6-fähiger FTP-Server betrieben, der mittlerweile in der Internet-Gemeinde sehr beliebt ist. Dieser FTP-Server spiegelte von Anfang an einige der beliebtesten Linux-Distributionen und Informationsangebote zum Thema IPv6, die im Laufe des aktuellen Projekts u.a. um einen die sehr beliebte OpenOffice Distribution sowie um das Angebot der Linux-Distribution Gentoo erweitert wurde. Zum Projektende waren folgende Pakete von dem FTP-Server abrufbar.

Linux-Distributionen:

- Debian
- Debian-non-US
- Fedora
- Gentoo und Gentoo-portage
- Mandrake
- RedHat
- SuSE

BSD-Distributionen:

- FreeBSD
- NetBSD

Weitere Software:

- OpenOffice
- Comprehensive Perl Archive Network (CPAN)
- Sun Public Patches
- Linux-Kernels
- Mozilla

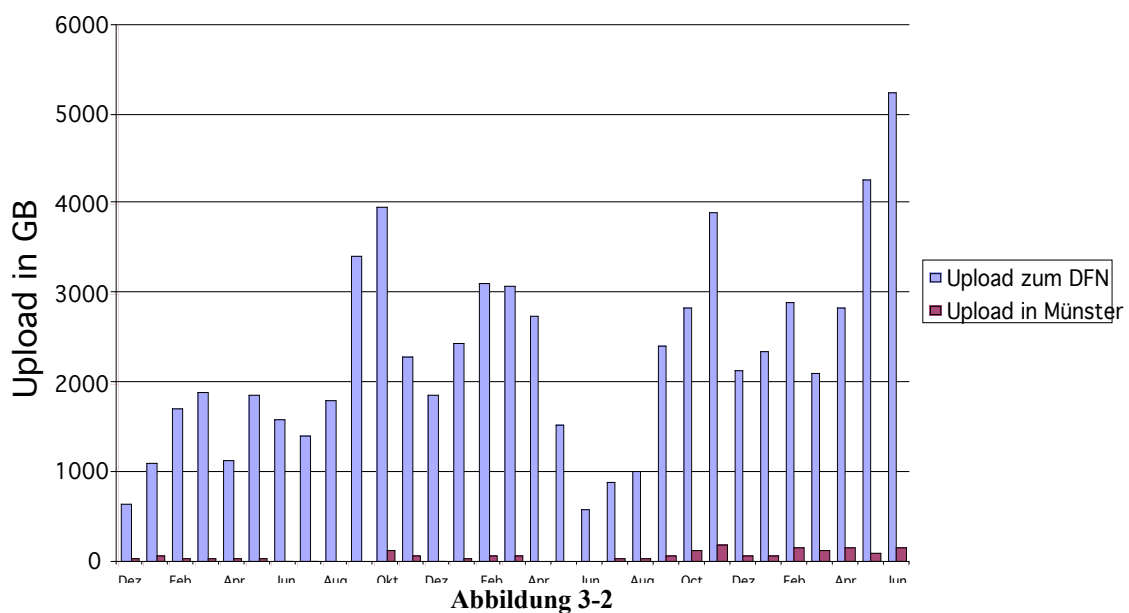
- USAGI-Projekt
- Bieringer IPv6 Stuff

Dokumentation:

- RFC's und Drafts

Zum Projektende wurden auf dem FTP-Server etwa 800 Gigabyte an Daten vorgehalten. Monatlich wurden etwa 2-5 Terabyte abgerufen (siehe Abbildung 3-2). Etwa 0,5-1,5 Prozent davon sind IPv6-Traffic. Die Zahl erscheint klein, absolut gerechnet sind das aber immer noch mehrere Gigabyte an Daten pro Monat.

Upload FTP-Server pro Monat



Der FTP-Server ist unter den folgenden Adressen erreichbar:

- ftp://ftp.join.uni-muenster.de (IPv4 und IPv6)
- ftp://ftp.ipv6.uni-muenster.de (IPv6-only)
- ftp://ftp.uni-muenster.de (IPv4-only)

Neben dem normalen FTP-Zugang über ftp://ftp.join.uni-muenster.de kann auf alle Pakete auch mit 'rsync' (natürlich auch über IPv6) zugegriffen werden.

3.2.2 Mail-Server (SMTP, POP3, IMAP)

Der Mail-Server ist der letzte Server, der im JOIN-Projekt in den Produktions-Betrieb genommen wurde. Der Server besteht aus zwei Teilen für eingehende und ausgehende E-Mail.

Eingangsseitig verwendet JOIN das Programm *sendmail* in der jeweils aktuellen Version, welches direkt IPv6 unterstützt. Ausgangsseitig kommt eine etwas ältere Version

des IMAP4-Servers der University of Washington zum Einsatz, die in Kooperation mit dem 6NET-Partner UNINETT² um IPv6-Funktionalität erweitert wurde.

3.2.3 Name-Server (DNS)

JOIN betrieb schon seit dem vorangegangenen Projekt einen IPv6-Domain-Name-Server und verwaltet diverse Zonen für die Universität Münster, den DFN und für zahlreiche 6bone- und 6WiN-Kunden.

Der Name-Server war zu Beginn der Projektlaufzeit im JOIN-Labor lokalisiert. Da im Labor der zu Testzwecken übliche 6bone-Adressraum verwendet wurde, verfügte auch der Name-Server über eine 6bone-Adresse und war damit nur über die 6bone-Infrastruktur erreichbar. Da das 6bone zunehmend unzuverlässig wird und topologisch auch vom restlichen Adressraum der Universität Münster und den DFN-Kunden stark getrennt ist, wurde beschlossen den Nameserver aus dem Labor auszugliedern und im IPv6-Servernetz der Universität Münster anzuschließen. Über das dort vorhandene Produktionspräfix der Universität ist der Nameserver deutlich besser und sicherer zu erreichen.

Der Names-Server ist bei diesem Umzug direkt auf einem neueren und leistungsfähigeren System aufgesetzt worden, welches den aktuellen Ansprüchen eher gerecht wird. Zudem wurde bei der Neuinstallation mehr Wert auf Sicherheit nach außen gelegt. Während der alte Server noch zu Testzwecken offen für Zugriffe von überall war und von jedem als IPv6-Nameserver genutzt werden konnte, ist der neue Dienst deutlich restriktiver im Hinblick auf Zugriffsrechte auf Zonen, Zonentransfers und Namensauflösung konfiguriert.

Nach wie vor ist der Nameserver unter der Adresse „ns.join.uni-muenster.de“ (über IPv4 und IPv6) zu erreichen.

3.2.4 News-Server (NNTP)

Eine der meistgenutzten Anwendungen im Internet ist der Net-News-Dienst. Diese Anwendung ist historisch gesehen sogar noch älter als das WWW. Aus diesem Grunde war das JOIN-Team der Ansicht, dass ein Net-News-Server sehr gut dazu genutzt werden könnte, um IPv6 als Übertragungsprotokoll weiter zu fördern. Dafür wurde eigens zu diesem Zweck ein neues System angeschafft und ein IPv6-fähiger NNTP-Server aufgesetzt, der voll funktionsfähig ist. Es wurde bis zum Projektende leider nicht geklärt, auf welchem Wege die Synchronisation mit dem weltweiten Net-News-Bestand, inklusive Filterung der rechtlich problematischen News-Gruppen, erfolgen sollte.

Daher ist der Server zum Projektende nur zu Testzwecken benutzbar. Es wird allerdings weiterhin versucht, den Server als Ersatz des News-Servers der Universität Münster über IPv4 und IPv6 zu etablieren.

² UNINETT: Norwegisches Forschungsnetz.

3.2.5 WWW-Server (http)

Der WWW-Server des JOIN-Teams erfreute sich seit seiner Existenz einer immer größer werdenden Beliebtheit. Der Server beherbergt neben dem offiziellen Internet-Auftritt des JOIN-Projekts, der in externen Verweisen als die deutschsprachige IPv6-Referenz in vielen Bereichen angegeben wird, auch die Seiten für das 6WiN. Auch war es keine Frage, dass das JOIN-Team auf seinem Webserver die offizielle Homepage der IPv6 Task Force Deutschlands beherbergen sollte. Im Einzelnen ist der WWW-Server unter folgenden Aliassen zu erreichen.

- [http|https]://www.join.uni-muenster.de
- [http|https]://www.ipv6.uni-muenster.de
- [http|https]://www.6win.de
- [http|https]://www.ipv6-tf.de
- [http|https]://www.ipv6tf.de

Nebenbei ist die Seite der GÉANT-IPv6 Task Force auf dem JOIN-Webserver zu erreichen.

Neben Inhalten zu den diversen IPv6-Projekten dient der Webserver auch als Plattform für die 6WiN-Visualisierungs-Software (JOIN-TV (3.4.2)) und wird von JOIN für Überwachungsfunktionen (Argus(3.4.1)) im 6WiN und für angebotene Dienste genutzt.

Bedingt durch die Vielzahl der gehosteten Domains und die zusätzlichen Leistungsanforderungen durch die vom JOIN-Team entwickelten und eingesetzten Netzwerküberwachungsprogramme wurde es in Verlauf des Projektes notwendig, die vorhandene Hardware durch ein moderneres System zu ersetzen.

