

**Abschlußbericht zum Vorhaben
TK 558 - VA 0019**

Einrichtung eines CONS-Routinglabors

*T.Eckert
Dr.P. Holleczeck*

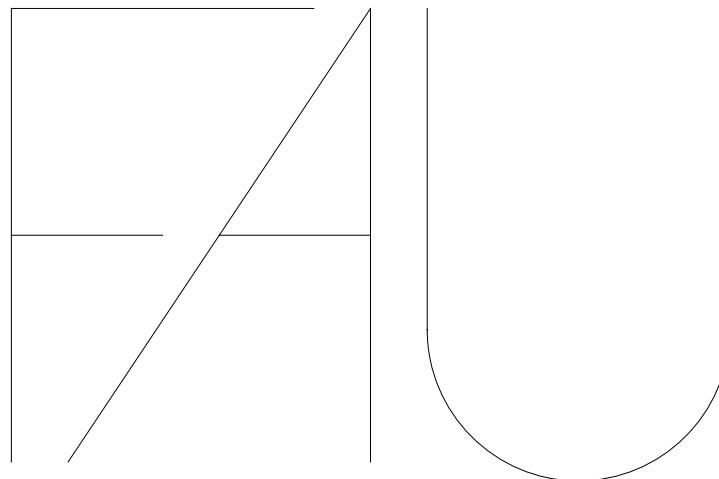
Mai 1997

V1.0

TR-I4-11-97

Interner Bericht

Regionales Rechenzentrum
und
Lehrstuhl für Informatik IV
(Betriebssysteme)
des
Instituts für
Mathematische Maschinen
und Datenverarbeitung
der
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg



Abschlußbericht zum Vorhaben

TK 558 - VA 0019

Einrichtung eines CONS-Routinglabors

Authoren:

Toerless Eckert

Dr. Peter Holleczek

Friedrich Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

Regionales Rechenzentrum / Institut für Mathematische Maschinen und Datenverarbeitung IV

Martensstraße 1, D-91058 Erlangen

Toerless.Eckert@Informatik.Uni-Erlangen.DE

Peter.Holleczek@RRZE.Uni-Erlangen.DE

weitere Projektbeteiligte:

Jürgen Rothenanger

Bernd Flemming

Überblick

Im S-WiN der deutschen Wissenschaft wird X.25 als Netzwerkprotokoll verwendet. Dieses Protokoll ist die Basis des verbindungsorientierten Netzwerkdienstes (CONS) gemäß den OSI-Empfehlungen der ISO. Trotzdem wird dieses Netz nahezu ausschließlich als Transportnetz für TCP/IP verwendet. Ein Haupthindernis für den betrieblichen Einsatz von direkt auf dem CONS basierenden Anwendungen ist die komplexe Konfiguration des CONS, hervorgerufen durch fehlende Implementierungen dynamischer Adreßauflösung und fehlende Standards für dynamisches Routing.

Im Rahmen des vom DFN-Verein geförderten Projektes TK 558-VA 0019 sollten diese Probleme sowohl theoretisch untersucht werden, als auch durch Implementierungen von im Rahmen des Projektes entwickelten Ansätzen eine praktische Lösung dieses Problemkreises geschaffen werden. Diese Implementierungen sollten weiterhin im Piloteneinsatz und im Zusammenspiel heterogener CONS-Implementierungen kommerzieller Hersteller erprobt werden.

Der im Projekt entwickelte Ansatz für dynamisches Routing basiert soweit wie möglich auf bereits für CLNS definierten Protokollen der ISO. Es wurden sowohl für IS-IS als auch IDRP Anpassungen an den CONS theoretisch erarbeitet und für IS-IS im Rahmen des Projektes implementiert. Zusammen mit der auch im Projekt auf mehreren Plattformen implementierten dynamischen Adreßauflösung nach ISO-10030 wurden damit Adreßauflösungs- und Routingkomponenten für den CONS realisiert, die ihn damit in Bezug auf seine praktischen Einsatz im Netz vergleichbar zu CLNS oder IP werden lassen.

Die Implementierung der kompletten Vermittlungssystemfunktionen und Endsystemfunktionen für das dynamische Routing des CONS wurden auf Basis der Plattform Sun/SunOS durchgeführt. Daneben wurden Teile, insbesondere die Endsystemfunktionen, auf Basis PC/DOS realisiert. Insbesondere mit der Sun-Plattform steht dadurch eine Lösung zur Verfügung, die universell einsetzbar ist.

Überblick	iii
1 Einleitung	1
2 Konzept.....	3
2.1 Von X.25 zu CONS	3
2.2 Anforderungen.....	4
2.2.1 X.121 und NSAP-Adressierung.....	4
2.2.2 Dynamische CONS-Adresseauflösung.....	4
2.2.3 Dynamisches CONS-Routing	5
2.3 Der Ansatz	6
3 Untersuchung von kommerziell verfügbaren CONS-Produkten.....	7
3.1 Endsystemhersteller	7
3.2 Vermittlungssystemhersteller	11
4 Entwicklung eines dynamischen CONS-Routings.....	15
4.1 4.4-BSD	15
4.2 SunOS	16
4.2.1 CONS/X.25 Endsystemfunktionen	17
4.2.2 CONS/X.25 Vermittlungssystemfunktionen	17
4.2.3 Schwächen der Implementierung.....	18
4.2.4 Portierung der Implementierung auf SunOS 5.x.....	19
4.3 DOS	20
5 Aufbau eines CONS-Pilotnetzes im 2-Mbps-WiN	21
5.1 Komponenten und Topologie	22
5.2 Ergebnisse	22
6 Begleitende Aktivitäten	25
6.1 Einflußnahme auf Richtliniensetzung.....	25
6.2 Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen.....	25
6.3 Untersuchungen zur Garantie von QoS-Merkmalen mit CONS	26
7 Ergebnisse.....	27
7.1 Wissenschaftlich	27
7.2 Technisch/ Betrieblich	27
7.3 Politisch / Kommerziell	28

1 Einleitung

Dieser Abschlußbericht faßt die Aktivitäten des DFN/BMBF-Projektes TK-558-VA0019 zusammen, das vom 1.7.93 bis zum 31.7.96 finanziert wurde¹. Ziel des Projektes war die pilotmäßige Einführung des verbindungsorientierten Netzwerkdienstes (CONS) nach [ISO 8878] in lokale Netze, die über das X.25-WiN miteinander verbunden sind.

Diese Zielsetzung erforderte Arbeiten in einer Reihe von Teilgebieten. Die erste Aufgabe war die Erarbeitung eines Konzeptes zur Realisierung dieses Dienstes, da die Vorgaben der internationalen Standards keine vollständige Spezifikation eines solchen Dienstes liefern. Insbesondere die Unterstützung von dynamischem verteiltem Routing ist in den Standards der ITU und der ISO nicht für den verbindungsorientierten Netzwerkdienst beschrieben.