3.3 6bone

JOIN wurde bereits 1996 als pTLA³ für das weltweite IPv6-Testnetzwerk 6bone anerkannt. Dabei hat JOIN seinerzeit das Präfix 3ffe:400::/24 erhalten, aus dem das Projekt seither /48-Präfixe an interessierte Kunden aus Forschung und Wirtschaft delegiert und diese über einen IPv6-in-IPv4-Tunnel an das 6bone anschließt. Dafür betreibt JOIN einen 6bone-Knoten der - ebenfalls über IPv6-in-IPv4-Tunnel - mit externen BGP⁴-Peerings in das 6bone eingebunden ist.

3.3.1 Umzug des 6bone-Knotens

Bis Dezember 2002 wurde von JOIN für den 6bone-Service ein Telebit-Router verwendet, dessen Software auf Grund zu alter Hardware und Speichermangels seit einigen Jahren jedoch nicht mehr aktualisiert werden konnte. Außerdem zeigte sich der Router der immer größer werdenden Anzahl von Tunneln und BGP-Verbindungen nicht mehr gewachsen und fiel häufiger aus. Daher wurde der 6bone-Service im Dezember 2002 auf einen Cisco-Router (Modell 7206) umgestellt. Neben der Aufarbeitung von Altlasten wurde dabei auch das Management des JOIN-6bone-Service durch den Einsatz einer Datenbank deutlich verbessert.

³ pTLA: pseudo Top Level Aggregator

⁴ BGP: Border Gateway Protocol

3.3.2 6bone-Phaseout

Das 6bone wurde 1996 von der IETF als IPv6-Testnetz gegründet, um interessierten Internetnutzern die Möglichkeit zu geben, auf einfache Weise erste Erfahrungen mit IPv6 zu sammeln und den Übergang zur vollständigen Integration von IPv6 in das Internet zu erleichtern. Das 6bone arbeitet entsprechend RFC 2471 mit dem vorübergehend von der IANA für dieses Netz vergebenen Adressbereich 3ffe::/16. Seit 1999 wird IPv6 unter dem Adressbereich 2001::/16 aber immer häufiger auch produktiv eingesetzt, so dass es der IETF sinnvoll erschien, für die nächsten Jahre die schrittweise Abschaffung des 6bones zu planen, womit der Adressbereich 3ffe::/16 zur Neuvergabe an die IANA zurückfällt. Über einen solchen „6bone-Phaseout-Plan“ wurde im Jahr 2003 auf der 6bone-Mailingliste „6bone.isi.edu“ diskutiert. Bis März war man sich darüber bereits soweit einig, dass auf der 56. IETF in San Francisco vom 16. bis 21. März eine erste Version eines solchen Plans (draft-fink-6bone-phaseout) von der 6bone-Arbeitsgruppe verabschiedet werden konnte. Dieser sieht im Wesentlichen die endgültige Abschaltung des 6bones am 6. Juni 2006 vor. In einem ersten Schritt werden bis dahin allerdings schon ab dem 1. Januar 2004 keine weiteren pTLAs mehr vergeben. Der 6bone-Phaseout wurde von der IESG⁵ als RFC3701 veröffentlicht.

3.3.3 Status des 6bone-Knotens zum Projektende

Bis zum 31. Dezember 2002 hatte JOIN insgesamt 205 Präfixe an Kunden vergeben. Von diesen wurden bisher ungefähr 10 Delegationen offiziell zurückgenommen. Aktuell gibt es noch 55 aktive Tunnel zu Kunden und etwa 10 externe Peerings zu anderen 6bone-Knoten.

Die Nachfrage neuer Kunden nach 6bone-Konnektivität hat zum Projektende abgenommen. Daher wird der Service mit dem Projektende für neue Kunden eingestellt. Der Router mit allen bestehenden Tunneln und Peerings wird jedoch im Rahmen des weiterlaufenden 6NET Projekts noch so lange wie möglich weiter betrieben und gewartet.

3.4 Netzwerkmanagement

Im Laufe des Projektes „IPv6 im WiN“ wurde sehr schnell deutlich, dass der Betrieb des 6WiN nicht ohne eine umfassende Netzwerk-Überwachung möglich ist. Dabei war eine Forderung des JOIN-Teams, dass auch die Management-Software IPv6-fähig sein sollte. Es stellte sich jedoch schnell heraus, dass der überwiegende Teil der Standard-Software noch keine IPv6-Funktionalitäten besaß. Die Produkte, die bereits IPv6 unterstützen, kamen nicht zum Einsatz, da sie nicht mit den finanziellen Rahmenbedingungen des Projektes in Einklang hätten gebracht werden können. Durch Nachfragen bei Herstellern, die in ihren Produkten IPv6-Unterstützung boten, wurde zudem deutlich, dass eine Entwicklung in diese Richtung in der näheren Zukunft nicht geplant war. Daraufhin begann das JOIN-Team mit der Entwicklung eigener Lösungen (JOIN-TV) und begab sich auf die Suche nach Programmen aus der Welt der Open-Source Software.

⁵ Internet Engineering Standardisation Group

3.4.1 Argus

Argus ist ein Überwachungssystem, mit dem eine Vielzahl von Diensten beobachtet werden kann, allen voran kann regelmäßig die Erreichbarkeit von Netzwerkkomponenten überwacht werden. Argus beherrscht dies gleichermaßen für IPv4 und IPv6. Im 6WiN ist Argus bisher im Einsatz, um die Kernnetzleitungen und die Kernnetzrouter zu überprüfen, im Fehlerfall versendet Argus E-Mails an ausgewählte Adressen und informiert über die Art des Ausfalles. In einem zweiten Schritt wurde die Überwachung durch Argus auch auf die Kundenanbindungen ausgedehnt.

3.4.2 JOIN-TV

Da erst sehr wenige und nur sehr spezielle und kostenintensive Netzwerk-Management-Lösungen für IPv6-Netze verfügbar sind, das JOIN-Team jedoch eine Möglichkeit suchte, um das 6WiN sinnvoll zu überwachen, wurde JOIN-TV entwickelt. Bei JOIN-TV handelt es sich um ein webbasiertes Traffic-Visualisierungs-Tool, das auf MRTG⁶ aufsetzt und aus dessen Datensätzen auf einer frei wählbaren Karte eine Übersicht projiziert wird, in der die Auslastung von Netzwerkverbindungen farblich dargestellt wird. Die Datenquellen sind dazu in einer Konfigurationsdatei frei definierbar. Durch Anklicken einer dargestellten Verbindung ist es möglich, die MRTG-Daten und –Graphen in einem gesonderten Fenster anzeigen zu lassen.

Eine Implementierung des Systems für das 6WiN kann auf <http://www.6win.de> eingesehen werden. Spätere Versionen des Programms könnten den Einsatz in anderen Netzen sowie das Einfügen neuer Netzknoten vereinfachen.

3.4.3 AS-Path-Tree

Das Tool AS-Path-Tree ist eine Entwicklung von CSELT (heute Telekom Italia Lab) und stellt die BGP-Table eines Routers in Form eines AS-Pfad-Baumes dar. So kann verfolgt werden welche AS-Wege Pakete zu einer bestimmten Zieladresse führen. Da AS-PATH-Tree eine Historie über einen gewissen Zeitraum aufzeichnet, kann vor allem beobachtet werden, ob ein Pfad stabil ist, oder ob er häufig wechselt oder sogar zeitweise komplett ausfällt. AS-Path-Tree ist keine neue Erfindung für IPv6. Für IPv4 wird es bereits seit Jahren für die gleichen Aufgaben eingesetzt.

3.4.4 Looking Glass

Das Looking Glass ist ein einfaches Fenster zu einem der 6WiN-Router, mit dem über eine Webseite ausgewählte Befehle auf dem Router aufgerufen und angezeigt werden können. Dies ist häufig vor allem für Dritte wichtig, um aus entfernter Sicht zu überprüfen, ob etwa das eigene Präfix im 6WiN vorhanden ist und welche Wege im globalen Netz von dort zum eigenen Netz gegangen werden. Ebenso wie AS-Path-Tree ist Looking Glass keine speziell für IPv6 entwickelte Software, sondern wurde für den Gebrauch von IPv6 erweitert.

⁶ MRTG: Multi Router Traffic Grapher

3.4.5 Site-Management mit DHCPv6

Für das Management mittelgroßer bis großer Sites ist die Verwendung von DHCP unerlässlich. DHCP wird dazu verwendet, einem Klienten in einem Netzwerk eine IP-Adresse zu zuweisen und ihm weitere wichtige Informationen zukommen zu lassen, wie z.B. die IP-Adressen von DNS-Servern, Default-Gateways, NTP-Servern und die Informationen über die Namen des Hosts selber und den entsprechenden Domain-Namen. Unter IPv4 ist dies bereits seit langem ein etablierter Standard, der in allen gängigen Betriebssystemen fest implementiert und verankert ist. Seit Mitte 2003 existiert ein solcher Standard auch für IPv6 und wird im Allgemeinen mit DHCPv6 bezeichnet.