In den Erläuterungen zum Aufgabenumfang des Projektes wurden die folgenden Punkte festgelegt:

- (1) **Dynamische Adreßauflösung für CONS**
- (2) **Routing zwischen CONS-IS**
- (3) **Pilotbetrieb**
- (4) **Begleitende Aktivitäten**

In den ersten beiden Punkten sollte ein Konzept durch Vergleich verschiedener Ansätze entwickelt werden und Komponenten implementiert werden, im vierten Punkt war vor allem der Kontakt zu anderen Gruppen, die sich mit CONS/X.25 beschäftigen vorgesehen, insbesondere auch zu kommerziellen Herstellern, um deren Produkte zu testen und auch um Überzeugungsarbeit zu leisten, um zu einer Implementierung von CONS-Komponenten zu gelangen. Der dritte Punkt umfaßt den praktischen Einsatz der in den ersten beiden Punkten entwickelten Software als auch der Herstellersoftware aus dem vierten Punkt.

Die Ziele des Vorhabens wurden zu einem großen Teil erreicht. Es konnte gezeigt werden, daß CONS mit den Ergebnissen des Projektes real einsetzbar ist und auch deutliche Vorteile gegenüber CLNS aufweist.

Das Projekt baut auf Ergebnissen des Projektes TK-558-VA002.1 (CONS Referenzzentrum) auf. Insbesondere bei der Untersuchung kommerzieller Produkte gab es durch die zeitliche Abfolge der Projekte eine Kontinuität in der Zusammenarbeit mit den Herstel-

1.Das Projekt wurde in seiner Laufzeit von ursprünglich 2 Jahren kostenneutral verlängert, da aufgrund einer starken Mitarbeiterfluktuation auf den Projektstellen zwischenzeitlich die Durchführung des Projektes nicht in voller Personalstärke möglich war. Die Verzögerung des Abschlußberichtes röhrt daher, daß die noch kurz vor Projektende (erneut) begonnene Arbeit der Portierung der CONS-Software für Sun erst jetzt fertiggestellt wurde. Diese Ergebnisse konnten also jetzt erst einfließen.

lern, die es sinnvoll erscheinen lässt, im Kapitel über die kommerziellen Systeme die Ergebnisse dieses Projektes mit einfließen zu lassen, um einen verständlicheren Überblick der verschiedenen Herstelleraktivitäten zu bekommen.

Im folgenden Text wird abkürzend der Begriff FAU (Friedrich-Alexander Universität) verwendet, um sich auf die am Projekt beteiligten Organisation RRZE (dem Regionalen Rechenzentrum an der FAU) und IMMD 4 (Lehrstuhl für Betriebssysteme an der FAU) zu beziehen.

2 Konzept

Im folgenden Kapitel wird zuerst versucht zu motivieren, aus welcher praktischen Überlegung heraus das Projekt entstand. Anschließend werden einige wichtige Anforderungen an die zu findenden Lösungen beschrieben, um letztendlich den Ansatz des an der FAU entwickelten Konzeptes im zu erklären.

2.1 Von X.25 zu CONS

X.25 wird im WiN seit 1988 als Netzwerkprotokoll eingesetzt. Trotzdem ist die Verbreitung von Anwendungen, die direkt einen auf X.25 basierenden Protokollstack nutzen, sehr gering. Ein Hauptgrund hierfür ist die Tatsache, daß bei den gängigen Komponenten X.25 nur über serielle Schnittstellen an die Endsysteme herangeführt wird. Die Realisierung von lokalen Netztopologien auf dieser Basis ist aber nicht flächendeckend möglich, da sie einen finanziell nicht zu vertretenden Mehraufwand gegenüber der an jedem Rechnersystem zu findenden Ethernetverkabelung darstellt.

In Erweiterung von X.25 werden beim verbindungsorientierten Netzwerkdienst (CONS) jedoch auch lokale Netze nach [ISO 8802] unterstützt. Dies ist in [ISO 8881] beschrieben. Bereits 1991 wurde dieser Protokollstack CONS/X.25 über LLC2 in der Diplomarbeit [Hus 91] an der FAU realisiert. Diese Implementierung floß auch in die 4.4-BSD Standarddistribution ein. Eine zweite Implementierung, die CONS/X.25 über lokalen Netzen unterstützt, ist die bereits seit 1988 an der FAU im Einsatz befindliche Software SunLink-X.25 in der Version 7.0² [Sun X25]. Aus den Erfahrungen mit diesen beiden Implementierungen ließen sich die Anforderungen an nutzbare CONS/X.25-Implementierungen ableiten.

Die Anforderung für dynamisches CONS-Routing entstand also aus dem Ziel, ISO/OSI Anwendungen direkt auf beliebigen Rechnern im lokalen Netz zu betreiben, wobei gleichzeitig im Weitverkehr ein verbindungsorientiertes, auf X.25 basierendes Netz vorliegt, daß direkt zum Transport verwendet werden soll.

2.Diese Software wurde auch verwendet, um im Vorlauf des WiN-IP im BHN IP über X.25 auf 64 kbps Standleitungen zu betreiben.

2.2 Anforderungen

2.2.1 X.121 und NSAP-Adressierung

Bei reinen X.25-Anwendungen erfolgt die Adressierung der Rechnersysteme durch 15-stellige X.121-Adressen [X.121]. Bei CONS werden NSAP-Adressen (*Network Service Access Point*) verwendet, die bis zu 40 Ziffern lang sein können. Während reine CONS-Implementierungen es den Anwendungen nur erlauben, andere Rechner per NSAP-Adresse zu bezeichnen, erlaubt es die SunLink-X.25 Software auch, dies mit den X.121-Adressen zu tun. Der große Vorteil hiervon ist, daß sich reine X.25-Anwendungen im lokalen Netz genau so weiter betreiben lassen, wie bisher an einer direkten Punkt-zu-Punkt Verbindung zu einem X.25-Switch. Obwohl die einzige reine X.25-Anwendung, die weite Verbreitung gefunden hat, die Terminalzugangsanwendung X.29 (PAD) ist, wurden im WiN auch richtige CONS-Anwendungen, wie FTAM oder X.400 faßt ausschließlich mit X.25-Adressierung verwendet, da aufgrund des Fehlens einer CONS-Infrastruktur nur diese X.121-Adressierung es erlaubte, die Kommunikationspartner zu erreichen. Es war somit klar, daß die Fähigkeit einer CONS-Software, auch in lokalen Netzen mit X.121-Adressen adressieren zu können, einen wichtigen Vorteil darstellt.

Die pragmatische Anforderung ist somit, daß neben vollständig OSI-konformen Anwendungen auch reine X.25-Anwendungen (OSI oder nicht) transparent im lokalen Netz verwendbar sein sollten.

2.2.2 Dynamische CONS-Adreßauflösung

Die statische Konfiguration vieler Netzparameter stellt eine entscheidende Hürde für einen flächendeckenden Einsatz von X.25 dar. In erster Linie ist dies die Abbildung der Protokolladressen (NSAP, X.121) auf die physikalischen Adressen der kommunizierenden Rechner im lokalen Netz, also den Ethernet-Adressen, bzw. IEEE-802.2 MAC-Adressen, bestehend aus einer Ethernet-Adresse und einem *Link-Selektor*. Ohne ein geeignetes Protokoll muß auf jedem Rechner, auf dem CONS/X.25 verwendet wird, diese Adreßabbildung für alle anderen Kommunikationspartner statisch konfiguriert werden.