Der Mangel an freien Implementierungen bewegte JOIN-Mitarbeiter dazu, sich mit den *Netlabs* von NEC Europe Ltd. in Verbindung zu setzen, die eine Referenz-Implementierung von DHCPv6 entwickelt haben. Im November 2003 wurde bei einem Termin in Heidelberg besprochen, dass JOIN eine Test-Lizenz der DHCPv6-Implementierung zur Verfügung gestellt werden sollte, um die Implementierung im Labor und später in einem kontrollierten Subnetz zu testen. Die Tests sollten stattfinden, sobald die Rahmenbedingungen der Lizenz ausgehandelt waren.

Im Rahmen der 39. DFN-Betriebstagung wurde ein Vortrag über DHCPv6 und die Möglichkeiten des Managements mit DHCPv6 gehalten. Dieser wurde später auch auf Englisch auf dem 6NET-Workpackage-Meeting in Rom (November 2003) präsentiert. Im Rahmen des 6NET wurde auch Kontakt zu Ralph Droms (Cisco) aufgenommen, einem Autor des DHCPv6-Standards. Er bekundete Interesse an der Arbeit von JOIN zusammen mit NEC und man einigte sich auf eine Zusammenarbeit, in deren Rahmen DHCPv6-Implementierungen und deren Interoperabilität getestet werden sollten. Weiterhin schrieben JOIN-Mitarbeiter zusammen mit Mitarbeitern von NEC ein Internet-Draft für die IETF⁷ mit dem Titel „DHCPv6 IPv4 Information Options“ (draft-cadar-dhc-dhcpv6-v4options-00), der Anfang 2004 veröffentlicht wurde. Inhalt dieses Drafts war der Entwurf eines Standards, mit dem über DHCPv6 als Transportprotokoll IPv4-Informationen an Klienten geschickt werden können, die sowohl über einen IPv4-, als auch über einen IPv6-Stack verfügen (dual-stack). Dieser Standard soll das Management entsprechender Hosts erleichtern, da der Empfang von IPv4-Informationen über DHCPv6 die Benutzung von DHCPv4 in diesem Fall überflüssig macht. Über diesen Draft hinaus beteiligten sich JOIN-Mitglieder an dem Draft mit dem Titel „IPv4 and IPv6 Dual-Stack Issues for DHCPv6“, der zusammen mit 6NET-Mitgliedern von der University of Southampton (Großbritannien) und UNINETT (Norwegen) geschrieben wurde.

Es wurden im Rahmen des Projektes einige freie Implementierungen von DHCPv6 getestet, die zwar Grundfunktionen bereitstellten, aber weit davon entfernt sind den Standard vollständig zu implementieren.

- <http://dhcpv6.sourceforge.net>: Client und Server unter der GNU General Public License (GPL) (Plattform: Linux)
- <http://klub.com.pl/dhcpv6/?page=16>: Dibbler, ebenfalls ein Client und Server unter GPL (Plattformen: Linux und Windows)

⁷ IETF: Internet Engineering Task Force

Grundsätzlich ist in einigen Netzwerkkomponenten und in Betriebssystemen Support für DHCPv6 vorhanden, doch die Interoperabilität war, wie sich bei den Tests herausstellte, nicht gewährleistet. Grund dafür war die uneinheitliche Implementierung von Features, die im RFC 3315 beschrieben wurden. Einige Server-Implementierungen implementierten Address-Assignment, dies wurde dann aber wiederum von Clients anderer Hersteller nicht unterstützt. Umgekehrt beherrschten einige Router-Implementierungen DHCPv6-Relay-Agents, was aber aus Mangel an geeigneten Servern, die dieses Feature ebenfalls beherrschen müssen, nicht getestet werden konnte. Daher mussten die endgültigen Tests bis zum Erhalt der Software-Lizenz für die NEC DHCPv6-Referenz-Implementierung verschoben werden, denn erst mit Hilfe der Referenz-Implementierung lassen sich verbindliche Aussagen über die Standardkonformität der einzelnen Implementierungen machen. Diese Software-Lizenz konnte auf Grund rechtlicher Fragen bis zum Ende des Projekts nicht fertig gestellt werden, die Arbeiten in diesem Zusammenhang werden daher im Rahmen des 6NET Projekts fortgeführt.

3.5 Dial-In Zugänge

Ziel des Projektes war u.a., dass Möglichkeiten erforscht werden sollten, mit denen IPv6 auch im Dial-In Bereich zur Verfügung gestellt werden kann. Während der Projektlaufzeit konnten jedoch leider keine Hardware-Produkte auf dem Markt gefunden werden, die diese Funktionalität bieten. Aus diesem Grund entwickelte das JOIN-Team ein eigenes Verfahren, mit dem Kunden auch über Einwahlzugänge IPv6-Konnektivität geboten werden kann. Wahlweise kann der Provider den Kunden dabei entweder eine einzelne Adresse oder ein Subnetz zur Verfügung stellen.

Eingesetzt wird zu diesem Zweck die Open-Source-Software Open-VPN, die es ermöglicht, über eine bestehende beliebige IPv4-Verbindung einen VPN-Tunnel zu etablieren, über die das Endgerät/-Netz dann mit vollwertiger IPv6-Konnektivität versorgt werden kann. Der Mechanismus traversiert NAT und ist unempfindlich gegenüber Änderungen der IPv4-Adresse auf Client-Seite. Diese Merkmale machen den Tunnelbroker optimal für die Realisierung von IPv6-Konnektivität über jegliche Art von Einwahl (Modem, ISDN, DSL).

Nachdem diese Lösung von den Mitgliedern des JOIN-Teams und einigen weiteren Freiwilligen aus dem Zentrum für Informationsverarbeitung der Universität Münster und dem europäischen 6NET-Projekt getestet worden war, haben bereits einige der Kooperationspartner signalisiert, den Tunnelbroker auch in ihren Institutionen zu etablieren.

3.6 JOIN Software Router

Wie das JOIN-Team auf DFN-Betriebstagen und durch persönliche Anfragen während des normalen Tagesgeschäfts erfahren konnte, gibt es unter DFN-Mitgliedseinrichtungen durchaus Interesse, sich am IPv6 Testbetrieb zu beteiligen. Gründe, die einem sofortigen Anschluss widersprachen, waren aber überwiegend entweder, dass das Personal in den Rechenzentren überlastet war oder fehlende IPv6-taugliche (Router-)Hardware.

Um beiden Problemen wenigstens ein Stück weit entgegen zu kommen, hat sich das JOIN-Team entschieden, eine „Low-Cost“ Router-Lösung selbst zu implementieren, mit der einfach und schnell der Anschluss an das 6WiN durchgeführt werden kann.

In der Folge wurde damit begonnen, einen Software-Router auf der Grundlage eines 1 HE-Serversystems zu implementieren. Aufgrund der im JOIN-Team vorhandenen Erfahrungen und abhängig von Ergebnissen früherer Versuche wurde eine Linux basierte Lösung entwickelt. Das System eignet sich in Einrichtungen, die bereits für den IPv4-Betrieb VLAN-Technologie einsetzen. Dort kann der Router sowohl für die IPv6-Außenabindung zum 6WiN als auch für die IPv6-Erschließung der vorhandenen VLANs und damit den IPv6-Anschluss aller darin befindlichen Hosts verwendet werden.

Als Hardware-Plattform für den Software-Router wurden zu Entwicklungszwecken zunächst zwei 1 HE Serversysteme der Firma Dell beschafft. Es handelt sich hierbei um 2 GHz-Celeron Rechner mit 512 MB RAM und jeweils einer optischen sowie zwei RJ45 Gigabit Ethernet-Anschlüssen, so dass die Systeme in nahezu jeder DFN-Mitgliedseinrichtung einsetzbar sein dürften. Als Betriebssystem kommt ein Linux zum Einsatz, welches von JOIN selbst zusammengestellt und damit für den Verwendungszweck optimiert wurde.

In der ersten Entwicklungsstufe wurden nur solche Funktionen implementiert, die für eine Einführung von IPv6 unbedingt benötigt werden. Neben physikalischen Verbindungen wird das VLAN-Konzept unterstützt. Das Routing wird durch die im Linux-Kernel vorhandenen Funktionen übernommen. Als Anbindung an das IPv6-Internet ist – wie im 6WiN üblich – ein IPv6-in-IPv4-Tunnel vorgesehen. Zukünftige Versionen könnten IPv6 Multicast-Routing und fortgeschrittene Routing-Protokolle wie BGP und OSPF unterstützen.

Es war geplant, einige DFN-Mitgliedseinrichtungen mit einem aus Projektmitteln finanzierten, hardware-mäßig identischen System auszustatten. Mit diesem Angebot erhoffte sich das JOIN-Team, auch bisher noch skeptische DFN-Einrichtungen für den Anschluss an das 6WiN zu gewinnen und aufzuzeigen, dass der Einstieg in IPv6 ohne großen Aufwand möglich ist. Leider konnte ein größerer Feldversuch mit dem JOIN-Erzeugnis auf Grund der zu kurzen Projekt-Rest-Laufzeit nicht mehr durchgeführt werden.