Die dynamische Adreßauflösung von NSAP-Adressen auf MAC-Adressen wird in [ISO 10030] beschrieben. Dieser internationale Standard realisiert ein *Client-Server* Protokoll zwischen den Endsystemen eines lokalen Netzes und dem auf einem beliebigen Rechner laufenden SNARE-Server (*Sub-Network Adress Resoultion Entity*). Die auf den Endsystemen laufende ES-SNARE (EndSystem-SNARE) Protokollsicht registriert beim SNARE-Server ihre eigene Adreßabbildung und kann die Abbildungen anderer Rechner abfragen. Die auf *Client-Server* Verfahren basierte Architektur ist notwendig, da für CONS/X.25 in loka-

len Netzen kein Broadcast-Dienst definiert ist, wie z.B.: bei CLNS oder IP, wo die Adreßabbildung per ES-IS (bei CLNS, [ISO 9542]) oder ARP (bei IP, [RFC 826]) im *Peer-to-Peer* Verfahren durch Broadcastanfragen möglich ist.

2.2.3 Dynamisches CONS-Routing

Bei bisherigen privaten X.25-Netzen basiert das Routing, also die Wegewahl zwischen Vermittlungssystemen, auf statischen Tabellen. Demgegenüber basiert das Routing in öffentlichen X.25-Netzen schon seit Einführung der X.25-Netze auf dynamischen, verteilten Verfahren. Grund für diese Schlechterstellung lokaler Netze ist die fehlende Standardisierung von Protokollen für ein derartiges dynamisches Routing. Die intern in öffentlichen Netzen verwendeten Verfahren basieren immer auf proprietären Ansätzen. Ziel des CONS-Routinglabors war es also insbesondere, ausgehend von bereits standardisierten Ansätzen für dynamisches Routing in ISO/OSI-Netzen, ein Konzept zum dynamischen Routing in verbindungsorientierten Netzen zu entwickeln und zu implementieren.

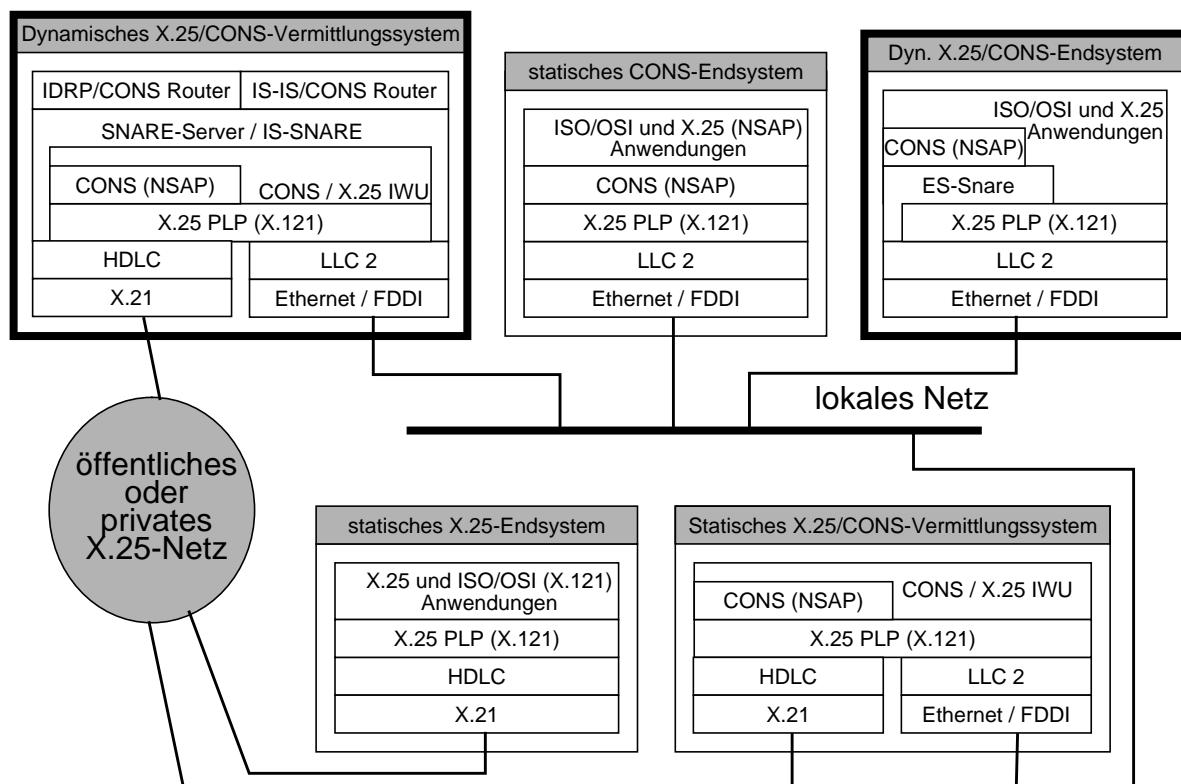


Abb. 1: Typen von X.25- und CONS-Systemen

Die stark umrandeten Typen wurden im Rahmen des Projektes entwickelt, die anderen sind als kommerzielle Produkte erhältlich und wurden untersucht.

2.3 Der Ansatz

In Abb.1 sind die wichtigsten derzeit unterscheidbaren Typen von CONS/X.25 Systemen dargestellt. Bei kommerziell erhältlichen Systemen sind sowohl Endsysteme als auch Vermittlungssysteme erhältlich, aber es fehlen die Möglichkeiten der dynamischen Adressauflösung nach [ISO 10030], als auch Möglichkeiten dynamischen Routings. Im Rahmen des Projektes wurden nun sowohl diese Systeme untersucht, als auch die in [Abb. 1] als stark umrandet zu sehenden End- und Vermittlungssysteme entwickelt, die mit voll-dynamischem Routing arbeiten.

Der Ansatz für die Wahl der dynamischen Routingprotokolle fiel dabei bereits in der Projektierungsphase auf IS-IS [ISO 10589] und IDRP [ISO 10747]. Beides sind Protokolle, die einzig für den verbindungslosen OSI-Netzwerkdienst definiert sind. Im Rahmen des Projektes wurde die Möglichkeit zur Nutzung dieser Protokolle zuerst mit anderen Alternativen verglichen, die aber rasch verworfen wurden. Anschließend wurde theoretisch untersucht, welche Anpassungen an diesen Protokolle notwendig sind, um folgendes zu erreichen:

- (1) Zusammenarbeit mit der NSAP-Adressauflösung nach ISO-10030 (Anstelle von ES-IS nach [ISO 9542]).**
- (2) Benutzung des CONS zum Transport der Routinginformationen zwischen den Protokollinstanzen (Anstelle des CLNS).**
- (3) Transport von Routinginformationen für den CONS (Anstelle des CLNS).**

Diese Untersuchungen wurden vor allem im Rahmen von [Eich 94] durchgeführt. Das wichtigste Ergebnisse hiervon war, daß eine entsprechende Anpassung der Protokolle funktional möglich und sinnvoll ist, um in der Zusammenarbeit von SNARE, IS-IS und IDRP einen vollständigen Routingstack für CONS zu schaffen. Tatsächlich werden sogar bestimmte Funktionen der Routingprotokolle, insbesondere von IS-IS, durch die Kommunikation über CONS (weil es ein gesicherter Dienst ist) einfacher. Beispielsweise wird die Erreichbarkeit von Protokollnachbarn bereits durch den CONS vermittelt, so daß das HELLO-Verfahren von IS-IS stark vereinfacht werden kann. Um eine Kommunikation zwischen den Routingprotokollen und der SNARE zu ermöglichen, mußten ebenso Erweiterungen des ISO-10030 definiert werden.