3.7 Arbeiten im JOIN-Labor

3.7.1 Switch-Tests

JOIN konnte in 2003 zwei Teststellungen von Layer 3-Switches der Hersteller Foundry und Extreme erhalten. Beide Hersteller verfügen bereits über IPv6-fähige Software für ihre Geräte, die JOIN auf Interoperabilität untereinander und mit anderen Geräten testete. Im November 2003 wurde dafür zunächst ein Labor-Aufbau hergestellt, der größtmögliche Flexibilität für zukünftige Tests bereitstellte (siehe Abbildung 3-3).

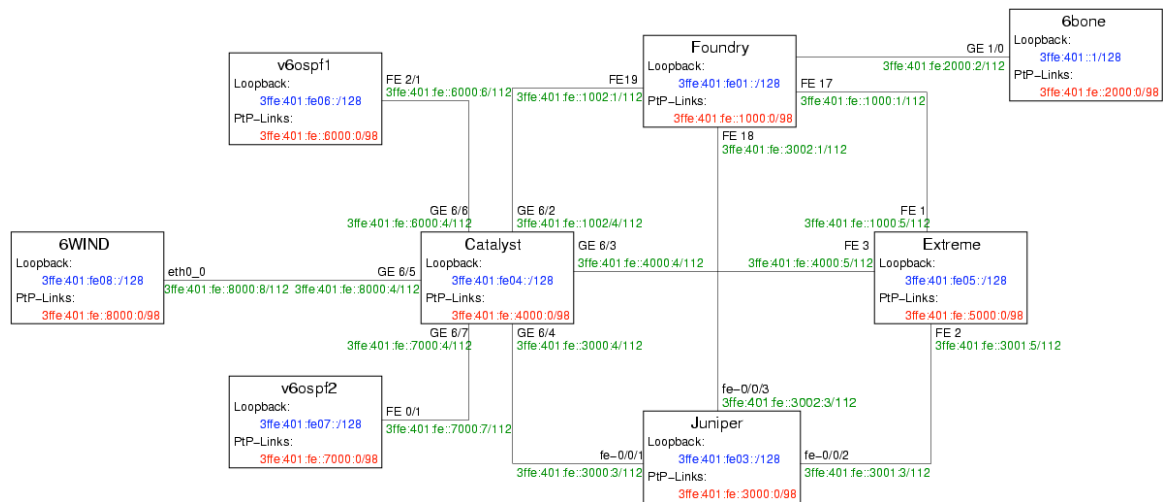


Abbildung 3-3

Bei den beteiligten Geräten handelte es sich im Einzelnen um einen Cisco Catalyst 6500, drei Cisco 7206 Router (6bone, v6ospf1, v6ospf2), einen Foundry NetIron 4802 Switch, einen Extreme Summit7i Switch, einen Juniper M5 Router und einen 6WINDGate 6200 Router.

Neben dem grundsätzlichen Aufbau eines Netzes wurden zunächst im Rahmen der Überarbeitung des 6NET-Deliverables D2.3.3 (siehe auch Abschnitt 3.8) implementierte Transitionsmechanismen, wie manuell konfigurierte IPv6-in-IPv4-Tunnel, 6to4 und ISATAP getestet. Dadurch konnten einige weitere und überarbeitete Konfigurationsbeispiele in das Dokument einfließen. Leider musste JOIN den NetIron von Foundry bereits Anfang Dezember vorübergehend an den Hersteller zurückgeben. Eine erneute Teststellung des Geräts wurde vereinbart.

Mit einem leicht veränderten Laboraufbau wurden später erneut Interoperabilitätstests in Bezug auf das Routing-Protokoll OSPFv3 vorgenommen. Dabei war vor allem interessant, wie Cisco-, Extreme- und Juniper-Implementierungen zusammenarbeiten, wobei sich erfreulicherweise keine Probleme zeigten. Die Tests ermöglichten in einigen Fällen eine bessere Beratung von Einrichtungen, die entsprechende Hardware in ihren Netzen mit IPv6 benutzen wollten oder über Neuanschaffungen nachdachten. Des Weiteren konnten einige Ergebnisse der Routing-Tests in das Deliverable D3.1.2 im 6NET Projekt eingehen.

3.8 6NET

Bereits seit Beginn des Jahres 2002 ist die Westfälische Wilhelms-Universität mit der JOIN-Projektgruppe auch Partner im europäischen 6NET-Projekt. Im Rahmen dieser Kooperation wurde unter anderem das 6WiN in Frankfurt native an das 6NET angeschlossen, wodurch JOIN an der Entwicklung von Routingstrategien für das 6NET beteiligt wurde.

Das JOIN-Team ist offiziell an den Work-Packages 0, 1, 2, 3, 6 und 7 des 6NET-Projektes beteiligt, wobei 0 und 7 reine Verwaltungs und Dokumentations-Projekte sind.

Die sehr rege Arbeit des JOIN-Teams, bei der auch für Ziele des hier beschriebenen Projektes sehr viele gute Arbeitsgrundlagen entstanden, wurde vom Organisations-

Komitee des Projektes mit dem „Captain Kirk-Award“, einer 6NET-internen Auszeichnung für herausragende Beteiligung an den 6NET-Aktivitäten, gewürdigt. Aufgrund einiger Aktivitäten des JOIN-Teams im Rahmen des Projektes wurde JOIN beratend zum Work-Package 5 hinzugezogen.

In Work-Package 2 des 6NET-Projekts zum Thema „Transition und Migration zu IPv6“ konnte JOIN besonders aktiv werden. Hier übernahm das Projekt die Zusammenstellung und Herausgabe der ersten und zweiten Version eines umfangreichen IPv6-Transitions-Kochbuchs für Universitäts- und Firmennetzwerke (Deliverable 2.3.2.).

Über den gesamten Projektzeitraum hinweg hat sich JOIN außerdem im Arbeitsbereich Netzwerkmanagement (Work-Package 6) einbringen können, der auch für die Wartung des 6WiNs sehr interessant ist. Hier wurden zum Teil eigene Überwachungsmechanismen und Methoden zur Visualisierung der Netzwerklast auf dem 6WiN erarbeitet, deren Ausgaben sich auf den WWW-Seiten des 6WiN einsehen lassen.

Zusätzlich zu den Switchtests, den Arbeiten zum Thema DHCPv6 und den Multicast-Konfigurationen (siehe Abschnitt 1), für die aus Work-Package 3 einiges an Anregungen übernommen werden konnte, hat sich JOIN im September an Deliverable 3.1.2 „IPv6 Cookbook for Routing, DNS, intra-domain Multicast, inter-domain Multicast and Security“ beteiligt und war auf allen WP3-Arbeitstreffen vertreten.

Im Juni 2003 richtete JOIN ferner ein Workpackage Meeting der Workpackages 1, 3 und 6 aus, dessen ursprünglicher Gastgeber kurzfristig absagen musste. Die Arbeiten umfassten das Erstellen einer Webseite mit den notwendigen logistischen Informationen sowie Hotelreservierungen und die Organisation von Räumlichkeiten und Verpflegung.

Im Rahmen des 6NET-Projektes war vorgesehen, dass von den Partnern zu ausgewählten Zeitpunkten und Veranstaltungen Demonstrationen von IPv6-fähiger Software als Nachweis der Funktionalität von IPv6 stattfinden sollten. Zu diesem Zweck sind im Mai und Juni 2004 jeweils zwei Mitglieder des JOIN-Teams zum belgischen und deutschen IPv6-Summit gefahren, um dort Software aus den Bereichen Voice-over-IP, sowie Instant Messaging vorzuführen. Des Weiteren war das JOIN-Team im Juni 2004 an einer Vorführung aus Anlass des offiziellen 6NET-Reviews beteiligt, jedoch ohne direkt vor Ort in Brüssel anwesend zu sein. JOIN übernahm hierbei die Rolle des entfernten Kommunikationspartners in einer Videokonferenz und erklärte hierüber einem Kommissionsmitglied die Funktionsweise der Software.

3.9 Kooperationen / Mitgliedschaften

Im Rahmen des Projektes „IPv6 im WiN – JOIN“ hat sich das JOIN-Team in vielerlei Hinsicht an nationalen und Internationalen Gemeinschaftsprojekten beteiligt sowie mittelständischen Unternehmen bei der Implementation von IPv6-Funktionalitäten in ihre Produkte Unterstützung geleistet. Zusätzlich konnten im Rahmen weiterer Kooperationsprojekte so genannte „Friendly Users“ für den Test der Neuentwicklungen gewonnen werden.

3.9.1 G-WiN Labor (IPPM)

Auf der 38. DFN-Betriebstagung in Berlin (4.-5. März 2003) hat das JOIN-Team Kontakt mit dem G-WiN-Labor aufgenommen. Aufgrund des Interesses der auf der Betriebstagung anwesenden Vertreter des G-WiN-Labors an IPPM-Tests für native IPv6-Verbindungen vereinbarten das JOIN-Team und das G-WiN-Labor eine Kooperation. JOIN bzw. das Zentrum für Informationsverarbeitung der Universität Münster stellte dazu den Anschluss an das 6WiN (IPv6) und an das G-WiN (IPv4) sowie in einem seiner Serverräume Platz für einen sogenannten IPPM-Server zur Verfügung, damit das G-WiN-Labor Tests des IPPM-Servers auf der 6WiN-Strecke zwischen Münster und Erlangen durchführen konnte. Da Münster selbst kein (GWiN)- Kernstandort ist, haben diese Tests grundsätzlich keine große Aussagekraft für das G-WiN an sich, ermöglichen aber die Portierung der IPPM-Tests nach IPv6 und damit die Zukunft des GWiNs.