Ein Integration existierender Komponenten ohne dynamische Adressauflösungs- und Routingfunktionen ist hierbei einfach möglich. Endsysteme werden dafür statisch mit einer Route auf ein lokales Vermittlungssystem konfiguriert, über die sie sämtlichen Verkehr abwickeln. Der Nachteil dieser Systeme liegt in der Mitbenutzung des Vermittlungssystems auch bei Verkehr im lokalen Netz. Ähnlich lassen sich statisch arbeitende Vermittlungssysteme einbinden.

3 Untersuchung von kommerziell verfügbaren CONS-Produkten

Im folgenden Kapitel wird beschrieben, welche kommerziellen Produkte untersucht wurden, und inwieweit diese Systeme für den CONS geeignet sind. Die Auswahl richtete sich dabei vor allem nach der potentiellen Relevanz der Systeme für den Einsatz im WiN-Umfeld, wobei vereinfachend das Anforderungsprofil der FAU als Maßstab angelegt wurde.

Im folgenden wird dem Überblick über der Stand der Systeme ein breiter Raum gewidmet, da die Ergebnisse dieser Untersuchungen im Rahmen des Projektes zwar in die Arbeit eingeflossen sind, aber bisher nicht in dieser geschlossenen Form dargestellt wurden³.

3.1 Endsystemhersteller

(1) Control Data

Bei Control Data sind die Rechner und die Netzwerkkomponenten zu unterscheiden, beide Kategorien wurden und werden teilweise noch am RRZE eingesetzt:

- **Rechnersystem: CYBER**

Bei diesen Rechnersystemen handelt es sich um Eigenentwicklungen der Firma Control Data mit dem Betriebssystem NOS-VE. Diese Rechner waren Großrechner. Die CONS-Implementierung des Herstellers war die eines CONS-Endsystems, wobei nur die NSAP-Adressierung auf Schnittstellen des lokalen Netzes unterstützt wurde. Das RRZE war intensiv an frühen Tests dieser Software beteiligt, die seitdem hauptsächlich für Dialoganwendungen (PAD) und DFN-RJE eingesetzt wurde. Seit Juli 1993 wird dieser Meschinentyp am RRZE nicht mehr eingesetzt.

- **Rechnersystem: CD4680**

Bei diesem Rechnersystem handelt es sich um relativ-schnelle, auf ECL-Logik basierende Multiprozessorrechner die unter dem Unix-Derivat EP/IX betrieben werden. Es wurde von Control Data eine CONS-Implementierung geliefert, die auf der Netzwerkschicht nahezu vollständig kompatibel war zu der zuvor auf den CYBER-Systemen eingesetzten. Die Anwendungen waren zum

3. Im Rahmen der Quartalsberichte des Projektes wurden jeweils einzelne Zwischenergebnisse vorgelegt, die die Ergebnisse von einzelnen Herstellern darstellen.

großen Teil abgeleitet von ISODE. Auf diesem System wurden erfolgreich Diagonalwendungen und X.400 eingesetzt, wobei dies auch über Ethernet mit CONS erfolgte.

- **Vermittlungssystem: CDCnet**

Mit den CDCnet-Komponenten lieferte Control Data eigene Multiprotokoll-Routersysteme. Diese implementierten einen nahezu vollständigen CLNS- und CONS-Protokollstack, wobei die Kommunikation mehrerer vernetzter CYBER-Systeme durch diese CDCnet-Komponenten standardmäßig per CLNS ablief, optional aber auch per CONS konfiguriert werden konnte. Aufgrund der komplexen Konfiguration, des hohen Preises, der relativ langsamen Hardware und insbesondere auch seinerzeit der starken betrieblichen Auslastung wurden hiermit jedoch keine Interoperabilitätstests mit Endsystemen anderer Hersteller durchgeführt.

Zusammengefaßt kann man sagen, daß Control Data zu Zeiten der CYBER-Systeme und CDCnet-Komponenten den komplettesten CLNS/CONS-Protokollstack aller Hersteller aufweisen konnte.

(2) Cray

Im Zuge der Beschaffung von Cray Y-MP/EL-Systemen für Universitäten in Bayern wurde die Implementierung von CONS für UNICOS vereinbart. Der Auslieferungszeitpunkt sollte Herbst 1993 sein. Diese Zusage basierte jedoch auf einer unvollständigen Analyse des als Portierungsbasis angedachten X.25-Codes von 4.4BSD, unter anderem wurde das Fehlen der NSAP-Adressierung in diesem Code beanstandet. Das Projekt wurde dann letztendlich eingestellt, nachdem Cray von Seiten anderer Kunden kein weitergehendes Interesse vorfand, obwohl von Seiten der FAU bei der Portierung Unterstützung zugesagt wurde.

(3) Digital Equipment

Die FAU ist Kunde bei Digital und hatte dadurch gewisse Einflussmöglichkeiten.

- **Rechnersysteme mit dem Betriebssystem VMS**

Da VMS-Rechnersysteme in bayerischen Hochschulen verbreitet sind, wurde ausgehend von der FAU zusammen mit den anderen Universitäten Druck auf DEC ausgeübt, CONS zu unterstützen. Diese Unterstützung wurde dann auch Teil von DECnet Phase 5 und von der FAU in Beta-Tests frühzeitig getestet. Die CONS-Implementierung von DEC umfaßt die eines CONS-Endsystems, wobei

wiederum in lokalen Netzen nur eine reine NSAP-Adressierung möglich ist. Um reine X.25-Anwendungen zu benutzen, bietet DEC jedoch neben dedizierten X.21-Schnittstellenkarten auch virtuelle-X.21-Schnittstellen. Die eigentliche X.21-Schnittstelle, auf die der Rechner über ein proprietäres Protokoll zugreift, existiert dabei auf einer Routerkomponente von DEC. Da es sich hierbei um eine Speziallösung handelt, wurde dies nicht genauer untersucht. An der FAU ist CONS für Dialoganwendungen und X.400 im Einsatz, wobei das X.400 System lange Zeit eines der wichtigsten der Universität war. Neben diesen betrieblichen Anwendungen wurde CONS auf VMS weiterhin im Rahmen der Portierungsarbeiten von ISO-TP von IBM/VM auf VMS und auch auch als Basis fuer FTAM/ISODE verwendet.

- **Rechnersysteme mit dem Betriebssystem Ultrix**

Da Ultrix-Systeme an der FAU nicht im Netzbereich im Einsatz sind, wurde nur testhalber ein geeigneter Rechner untersucht. Aufgrund der verfügbaren Software konnte nur die Dialoganwendung erfolgreich getestet werden. Die CONS-Implementierung für Ultrix stellt eine weitestgehend unmodifizierte Variante des VMS-Codes dar, so daß von einer weitestgehend identischen Funktionalität auszugehen ist. Aufgrund des betrieblichen Einsatz fehlen Erfahrungen zur Langzeitstabilität.