Nähere Informationen zu IPPM können der Seite des G-WiN-Labors zu diesem Thema (<http://www-win.rrze.uni-erlangen.de/dfn-internet-qos.html>) entnommen werden. Die jeweils aktuellen Messungen können auf den Seiten des G-WiN-Labors abgerufen werden (http://www-win.rrze.uni-erlangen.de/cgi-bin/Alex/ipqos_disp.pl).

3.9.2 GÉANT-IPv6-Task-Force

DANTE hat bereits in 2002 mit Überlegungen begonnen, das GÉANT als Dual-Stack-Netzwerk zu betreiben. Da für das GÉANT Juniper-Router verwendet werden, und die IPv6-Unterstützung von Juniper sehr gut ist, war dieser Schritt naheliegend.

Für die Integration von IPv6 in das GÉANT-Netzwerk hat DANTE Ende 2002 die GÉANT-IPv6-Taskforce gegründet, die sich aus IPv6-erfahrenen Netzwerkbetreibern unterschiedlicher europäischer NRENS zusammensetzt. Da das deutsche IPv6-Netzwerk 6WiN des DFN von den JOIN-Mitgliedern betrieben wird und da JOIN dort viele Erfahrungen gesammelt hat, hat DANTE auch JOIN zu dieser Taskforce eingeladen. Seitdem wirkte JOIN bei der Planung des IPv6-GÉANT-Netzwerkes mit.

3.9.3 IPv6-Showcase

Bis Ende Dezember 2002 stand das JOIN-Projekt im Kooperationsprojekt „IPv6-Showcase“ in aktiver Zusammenarbeit mit der T-Systems Nova Berkom. Dieses Projekt umfasste u.a. den Aufbau des deutschlandweiten IPv6-Backbones 6WiN und die Bereitstellung einer ganzen Reihe von Mehrwertdiensten wie eines FTP-, eines experimentellen News- und eines Webservers über IPv6. Das Projekt konnte Ende 2002 erfolgreich beendet werden. Da das Showcase-Projekt bei T-Systems hausintern aufrechterhalten wurde, konnte der Kontakt zu T-Systems auch über das Ende des Kooperationsprojekts gepflegt werden, so dass aus Erfahrungs- und Informationsaustausch auch weiterhin Synergieeffekte erzielt werden konnten.

3.9.4 IPv6 Taskforce Deutschland

JOIN gehört zu den Begründern der IPv6 Taskforce Deutschland. Im Rahmen dieses Engagements stellten sich die Mitarbeiter von JOIN dafür zur Verfügung, die Website und in Kooperation mit den Angestellten des ZIV der Universität Münster sowohl die Mailingliste der Gründungsmitglieder, als auch die Mitgliedermailingliste zu

betreuen. Neben dem JOIN-Team waren folgende Unternehmen / Organisationen an der Gründung der Taskforce beteiligt:

- BRAINTEC Network-Consulting
- DFN
- IABG
- Siemens
- T-Systems

Offizieller Starttermin der Arbeit der Taskforce war ein „Kick Off Meeting“ mit Beteiligung aller genannten Partner, unter anderem eines Vertreters des JOIN-Teams, im April 2003.

Pünktlich zum Ende der Projektlaufzeit organisierte die IPv6 Task Force Deutschland den „German IPv6 Summit“ in Bonn/Bad Godesberg. Neben der Organisation des Summits beteiligte sich das JOIN-Team mit Demonstrationen zum Thema „Instant Messaging“ (Jabber) und „Voice-over-IP“ Telefonie und Conferencing (OpenMCU und Gnomemeeting).

3.9.5 Meinberg Funkuhren

Für das Management eines Netzes, besonders eines Backbones, ist es außerordentlich wichtig, einen Zeitabgleich mit allen Netzkomponenten vorzunehmen. Dies hat einerseits Gründe in der betrieblichen Sicherheit (z.B. die Vermeidung von „Replay-Attacks“) und andererseits in der Analysierbarkeit des Netzes (Korrelation von Logfiles mit akkuraten Zeitstempeln). All diese Anforderungen existieren in IPv6-Netzen genauso wie in IPv4-Netzen. Zeitsynchronisierungen sind in Netzen mit Hilfe des sog. „**Network Time Protocols**“ (NTP) möglich. Der NTP-Standard in der Version 4 (NTPv4) sieht schon seit einiger Zeit den Zeitabgleich über IPv6 vor. Allein die Hardware, die eine genaue Zeit liefert und NTP über IPv6 beherrscht, lag bis Mai 2003 noch nicht vor.

JOIN hatte mehrere namhafte NTP-Server-Hersteller kontaktiert, darunter *Datum* und *Meinberg*. Kein Hersteller hatte im Mai 2003 ein Produkt, das NTP über IPv6 beherrschte. Die Firma Meinberg zeigte sich aber sehr interessiert an der Integration von IPv6 in ihrem NTP-Server-Produkt *Lantime*, so dass JOIN und Meinberg im Mai 2003 eine Kooperation vereinbarten, in deren Rahmen der *Lantime* zu IPv6 portiert werden sollte. JOIN übernahm hierbei Beratungsfunktion und erklärte sich bereit, die Implementierung zu testen.

Die Firma Meinberg ist eine mittelständische Firma mit Sitz in Bad Pyrmont. Sie beschäftigt ca. 30 Mitarbeiter. Meinberg stellt seit den Achtzigerjahren Funkuhren her und hat seit einigen Jahren auch NTP-Appliances im Programm (NTP-Hardware-Server mit 1HE, die in 19 Zoll Server-Schränke eingebaut werden können). Alle Produkte werden in einem durch die Produktionsnorm ISO-9001 zertifizierten Verfahren hergestellt. Die Firmware des Meinberg *Lantime* NTP-Servers basiert auf Embedded Linux, was die Portierung zu IPv6 deutlich erleichterte. Es wird der NTP-Server von <http://www.ntp.org/> verwendet.

Auf einem ersten Arbeitstreffen mit Udo Maltzahn und Martin Burnicki, beide Entwickler bei Meinberg, wurde zunächst ein *Lantime* im Labor der WWU Münster integriert. Eine GPS-Antenne war bereits vorhanden, so dass die Installation auf die

Anbindung des Servers ans IPv6- und IPv4-Netz beschränkte. Die installierte Version beherrschte zunächst kein IPv6 und war als experimentelles Gerät zu initialen Tests mit IPv6 für Meinberg gedacht. JOIN arbeitete mit den Mitarbeitern von Meinberg einen Portierungsplan für IPv6 aus, der in den folgenden Monaten bis einschließlich Dezember 2003 zu einer Preview Firmware führte, die IPv6 nahezu in allen Teilen (einschließlich Management der Appliance) beherrschte. Der Abschluss der Portierung mit der Erstellung der stabilen Firmware wurde gegen März 2004 erwartet.

Die Verwendung von NTP in Netzwerken und auch die IPv6-Integrationsarbeiten am Meinberg Lantime wurden in einem Vortrag auf der 39. DFN-Betriebstagung im November 2003 mit dem Titel „Meinberg Lantime und IPv6-Integration“ vorgestellt. Weiterhin handelte JOIN mit Meinberg ein Test-Agreement für 6NET- und DFN-Mitglieder aus, das eine preisgünstige Beschaffung der Lantime-Hardware mit der experimentellen IPv6-Firmware umfasste. In diesem Zuge wurde die Kooperation zwischen JOIN und Meinberg und deren Fortschritte auf dem 6NET Workpackage Meeting in Rom (Dezember 2003) vorgestellt.

Die Zusammenarbeit von JOIN und Meinberg wurde von beiden Seiten als außerordentlich fruchtbar bewertet. Meinberg selbst hatte auf Grund der IPv6-Integration im Lantime bereits eine ganze Reihe von neuen Anfragen aus der Wirtschaft erhalten. Dies wurde u.a. durch die Dokumentation der IPv6-Integration in den Lantime in Vorträgen und Artikeln auf der JOIN-Webseite ermöglicht.

Die Kooperation war geprägt von produktiver Kommunikation und schneller Umsetzung der Vorschläge und ist ein gutes Beispiel für die Problemlosigkeit der IPv6-Integration in Netzwerkprodukten, die auf Embedded Linux basieren.

Der im Labor des Zentrums für Informationsverarbeitung der WWU Münster installierte Lantime steht den Kunden des DFN und den 6bone-Kunden des JOIN über IPv6 unter dem Namen time.join.uni-muenster.de zur Verfügung.

3.9.6 NEC (DHCPv6)

Wie bereits zuvor erwähnt, wurde für die Evaluation der von NEC entwickelten DHCPv6-Implementation eine Kooperation zwischen den Netlabs von NEC in Heidelberg und der Universität Münster angeregt, die auch über das Projektende hinaus noch im Rahmen des 6NETs aufrecht erhalten wird.