(4) Hewlett-Packard

Die FAU bemühte sich mit Nachdruck um CONS für HP-Systeme auf Basis von HP/UX. Die Implementierung von CONS wurde sogar zur Auflage bei Beschaffungen gemacht und dementsprechend zugesagt. Zu einer Lieferung kam es jedoch nie. Nachdem an der FAU letztendlich die HP-Systeme nie in Anwendungen zum Einsatz kamen, die CONS erforderten, wurde eine Untersuchung dieser Implementierung nicht weiterverfolgt. Laut Aussagen von HP existiert inzwischen eine X.25 Implementierung.

(5) IBM/PC DOS und Windows-3.11 Systeme

Für IBM/PC Systeme unter DOS wurde von der Universität Edinburgh das Software-Paket *Rainbow* entwickelt, das CONS auf lokalen Netzschmittstellen unterstützt. Aktuelle Versionen dieser Software basieren auf der sogenannten ODI-Schnittstelle und sind damit unabhängig von der eingesetzten Schnittstellen-Hardware. Diese Software realisiert ein statisches CONS-Endsystem mit reiner NSAP-Adressierung. An der FAU ist diese Software auf zahlreichen PC's im Einsatz. Unter Windows kann die im Lieferumfang enthaltene Dialogsoftware in einem DOS-Fenster eingesetzt werden.

(6) IBM / RISC

An der FAU sind im Netzwerkbereich keine RISC-Workstations von IBM im Einsatz. CONS wurde von IBM zwar implementiert, aber wieder zurueckgezogen. Über eine (prinzipiell erfolgreiche) Test-Installation (ähnlich wie bei Ultrix) hinaus gab es keinen Einsatz an der FAU. Die implementierte Funktionalität ist die eines CONS-Endsystems.

(7) Sun / SunOS

Die längsten Erfahrungen mit X.25-Software, insbesondere auch im Bereich der Programmierung, lagen an der FAU mit der Software SunLink-X.25 vor. Sie basiert ursprünglich auf demselben Code von der University of British Columbia, wie der Code im 4.4-BSD. Eingesetzt wird sie seit der Version 6.0, die unter Leitung der FAU im 64-Kbps Standleitungsnetz des BHN (einer Art Vorläufer des WiN) betrieben wurde, um über die an allen bayerischen Universitäten vorhandenen Sun-Vorrechner des Cray-Landesrechner einen Vorläufer des WiN-IP zu betreiben. Sowohl von dieser Version, als auch von Version 7.0, in der CONS eingeführt wurde war die FAU Alpha- bzw. Betatester.

Als Endsystem stellten Sun-Systeme recht bald die wichtigsten Systeme für CONS dar. Dies war zum einen darauf zurückzuführen, daß durch die Unterstützung von X.121-Adressierung in lokalen Netzen auch problemlos reine X.25-Anwendungen auf Endsystemen betrieben werden können, die nur einen Anschluß an ein lokales Netz haben. Zusammen mit den X.25-Switches von Netcom als Vermittlungssysteme für CONS/X.25 konnte so sehr rasch bereits bei den ersten 2 Mbps-X.25 Feldversuchen eine Reihe von Sun-Rechnern mit 10 Mbps über CONS/X.25 angeschlossen werden. Der zweite Grund für den verbreiteten Einsatz war das breite Spektrum an Software, die SunLink-X.25 unterstützt. Anfänglich wurde an der FAU vor allem die IP/X.25 Routersoftware genutzt, aber das Anwendungsspektrum wurde rasch durch ISODE, M.PLUS, EAN, DFN-RJE und einer Reihe weiterer OSI-Anwendungen ergänzt. Wichtige Dienste wie X.400 (Entry-MTA), Dialoggateways, FTAM/FTP Gateways (und andere Dienste) wurden so effektiv und preiswert auf Sun Systemen realisiert.

Neben den Produktionsanwendungen waren die Sun-Workstations auch in vielen DFN-Projekten der FAU als Meßgeräte für X.25 eingesetzt. CONS/X.25 wird nicht nur für Ethernet unterstützt ist, sondern auch für FDDI und 100 Mbps Ethernet, wobei Durchsatzwerte bis 40 Mbps an der FAU gemessen wurden (auf SS10). Bei Durchsatztests im WiN konnten per FTAM regelmäßig bessere Übertragungswerte als per TCP

gemessen werden (bis 200 KByte/sec mit FTAM, 170 KByte/sec mit ftp, aber beides nur zu Zeiten, wo das 2 Mbps WiN nicht stark ausgelastet war). Unter der Software “Mailhub”, die als zentraler SMTP/X.400 Gateway der FAU diente wurde CONS bis zur Einführung von RFC1006 verwendet (in Q3’1996).

3.2 Vermittlungssystemhersteller

(1) 3Com

Obwohl am RRZE keine 3Com-Router eingesetzt wurden, zeigte sich das RRZE schon frühzeitig 3Com gegenüber an Tests von CONS-Software interessiert. Nach anfänglichen Aussagen von 3Com, daß eine solche Software entwickelt werden sollte wurde sie dann leider doch nicht veröffentlicht.

In aktuellen Softwarereleases von 3Com-Routern ist kein CONS implementiert.

(2) Bay-Networks / Wellfleet

Während der Laufzeit des Projektes konnte trotz gegenteiliger Zusagen keine Implementierung für CONS von Bay-Networks / Wellfleet zur Verfügung gestellt werden. Nach einem Wechsel im Entwicklungsteam wurde offensichtlich X.25 neu implementiert und dem RRZE wurde der Beta-Test angeboten. Nachdem zu diesem Zeitpunkt aber bereits die Entscheidung am RRZE und allen anderen bayerischen Universitäten⁴ gefallen war, nicht Wellfleet einzusetzen, war das RRZE, auch in Hinsicht auf die zuvor gemachten schlechten Erfahrungen mit X.25 bei Wellfleet-Routern, nicht interessiert.

In aktuellen Softwarereleases von Bay-Network Routern ist kein CONS implementiert.

(3) Cisco

Auf Cisco-Routern wurde CONS frühzeitig in Software Release 9.0 eingeführt. Die CONS Funktionalität⁵ wurde in intensiven Beta-Tests sowohl an der FAU als auch im JANET durchgeführt. Die erreichbare Performance bewegt sich auf demselben Niveau wie die des reinen X.25-Switchings und ist damit sehr stark abhängig von der Plattform.

4. Außerhalb des Versorgungsbereichs des LRZ.

5. Cisco nennt es CMNS - *Connection-Mode Network Service*, was korrekter als CONS ist, aber trotzdem unüblich.

Während der Laufzeit des Projektes wurde kontinuierlich die (relativ geringe) Weiterentwicklung der CONS-Software in Beta-Tests der Software kontrolliert und einige wichtige Fehler in Bezug auf die Handhabung von Facilities gefunden. Wichtiger waren die Beta-Tests neuer Routerhardware, durch die der CONS/X.25-Durchsatz erheblich verbessert werden konnte. An der FAU wurden dazu unter anderem mit den Modellen Cisco-4500 und Cisco-4700, die als Hardware-Betatests zur Verfügung standen, Messungen durchgeführt. Der Cisco-4700 stellte sich dabei als schnellster an der FAU gemessener CONS/X.25-Router heraus, mit einem Durchsatz von über 4000 Paketen/sec⁶. Leider kam dieses Gerät dann nur in einer ca. 25% langsameren Variante auf den Markt.

Der implementierte Funktionsumfang für CONS bei Cisco-Routern umfaßt derzeit den eines statischen CONS/X.25-Vermittlungssystems. Von der FAU wurde insbesondere auch die fehlende Unterstützung von X.121-Adressierung auf lokalen Netzen angemahnt. Nach einer Umfrage der FAU unter den WiN-Teilnehmern waren zwar mehr als 30 Einrichtungen daran interessiert, aber auch dies konnte Cisco nicht zu einer Implementierung bewegen. Damit konnte die Cisco-Implementierung auch nicht die an der FAU befindlichen Netcomm X.25-Switches für das CONS-Routing zwischen WiN und dem lokalen Netz ablösen.

Somit kam das CONS-Routing der Cisco-Router an der FAU nur im Rahmen des im CONS-Routinglabor aufgebauten Testnetzes zum Einsatz, da durch das rein statische Routing (und das auch nur für NSAP-Adressen) der Pflegeaufwand zu hoch war, und dementsprechend durch CONS-Bridging realisiert wurde.

(4) Netcomm

Die Netcomm X.25-Switches, die auch die Basis des X.25-WiN darstellen, sind derzeit die besten kommerziellen Vermittlungssysteme für CONS vom lokalen Netz (Ethernet) in öffentliche X.25-Netze. Die Switches unterstützen X.21(G.703)-Schnittstellen bis 8-Mbps und 10-Mbps-Ethernet-Schnittstellen.

Die implementierte CONS-Funktionalität umfaßt statisches CONS-Routing sowohl bei der Verwendung von X.121-Adressen, als auch bei NSAP-Adressen. In Zusammenarbeit mit Endsystemen, die X.121-Adressierung auf lokalen Netzwerkschnittstellen unterstützen (z.B.: Sun) ist eine vollständig transparente Nutzung reiner X.25-Anwendungen in lokalen Netzen möglich. Durch die weitreichenden Möglichkeiten zur Adreßmanipulation beim Verbindungsaufbau ist aber auch die gegenseitige Abbildung zwischen X.121 und NSAP-Adressen möglich, so daß auch bei CONS-Endsystemen

6. Nur X.25-Switches, wie die von Netcomm haben in der Summe der Schnittstellen höhere Durchsätze, aber auch einen anderen Funktionsumfang.

mit geringerem Funktionsumfang bei Verwendung von Netcomm X.25-Switches hier Kompatibilität mit rein X.121-basierenden Anwendungen ermöglicht werden kann. Das statische Routing ist bereits sehr flexibel implementiert und diente auch als Vorbild unserer Implementierung. Dynamisches Routing wird mit einem proprietären Protokoll unterstützt, das aber im Rahmen des CONS-Routinglabors nicht ausgetestet werden mußte, da dies bereits im Rahmen des WiN-Labors und des X.25-WiN geschah. Aufgrund der proprietären Natur ist dies sowieso nur eine Lösung für ein geschlossenes, homogenes und einheitlich administriertes Netz (wie das X.25-WiN), und nicht für eine offene Systemumgebung. Dynamische Adreßauflösung von NSAP-Adressen wird von den X.25-Switches über eine Client-Implementierung des NLP (*Name Registration Scheme Lookup Protocol*) unterstützt. Da dieses Protokoll einen vollständig anderen Fokus hat, als ISO-10030 (siehe auch [How 92]) wurden Überlegungen zum Erreichen einer Interoperabilität nach Diskussion mit der Universität Edinburgh aufgegeben. Nachfragen bei Netcomm, ISO-10030 auf den X.25-Switches zu implementieren führten zu keinem greifbaren Ergebnis. Die dynamischen Möglichkeiten der X.25-Switches konnten somit im CONS-Routinglabor nicht ausgenutzt werden.

Am RRZE wurden und werden Netcomm X.25-Switches in unterschiedlichen Aufgaben eingesetzt. Ein Gerät arbeitet als CONS-Vermittlungssystem zwischen dem lokalen Netz der Universität und dem WiN. In dieser Umgebung hat es sich auch bewährt, zur Vermeidung weiterer CONS/X.25-Vermittlungssysteme im lokalen Netz (ein Kostenfaktor) den CONS durch die Multiprotokollrouter des lokalen Netzes zu *bridgen*. Weitere X.25-Switches von Netcomm bilden einen Teil des lokalen X.25-Netzes der Universität und noch andere Systeme werden aufgrund ihres hohen X.25-Durchsatzes als Meßsysteme eingesetzt. Bei Weiterentwicklungen der Hard- und Software der Geräte war das RRZE durch WiN-Labor und CONS-Routinglabor in der Regel frühzeitig an Tests beteiligt.

(5) Spider

Spider ist eine Firma in England, die eine breite Produktpalette im Multiprotokollrouterumfeld anbietet. Die Firma ist aus den initialen Aktivitäten der Universität Edinburgh im Bereich CONS/X.25 entstanden. Im RRZE wurden von dieser Firma verschiedene Exemplare eines sogenannten *Spider-Gateways* betrieben, einem PAD/Antipad, der jedoch nicht nur X.121-Adressierung über X.21-Verbindungen unterstützt, sondern auch NSAP-Adressierung sowohl auf X.21-Anschlüssen, als auch Ethernetanschlüssen. In Bezug auf CONS handelt es sich bei dem Gerät um ein CONS-Endsystem. Dieses Produkt ist stabil und erfolgreich seit Jahren im Einsatz im RRZE.

4 Entwicklung eines dynamischen CONS-Routings

Die Betrachtung existierender Software auf verschiedenen Endsystemen und Vermittlungssystemen aus dem vorangegangenen Kapitel zeigt, daß die kommerziell verfügbaren Produkte für CONS ausschließlich statisch arbeiten, also insbesondere auch ohne ISO-10030. Alle Hersteller, die CONS implementiert haben, unterstützten im lokalen Netz die Adressierung per NSAP-Adressen, und im Weitverkehr die Adressierung per X.121 mit optionalem Transport der NSAP.

Um zu dem im 2. Kapitel beschriebenen Zielen zu gelangen, bei dem beteiligte Komponenten unter Ausnutzung dynamischer Adreßauflösung und dynamischem Routings im CONS untereinander verbunden sind, gab es somit entweder die Möglichkeit, die fehlenden Funktionen (Adreßauflösung, Routing) bei den Herstellern einzufordern oder selbst zu entwickeln. Bei der dynamischen Adreßauflösung (ISO 10030), die bereits standardisiert war, wurde versucht, dies an die Hersteller heranzutragen. Bei dem dynamischen CONS-Routing war dies jedoch vollständig unmöglich, weil das Konzept hierfür ja nur an der FAU im Rahmen des Projektes entwickelt wurde. Für beide Softwarekomponenten war es also notwendig, sowohl Endsystem- als auch Vermittlungssystemimplementierungen selbst zu entwickeln. Hierbei war die wichtigste Frage die nach geeigneten Plattformen.