3.9.7 TF-NGN

Terena und DANTE unterstützen die Arbeitsgruppe TF-NGN⁸. Diese Gruppe beschäftigt sich mit dem Test und der Einführung von neuen Technologien im europäischen Kontext für den Netzwerkverbund GÉANT⁹. JOIN arbeitete an den IPv6-Projekten dieser Gruppe mit und stellte auf den Arbeitsgruppentreffen u.a. die erfolgreiche Integration von IPv6 in das Open-Source Internet-Telefonie-Programm Gnomemeeting vor. Die Arbeitsgruppe tagt regelmäßig alle 2-3 Monate, JOIN hat an allen Tagungen im Projektzeitraum teilgenommen. Im Einzelnen handelte es sich um:

⁸ TF-NGN: Task Force – Next Generation Network

⁹ GÉANT: Gigabit European Academic NeTwork

- Berlin, Deutschland, 1-2 Juli 2002
- Budapest, Ungarn, 17-18 Oktober 2002
- Rome, Italien, 6-7 Februar 2003
- Poznan, Polen, 8 Mai 2003
- Cambridge, Großbritannien, 14-15 September 2003
- Madrid, Spanien, 22-23 Januar 2004
- Amsterdam, Niederlande, 10-11 Mai 2004

4 Fazit

4.1 IPv6 in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft

Im Laufe des Projektes zeichnete sich eine deutliche Zunahme der Aktivitäten in Richtung auf die Einführung von IPv6 sowohl in Backbone-Strukturen als auch im Customer-Umfeld ab. Besonders deutlich wurde dieser Sachverhalt durch vermehrte Anfragen von Privatpersonen und Firmen, die beim JOIN-Team um Unterstützung bei der Integration von IPv6 in ihre Produkte baten. Im Umfeld von Forschung und Lehre kann in diesem Zusammenhang der innovative Schritt des GÉANT-Netzwerks zum Dualstack-Betrieb genannt werden sowie die Verbreitung von IPv6 in den nationalen Forschungs- und Lehre Netzwerken Europas und in Amerika. In Deutschland war es vielfach die unermüdliche Arbeit des JOIN-Teams auf den DFN-Betriebstagen, die bei verschiedenen Entscheidungsträgern von DFN-Mitgliedseinrichtungen den Weg zu einem IPv6-Testbetrieb unter den DFN-Kunden geebnet und somit zur weiteren Steigerung des Bekanntheitsgrades von IPv6 geführt hat.

Insbesondere im Bereich der Software hat sich im Laufe des „IPv6 im WiN“-Projektes seit dem Jahr 1999 sehr viel getan. Lagen zu Anfang des Projektes noch sehr wenige Programme mit IPv6-Unterstützung vor, so kann zum Projektende nicht nur eine Zunahme der Anzahl dieser Programme, sondern auch ein Zugewinn im Umfang der IPv6-Unterstützung verzeichnet werden. Nicht zuletzt deshalb haben sich die Stabilität und damit auch die Benutzbarkeit der von JOIN eingesetzten Software im Serverbereich zweifellos erhöht und konnten so auch nach Außerhalb als Referenz-Installationen propagiert werden. Mit der Verfügbarkeit an Implementationen für diese Dienste ist der Schritt zum Betrieb von Dual-Stack-Netzwerken in allen Umgebungen möglich.

International wurde mit dem 6NET-Projekt, welches im Jahr 2005 beendet wird, ein großer Schritt in Sachen IPv6 in Europa getan. Nach den asiatischen Ländern führt Europa damit die Entwicklung in dieser Hinsicht an. Unter starker Beteiligung des JOIN-Projekts werden im 6NET Anleitungen, Szenarien und Evaluationen für die Migration zu IPv6 für Netzwerke aller Art bereitgestellt, die Firmen, Forschungseinrichtungen und Provider dabei helfen werden, die richtigen Strategien für ihre Netze zu entwickeln und auszuführen, weil sie sich auf eine sowohl breite als auch sehr tief gehende Erfahrungsbasis stützen.

Auch innerhalb der IETF wurde mit dem Standard für DHCPv6 in der Projektlaufzeit die letzte dringend notwendige Hürde für IPv6 im Regelbetrieb genommen. Zwar wird die Einsetzbarkeit des neuen Konfigurations-Protokolls noch einige Zeit brauchen bis Implementationen auf allen Plattformen zur Verfügung stehen, aber dann

steht der Integration von IPv6 auch für auf DHCP angewiesene Enterprise-Netze nichts mehr im Wege.

4.2 Allgemeine Projektergebnisse

Nach Abschluss des Projekts lässt sich erkennen, dass die Fortführung von „IPv6 im WiN“ ein voller Erfolg war und den DFN als Betreiber des Forschungs- und Lehre-Netzwerks in Deutschland einen großen Schritt weiter in Richtung Integration von IPv6 in den Regeldienst gebracht hat. Damit werden aktuell die DFN-Mitgliedseinrichtungen und der DFN selber ihrer Vorreiterrolle in Sachen Adoption neuer Netzwerktechnologie mehr als gerecht und es kann erwartet werden, dass sich diese Entwicklung in den kommenden Jahren auch noch mehr als bisher auf Wirtschaft und Industrie ausdehnt und Deutschland damit an der Spitze des Fortschritts beteiligt bleibt.

Als eines der ersten nativen IPv6-Netzwerke wurde das 6WiN im Verlauf des Projekts durch das JOIN-Team aufgebaut. Der DFN bot damit früher als alle anderen Forschungs- und Lehre-Netzwerke in Europa und Amerika seinen Mitgliedseinrichtungen die Möglichkeit in einem Pilotbetrieb nahezu produktive IPv6-Konnektivität zu erhalten. Zur Unterstützung bei der Integration in die eigenen Netze stand diesen Einrichtungen im Verlauf des Projekts ein 4-köpfiges Beraterteam zur Verfügung, welches in allen Fragen rund um IPv6 weiterhelfen konnte.

Firmen und Einrichtungen aus Industrie und Wirtschaft wurde das gleiche Beratungsangebot gemacht. Für die Anbindung dieser Kunden an das weltweite IPv6-Internet betrieb JOIN auch weiterhin den sehr beliebten 6bone-Service und baute diesen sogar zur besseren Überwachbarkeit und Zuverlässigkeit noch weiter aus. Neben allgemeinen Beratungstätigkeiten konnte JOIN bei der Integration von IPv6 in zwei konkrete Produkte helfen und regte an vielen Stellen intensives Interesse an IPv6 an. Durch den Betrieb von Mailinglisten und der Mitgründung der deutschen IPv6-Taskforce wurde außerdem auch der Austausch von Erfahrungen in Sachen IPv6 bei Firmen und Forschungseinrichtungen untereinander gefördert.

International gehört JOIN zu den aktivsten Partnern im europäischen 6NET Projekt und wurde dafür sogar mit einer projektinternen Auszeichnung gewürdigt. Dabei konnte aus der Mitarbeit in diesem Projekt und im Zusammenhang mit den Kooperationen mit beispielsweise NEC und Meinberg Funkuhren wertvolle Synergieeffekte erzielt werden, von denen alle Beteiligten profitierten. Im Bezug auf Transitionsmechanismen und Migrations-Studien war die Zusammenarbeit mit Projektpartnern besonders fruchtbar. Die große Erfahrung, die JOIN in diesem Zusammenhang bereits seit Jahren gesammelt hatte, konnte durch Korrelation mit den Erfahrungen anderer Partner zu ausgereiften Migrations-Szenarien für alle Arten von Netzen – von Dial-In Umgebungen bis hin zu Enterprise Netzwerken – erweitert werden. Diese wurden im-durch JOIN im Rahmen des 6NET Projekts in idealer Weise offiziell veröffentlicht und stehen damit nun einer breiten Öffentlichkeit, nicht nur in Deutschland zur Verfügung.

In einem eigenen Serverpark konnte im Verlauf des Projekts wirkungsvoll bewiesen werden, dass schon jetzt nichts gegen den Einsatz von IPv6 für alle Internet-Dienste des täglichen Gebrauchs spricht. Ob Web-, FTP-, DNS- oder Mailserver: JOIN stellte diese Dienste jahrelang produktiv zur Verfügung und nutzte sie zum Beweis der

Machbarkeit ohne Schwierigkeiten selbst. Im Testbetrieb befinden sich außerdem ein Newsserver und ein Jabber-Server. Auch hier lag einer der Grundstöcke zur Etablierung des JOIN-Teams als Referenzzentrum für IPv6 in vielen Bereichen eines Netzes, da der bei weitem größte Teil der Installationen, soweit er nicht zu trivial oder aus Sicht des Teams nicht empfehlenswert war, auf der Web-Site des Projekts sehr detailliert beschrieben worden ist.

4.3 IPv6 im WiN

4.3.1 ...zum Ende des Projekts

Mit dem 6WiN wird dem DFN zum Ende des Projekts ein voll funktionstüchtiges und gewartetes IPv6-Netz für den Weiterbetrieb durch das DFN-NOC übergeben, an das bereits 33 DFN-Mitglieder angeschlossen sind. Als zum GWiN parallelen IPv6-only-Netzwerk muss allerdings angemerkt werden, dass zu dieser Form des IPv6-Betriebs im Wissenschaftsnetz auf längere Sicht nicht geraten werden kann. Nachdem das 6WiN in den ersten Jahren ideal für anfängliche Tests und die Gewinnung von Erfahrung im Betrieb eines IPv6-Backbones genutzt werden konnte, so zeichnen sich nach Abschluss dieser Tests die Nachteile für den Produktionsbetrieb besonders deutlich ab. Zum einen bietet das 6WiN, da es ausschließlich aus kostengünstigeren 34Mbit-Leitungen besteht, einen merkbar geringeren Datendurchsatz pro Minute, als das produktive IPv4-Netzwerk GWiN. In einer Zeit, in der gerade den Benutzern der Infrastruktur deutlich gemacht werden sollte, dass zwischen IPv6 und IPv4 kein Unterschied besteht und IPv6 vor allem nicht „langsamer“ ist und bereits mit nahezu der selben Priorität im Netz betrieben wird, erzeugt diese physikalische Einschränkung den falschen Eindruck und ist nicht mehr zeitgemäß. Gleiches gilt für die Tatsache, dass sowohl für die Kundenanbindungen, als auch den Anschluss an den wichtigsten Upstream-Provider GÉANT noch IPv6-in-IPv4-Tunnel eingesetzt werden, da dafür zum GWiN parallele, native Leitungen aus Kostengründen nicht zur Verfügung stehen.

4.3.2 ...nach Abschluss des Projekts

Der nächste Schritt bei der Integration von IPv6 in den DFN-Betrieb sollte aus den oben beschriebenen Gründen der Aufbau einer Dual-Stack-Infrastruktur im GWiN sein und so bald wie möglich durchgeführt werden. Die genannten Einschränkungen wären damit nicht länger gegeben, und durch den beim Betrieb des 6WiN gesammelten Erfahrungsschatz könnte die Umstellung weitestgehend reibungslos verlaufen und muss den IPv4-Betrieb nicht beeinflussen.

5 Wurde das Projekt zu früh beendet?

Es ist festzustellen, dass das Projekt IPv6 im WiN bzw. die Förderung dieses Projekts aus Mitteln des Bundes leider deutlich zu früh beendet wurde. Die seit 1995 gesammelte Erfahrung und Expertise auf dem Gebiet IPv6 wird dem DFN selbst und seinen Mitgliedern damit gerade in der Zeit genommen, in der die Früchte dieser Arbeit bei der produktiven und flächendeckenden Integration des neuen Protokolls in das GWiN und die Netze der Mitgliedseinrichtungen wirkungsvoll genutzt werden können und auch dringend benötigt werden. Ohne die ursprünglich eigens für die Beratung und

Hilfestellung bei der IPv6-Migration eingerichtete Projektgruppe in Münster wird die Umstellung auf produktiven IPv6/IPv4-Betrieb nicht nur im GWiN sehr erschwert. Es wird dem DFN in den kommenden Jahren vermutlich auch schwer fallen, seinen Mitgliedern die notwendige Hilfestellung bei den lokalen Umstellungen zu leisten. Zwar wurden innerhalb der Projektlaufzeit mit 33 Teilnehmern bereits eine große Anzahl von DFN-Mitgliedern zumindest an das 6WiN angeschlossen, aber dies ist noch immer ein verschwindend geringer Anteil der 370 insgesamt am GWiN beteiligten Einrichtungen. Außerdem bedeutet der Anschluss an das 6WiN auch nur in sehr wenigen Fällen, dass IPv6 vor Ort bereits für mehr als nur Tests oder einzelne Benutzer verwendet wird. Die tatsächliche Integration des Protokolls ist vor allem bei den größeren Universitäten eine komplizierte und daher langwierige Aufgabe, bei der Beratung durch erfahrene IPv6-Fachleute große Hilfe leisten kann und vermutlich auch dringend benötigt wird. Im Gegensatz zu der aktuell noch führenden Rolle in Sachen IPv6-Integration in der einheimischen Wissenschafts- und Forschungs-Landschaft könnte Deutschland dadurch in den nächsten Jahren gegenüber den anderen europäischen Ländern zurückgeworfen werden.

6 Anhänge

6.1 Veröffentlichungen

JOIN war an der Veröffentlichung von zwei Internet-Drafts beteiligt:

- „draft-cadar-dhc-dhcpv6-v4options-00.txt“, Cristian Cadar und Christian Strauf, Februar 2004
- „draft-schild-v6ops-guide-v4mapping-00.txt“, Christian Schild und Christian Strauf, Dezember 2003

An den folgenden Veröffentlichungen war JOIN im Rahmen des 6NET Projekts inhaltlich oder als Herausgeber beteiligt.

- D2.2.1 „IPv4 to IPv6 migration scoping report for organisational (NREN) networks“, August 2002 (inhaltliche Beteiligung)
- D2.2.2 „Initial IPv4 to IPv6 migration Cookbook for organisational/ISP (NREN) and backbone networks“, März 2003 (inhaltliche Beteiligung)
- D2.2.3 „Updated IPv4 to IPv6 transition cookbook for organisational/ISP (NREN) and backbone networks“, Mai 2004 (inhaltliche Beteiligung, sowie Rezensent)
- D2.3.1 „IPv4 to IPv6 scoping report end site networks/universities“, Juli 2002 (inhaltliche Beteiligung)
- D2.3.2 „Initial IPv4 to IPv6 transition cookbook for end-site networks/universities“, Februar 2003 (Herausgeber und inhaltliche Beteiligung)
- D2.3.3 „Updated IPv4 to IPv6 transition cookbook for end-site networks/universities“, Mai 2004 (Herausgeber und inhaltliche Beteiligung)
- D2.4.1 „Initial report on technology for wireless LAN/MAN transition to IPv6“, Dezember 2002 (inhaltliche Beteiligung)
- D2.4.2 „Final report on IPv6-specific implications for Wireless LAN/MAN transition to IPv6“, September 2003 (inhaltliche Beteiligung, sowie Rezensent)

- D2.5.1 „Issues for IPv6 Deployment (missing pieces for IPv6 deployment and IPv6-only operation), Dezember 2002 (inhaltliche Beteiligung)
- D2.5.2 „Updated IPv6 Deployment Issues (missing pieces for IPv6 deployment and IPv6-only operation), September 2003 (inhaltliche Beteiligung)
- D3.1.2 „IPv6 cookbook for routing, DNS, intra-domain, multicast, inter-domain multicast and security“, Oktober 2003 (inhaltliche Beteiligung)
- D3.2.2 „Proxy DNS Installed“, August 2003 (inhaltliche Beteiligung)
- D6.2.2v2 „Operational procedures for secured management with transition mechanisms (version 2), Mai 2004 (Herausgeber und inhaltliche Beteiligung)
- D6.2.3v2 „Interim report on development and tests (of tools and management applications“, August 2003 (inhaltliche Beteiligung)
- D7.2 „Dissemination and Use Plan“ (2002-2003, 1. – 4. Version) (inhaltliche Beteiligung)

Auf den Webseiten des Projekts wurden in der Projektlaufzeit die folgenden „Howto-Dokumente“ veröffentlicht. Diese sind sowohl in englischer als auch in deutscher Sprache abrufbar:

- „Howto: Wie installiert man Gnomemeeting“ von Christian Strauf, 2003
- „Howto: Anbindung an den JOIN-6bone-Knoten“ von Tina Strauf, 2003
- „Howto: ISATAP (Intra-Site Automatic Tunnel Access Protocol) von Tina Strauf und Christian Schild, 2003
- „Howto: IPv6-in-IPv4 Tunnel“ von Tina Strauf, 2003
- „Howto: TRT (Transport Relay Translator) von Christian Strauf und Tina Strauf, 2003
- „Howto: IPv6 Nameservice mit *bind*“ von Christian Schild, 2003
- „Howto: IPv6 im Betriebssystem anschalten/installieren“ von Tina Strauf, 2004
- „Howto: IPv6 Tunnelbroker mit OpenVPN“ von Christian Strauf, 2004

6.2 Vorträge

- RV-NRW Workshop in Bommerholz (01. Juli 2002)
 - Christian Schild: 6WiN - natives IPv6 Netzwerk
- TF-NGN Meeting in Berlin (01.-02. Juli 2002)
 - Christian Schild: 6WiN - native IPv6 network
- 37. DFN-Betriebstagung in Berlin (12.-13. November 2002)
 - Christian Schild: 6NET - Large-Scale International IPv6 Testbed
 - André Stolze: JOIN Update
 - Christian Schild: 6WiN Update
 - Christian Schild: Mini-Workshop: Wie bringt man IPv6 ins LAN
 - Jean-Marc Uzé, Juniper: IPv6 solutions on Juniper networks

- 38. DFN-Betriebstagung in Berlin (4.-5. März 2003)
 - Christian Schild: Anschluss an das 6WiN
 - Christian Schild: Neues bei IPv6
 - Christian Strauf: IPv6: Integration und Transition

- 11. TF-NGN-Tagung in Posen (Polen) (8. Mai 2003)
 - Christian Strauf: Gnomemeeting: Ein Überblick

- 39. DFN-Betriebstagung in Berlin (11.-12. November 2003)
 - Tina Strauf: Neues bei IPv6 und JOIN
 - Christian Strauf: DHCPv6
 - Uwe Tönjes (Uni Leipzig): VLAN basierte IPv6 Erschließung von Campusnetzen
 - Christian Strauf: Meinberg Lantime und IPv6-Integration

- 6NET Workpackage-361-Meeting in Rom (1.12.-3.12.2003)
 - Christian Strauf: IPv6-capable NTP with Meinberg Lantime

- 40. DFN-Betriebstagung in Berlin (09.-10. März 2004)
 - Tina Strauf: Neues von IPv6 und JOIN
 - André Stolze: JOIN Software-Router
 - Christian Strauf: IPv6-Tunnelbroker leicht gemacht: OpenVPN
 - Christian Schild: IPv6 Multicast
 - Tina Strauf: IPv6: Fragen, Antworten und Diskussion

- 14. TF-NGN meeting in Amsterdam (10.-11. Mai 2004)
 - Christian Schild: Tunnel Broker with OpenVPN
 - Christian Schild: Instant messaging with IPv6

6.3 6WiN Kunden

6.3.1 Angeschlossene Kunden

Folgende DFN-Mitgliedseinrichtungen sind bereits native oder über die IPv6-in-IPv4-Tunnel-Technologie an das 6WiN angeschlossen.