4.1 4.4-BSD

Als ideale Plattform für ES- und IS-Implementierungen der dynamischen CONS Routingfunktionen erschien bei Projektbeginn die Plattform 4.4BSD. Dies war die einzige Plattform, für die an der Universität die Betriebssystemquellen inklusive des X.25-Codes vorhanden waren. Versuche, für die Plattform Sun den SunLink-X.25 Quellsoftware zu lizenzieren, scheiterten an den Preisvorstellungen von Sun (25.000 US\$). Da natürlich bei den kommerziellen Vermittlungssystemen absolut keine Chance besteht, Quellsoftware zu lizenzieren, war somit 4.4BSD die einzige Plattform, wo man im Betriebssystemkern ein Vermittlungssystem inklusive CONS-ROUTing implementieren konnte. Nachdem an der FAU bereits im 4.4BSD-Kern die LLC-Software entwickelt wurde, sah dies soweit realisierbar aus.

In [Fla 95] wurde der Versuch unternommen, die Vermittlungssystemfunktion für CONS/X.25 im 4.4BSD zu implementieren. Dies konnte aus einer Reihe von Gründen nicht erfolgreich zum Abschluß gebracht werden. Da die Entwicklung von X.25 im 4.4BSD parallel, allerdings mit wenig Nachdruck auch bei der CSRG in Berkeley weitergeführt wurde war es notwendig, hierzu parallel zu arbeiten. Ein Wechsel der Entwicklungshardware von HP-300 Systemen auf IBM/PC basierte Systeme war das erste Handicap, weil der Aufwand der Umstellung der Entwicklungsumgebung nicht unerheblich war. Anschließend trat das Problem auf, daß die CSRG in Berkeley in Auflösung begriffen war und in

Folge des Rechtsstreit mit AT&T/Novell die Zukunftsaussichten von 4.4BSD als nützliches System für potentielle Anwender deutlich pessimistischer zu werten waren. Als letztendlich nach Abschluß dieser Konflikte wieder eine Perspektive absehbar war, gab es keine Ansprechpartner bei der CSRG mehr, der die zahlreichen Fehler in der zugrundeliegenden X.25-Implementierung der CSRG bereinigen konnte; Zudem stellte sich heraus, daß die Quellcodeversionen, auf denen die später frei erhältlichen BSD-Varianten (FreeBSD, NetBSD, BSDI, OpenBSD - allesamt ohne ISO/CONS-Unterstützung) andere waren, als die auf denen unser ISO-Code basierte, so daß es hier wieder eines größeren Portierungsaufwandes bedurfte. Aufgrund dieser Schwierigkeiten konnten die Implementierungsansätze leider innerhalb des Projektes zu keinem benutzbaren Produkt vervollständigt werden.

4.2 SunOS

Da die Probleme mit 4.4BSD schon frühzeitig absehbar waren, wurde entschieden, auf Basis von SunOS die kompletten Endsystem und Vermittlungssystemfunktionen zu implementieren, da dies eine sehr zuverlässige Plattform darstellt, mit der bereits viele Erfahrungen vorliegen.

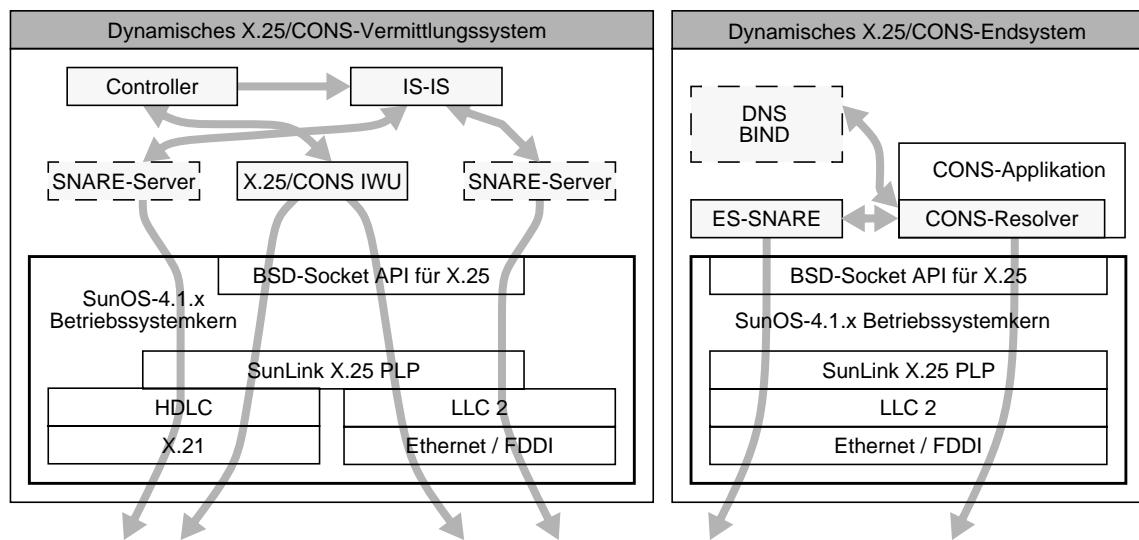


Abb. 2: Schematische Arbeitsweise der ES- und IS-Implementierungen unter SunOS

Die schraffierten Komponenten wurden im Projekt implementiert / modifiziert.

4.2.1 CONS/X.25 Endsystemfunktionen

Das Endsystem in [Abb. 2] verdeutlicht die Softwarekomponenten, aus denen sich die CONS-Software auf einer Sun zusammensetzt, inklusive der Erweiterungen der FAU. Diese betreffen die dynamische Adreßauflösung nach ISO-10030 und die Namensauflösung von DNS-Namen in NSAP-Adressen.

Diese Funktionen werden transparent für existierende CONS/X.25-Applikationen durch eine dynamische Bibliothek realisiert, die zur Laufzeit zu den Anwendungen gebunden wird. Diese Bibliothek fängt Aufrufe der Anwendung ab, in denen versucht wird, CONS-Verbindungen über NSAP-Adressen abzusetzen und generiert eine Adreßauflösungsanfrage der Ziel-NSAP-Adresse zum lokalen ES-Snare-Prozess. Die CONS-Verbindung wird dann durch die Bibliothek mit der vom ES-Snare zurückgelieferten SNPA (also Ethernet-Adresse) aufgebaut. Der ES-Snare Prozess wiederum kommuniziert per CONS im lokalen Netz mit dem SNARE-Server auf dem Vermittlungssystem. Durch diesen Mechanismus entfällt die statische Konfiguration der zu routenden NSAP Adress(-präfixe). Da der lokal laufende ES-Snare Prozess auch die NSAP-Adressen des Endsystems an den SNARE-Server liefert, ist das Endsystem im Gegenzug ebenso ohne statische Konfiguration von anderen Systemen aus adressierbar.