Deutsche Luft- und Raumfahrttechnik (DLR)	2001:638:101::/48
NEC Network Laboratories Heidelberg	2001:638:201::/48
Universität Stuttgart	2001:638:202::/48
Universität Karlsruhe	2001:638:204::/48
Universität Kaiserslautern	2001:638:208::/48
Rheinische Fachhochschule Köln	2001:638:400::/48
Forschungsgesellschaft fuer Ang. Naturw. e.V.	2001:638:401::/48
Universität Münster (nativ)	2001:638:500::/48
Universität Essen (nativ)	2001:638:501::/48
Universität Paderborn	2001:638:502::/48

Universität Bielefeld	2001:638:504::/48
Hochschule Harz	2001:638:601::/48
SerNet Service Network GmbH	2001:638:603::/48
Technische Universität Clausthal	2001:638:605::/48
Universität Hannover	2001:638:606::/48
DESY Hamburg	2001:638:700::/48
Technische Universität Hamburg-Harburg	2001:638:702::/48
Fachhochschule Kiel	2001:638:704::/48
Universität Bremen	2001:638:708::/48
Internationale Universität Bremen (IUB)	2001:638:709::/48
DFN-Geschäftsstelle Berlin	2001:638:800::/48
Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin	2001:638:801::/48
Universität Rostock	2001:638:804::/48
Fachhochschule Stralsund	2001:638:805::/48
Frauenhofer Fokus Berlin	2001:638:806::/48
Universität Erlangen (nativ)	2001:638:a00::/48
Fachhochschule Regensburg	2001:638:a01::/48
Kommunikationsnetz Franken e.V.	2001:638:a02::/48
Trägerverein Bürgernetz Ansbach-Netz e.V.	2001:638:a03::/48

6.3.2 Noch nicht angeschlossene Kunden

Folgende DFN-Mitgliedseinrichtungen haben bereits ein IPv6-Präfix beim DFN beantragt, sind aber noch nicht an das 6WiN angeschlossen.

Leibniz Rechenzentrum (LRZ) München	2001:0638:0100::/48
Universität des Saarlandes Saarbrücken	2001:0638:0200::/48
Universitätsklinikum Tübingen	2001:0638:0203::/48
Eberhard-Karls-Universität Tübingen	2001:0638:0205::/48
DFN Verein Geschäftsstelle Stuttgart	2001:0638:0206::/48
Universität Trier	2001:0638:0207::/48
Universität Gießen	2001:0638:0300::/48
Fachhochschule Fulda	2001:0638:0301::/48
Deutscher Wetterdienst Offenbach	2001:0638:0302::/48
Fachhochschule Köln	2001:0638:0402::/48
Universität Bonn	2001:0638:0403::/48
Forschungszentrum Jülich	2001:0638:0404::/48
Fraunhofer Gesellschaft Birlinghoven	2001:0638:0405::/48
Max-Planck-Institut für Eisenforschung Düsseldorf	2001:0638:0503::/48
Ges. für wiss. Datenv. mbH (GWDG) Göttingen	2001:0638:0600::/48
Technische Universität Braunschweig	2001:0638:0602::/48
Universität Kassel	2001:0638:0604::/48
GEOMAR Forschungszentrum Kiel	2001:0638:0701::/48
Hochschule Bremen	2001:0638:0703::/48
Universität Oldenburg	2001:0638:0705::/48
Hochschule Bremerhaven	2001:0638:0706::/48
Fachhochschule Lübeck	2001:0638:0707::/48
Universität zu Lübeck	2001:0638:070A::/48
Humboldt-Universität zu Berlin	2001:0638:0802::/48
Bundesministerium des Innern Bonn	2001:0638:0803::/48
Universität Potsdam	2001:0638:0807::/48
Brandenburgische Technische Universität Cottbus	2001:0638:0900::/48
Friedrich-Schiller-Universität Jena	2001:0638:0901::/48
Universität Leipzig	2001:0638:0902::/48

6.3.3 Aktuell aktive 6bone-Kunden

Amadeus Data Processing GmbH	3FFE:400:B40::/48
Anixe	3FFE:400:B50::/48
Alexander-von-Humboldt Gymnasium, Neuss	3FFE:400:C10::/48
Peter Bieringer	3FFE:400:100::/48
Biodata Systems GmbH	3FFE:400:740::/48
Buergernetz Bayreuth	3FFE:400:790::/48
Comfront Media	3FFE:400:CC0::/48
Cosmo-Project Usergroup, Germany	3FFE:400:8D0::/48
Daimler-Chrysler Ulm	3FFE:400:C90::/48
E-Zukunft	3FFE:400:BE0::/48
EDV Schule Plattling	3FFE:400:A20::/48
Enrico Lange	3FFE:400:BD0::/48
escape e.V.	3FFE:400:9D0::/48
Forschungsges. für angew. Naturwiss. e.V	3FFE:400:130::/48
Fachhochschule Mannheim	3FFE:400:AB0::/48
Fachhochschule Esslingen	3FFE:400:3D0::/48
FSEI TU-M"unchen	3FFE:400:410::/48
FS Informatik Universität Tuebingen	3FFE:400:940::/48
GeFoekoM e.V.	3FFE:400:290::/48
InfraServ Gendorf	3FFE:400:3B0::/48
GnomeMeeting Testprojekt	3FFE:400:D00::/48
GMD FOKUS	3FFE:400:190::/48
GN.Tec	3FFE:400:9F0::/48
Harald Marc Welte (Gnumonks)	3FFE:400:900::/48
Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH	3FFE:400:370::/48
IDLE-NET	3FFE:400:570::/48
Internet Management GmbH	3FFE:400:910::/48
iNT - Tech Systems IPv6 Network	3FFE:400:C70::/48
IP Exchange	3FFE:400:C30::/48
Lanworks AG	3FFE:400:B70::/48
MEDIAWAYS	3FFE:400:AD0::/48
MEN@NET TRADE Bartels, Möller, Falk GbR	3FFE:400:CB0::/48
Matthias Wimmer	3FFE:400:950::/48
Dr.-Ing. Nepustil & Co. GmbH	3FFE:400:980::/48
NetBite Internet Solutions	3FFE:400:C40::/48
Netzwert AG	3FFE:400:BB0::/48
DFG Forschergruppe Nexus	3FFE:400:A50::/48
Kai Mayfarth	3FFE:400:8F0::/48
plan b. GmbH	3FFE:400:4F0::/48
REWT Internet Services	3FFE:400:B90::/48
Rosenkeller Jena, Germany	3FFE:400:810::/48
Andre Roth	3FFE:400:CD0::/48
Fraunhofer FOKUS CC SATCOM	3FFE:400:9A0::/48
Sebastian Schaefer	3FFE:400:B10::/48
BBZ Neuss	3FFE:400:530::/48
nwe GmbH / SCRAM! e.V.	3FFE:400:470::/48
serverfriends.de IPv6 Project	3FFE:400:BC0::/48
Studierende an der Universität Bochum	3FFE:400:700::/48
Sony STC, Stuttgart	3FFE:400:AC0::/48
SYCOR AG	3FFE:400:CE0::/48
Eotvos Lorand University of Sciences, Budapest	3FFE:400:1090::/48
Christian Felsing	3FFE:400:990::/48
Herbert Tenhagen	3FFE:400:8C0::/48
Toppoint Mailbox e.V.	3FFE:400:A60::/48
Thorsten Geiger	3FFE:400:A70::/48
Technische Universität Braunschweig	3FFE:400:90::/48
Technologiezentrum Informatik, Uni Bremen	3FFE:400:7A0::/48
TZisNet in Austria	3FFE:400:780::/48
Universität Bonn	3FFE:400:450::/48

Universität Karlsruhe
Universität Leipzig
Institut für Informatik, Universität Munich
Thorsten Sauter
Vision Media GmbH
VPNnet / diac24.net
Michael Petry Web.de-AG
X-tec GmbH ICNS

3FFE:400:20::/48
3FFE:400:280::/48
3FFE:400:30::/48
3FFE:400:AE0::/48
3FFE:400:B30::/48
3FFE:400:C00::/48
3FFE:400:C60::/48
3FFE:400:B60::/48