Zur weiteren Vereinfachung der Benutzung von CONS-Diensten wurde die Unterstützung einer dynamischen Namensauflösung in NSAP-Adressen in der dynamische Bibliothek realisiert. Sie basiert auf [RFC 1348], also der Speicherung von NSAP-Addressen für Domainnamen im *Internet Domain-Name-System*. Obwohl X.500 auch hierfür gedacht ist, ist der Aufwand zur Einrichtung entsprechender Zuordnung im DNS nicht nur einfacher, sondern auch einfacher multiprotokollkonsistent, da in der Praxis jeder Rechner mit CONS auch IP verwendet und somit bereits Einträge für den Rechner im DNS existieren.

Mit den implementierten Mechanismen auf Sun-Endsystemen ist die Einbindung dieser Maschinen in größere CONS-Netze problemlos möglich, da die statischen Routingkonfigurationsmaßnahmen sich beschränken auf die Konfiguration der eigenen NSAP-Adresse und der Konfiguration der SNARE-Server Adresse (auch diese kann entfallen, wenn man hierfür eine überall gleiche Pseudoadresse definiert).

4.2.2 CONS/X.25 Vermittlungssystemfunktionen

Wie in [Abb. 2] zu sehen ist, setzt sich die Implementierung aus mehreren Komponenten zusammen. Das eigentliche CONS-Vermittlungssystem ist durch zwei Prozesse realisiert, einen Prozess *IWU*, der die eigentliche Weiterleitung von X.25-Paketen zwischen den Netzwerkschnittstellen des Rechners vornimmt, und einem zweiten Prozess, dem *Controller*, der die Routingentscheidung beim Verbindungsaufbau eines CONS/X.25-SVC trifft. Die IWU implementiert ein Vermittlungssystem nach [ISO 10028-2] und [ISO 10029] und ist der Teil der Implementierung, der eigentlich nicht als Prozess implemen-

tiert werden müßte, sondern als Funktion des Betriebssystemkerns. Die Kommunikationschnittstelle zwischen der IWU und dem Controller wurde folgerichtig auch so entworfen, daß sie eine leichte Reimplementierung der IWU im Kern erlauben würde. Der Controller realisiert neben statischem, aber sehr flexibel programmierbaren Routing von CONS/X.25-Anrufen per X.121 oder NSAP auch eine in TCL/TK programmierte flexibel erweiterbare Benutzerschnittstelle. Die Routing- und Bedienfunktionen wurden nach einer Analyse der existierenden kommerziellen Vermittlungssysteme entworfen und versuchen die Vorteile von Cisco-, Netcomm-, und Dynatech-X.25-Switches zu vereinen. Diese Komponenten wurden in [Boh 95] entwickelt.

Die Adreßauflösung nach ISO-10030 wird durch einen SNARE-Server Prozess serverseitig realisiert, der die Informationen der ES-Snare-Einheiten im Subnetz sammelt. Pro Subnetz läuft auf einem (beliebigen) Rechner (ES oder IS) nur genau ein SNARE-Server-Prozess. Zur Veranschaulichung einer wünschenswerten Zielkonfiguration wurden im Bild beide SNARE-Server auf dem IS kolloquiert.

Das dynamische CONS/X.25-Routing wird durch einen Prozess *IS-IS* realisiert. In diesem Prozess läuft ein Gated-3.5⁷, für den an der FAU (in [Hel 95]) das Routingprotokoll IS-IS auf CONS portiert wurde. Dieser Prozess kommuniziert per CONS mit IS-IS/CONS Instanzen auf anderen Vermittlungssystemen im Netz sowie mit den SNARE-Servern der Subnetze an denen das Vermittlungssystem angeschlossen ist. Vereinfacht ausgedrückt arbeitet ein IS-IS Prozess so, daß er die Information über die auf seinen angeschlossenen Subnetzen erreichbaren Endsysteme von den SNARE-Servern sammelt und an die anderen Instanzen von IS-IS im Netz verteilt. Somit hat jeder IS-IS-Prozess im Netz dynamisch die Information über alle erreichbaren Endsysteme. Diese dynamisch erarbeiteten Routinginformationen werden abhängig von der Konfiguration der IWU durch den Controller beim Verbindungsaufbau einer zu routenden CONS-Verbindung abgefragt, so daß es eine reine Konfigurationsfrage (z.b.: je nach NSAP-Adresseprefix) ist, inwieweit statisches Routing oder dynamisches IS-IS-Routing verwendet wird.

4.2.3 Schwächen der Implementierung

Durch die Implementierung der IWU auf Benutzerebene und Defizite von SunLink-X.25 ergeben sich einige Probleme im Einsatz der Implementierung. Eine Einschränkung ergibt sich daraus, daß bei SunLink-X.25 zwei Anwendungen auf demselben Rechner nicht untereinander per X.25 kommunizieren können⁸; deshalb ist es nicht sauber⁹ möglich, SNARE-Server und IS-IS-Prozess auf demselben Rechner ablaufen zu lassen. Eine weitere Einschränkung

7.Gated ist eine in Quellcode erhältliche Implementierung einer Multiprotokollroutersoftware für IP und CLNS. Die Lizenzierung funktioniert - ähnlich wie bei ISODE - über ein Konsortium.

8.Bei TCP/IP funktioniert dies, weil dort im Betriebssystemkern die Vermittlungssystemfunktionalität implementiert ist, gerade diese aber fehlt ja bei SunLink-X.25.

ist, daß derzeit ein Rechner, der als IS konfiguriert wird, nicht voll als Endsystem eingesetzt werden kann. Dies liegt wieder daran, daß die lokalen CONS/X.25-Anwendungen nicht direkt mit der IWU kommunizieren können, was sie aber müßten, um richtig geroutet zu werden.

In [Hel 95] sind verschiedene Möglichkeiten beschrieben, diese Defizite durch zusätzliche Erweiterungen auszuräumen, die jedoch bisher nicht implementiert wurden. Derzeit sollte man also dedizierte IS einsetzen und die SNARE-Server auf beliebigen anderen Endsystem ablaufen lassen um diese Probleme zu umgehen.

Eine Portierung des Protokolls IDRPF auf CONS ist zwar in [Eich 94] theoretisch beschrieben, wurde aber in [Hel 95] aus Zeitgründen nicht realisiert, insbesondere, weil die im Gated zugrundeliegenden Implementierungen von IS-IS und IDRPF (für CLNS) jeweils vollständig eigene Netzkomunikationsstrukturen realisierten. Da bei IDRPF jeweils nur gesicherte Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen benachbarten Routern durch explizite Konfiguration betrieben werden, war bereits von vorne herein klar, daß eine Portierung auf CONS keine neuen Erkenntnisse gegenüber den Erfahrungen mit IDRPF im Rahmen des JOIN-Projektes bringen würde. Ebenso wie dort wurde auch im CONS-Routinglabor das IDRPF für die Realisierung eines Pilotnetzes für überflüssig erachtet.

4.2.4 Portierung der Implementierung auf SunOS 5.x

Die bisher beschriebene Implementierung der Software arbeitet mit der Version 4.1.x des Betriebssystems SunOS. Während der Laufzeit des Projektes zeichnete sich ab, daß die Nutzung der neueren Version SunOS 5.x mehr und mehr zunahm. Obwohl mit SunLink-X.25 Version 8.0 eine angeblich quelltext-kompatible Version zu SunLink-X.25 Version 7.0 von Sun angeboten wurde, gab es in der Version zuviele Inkompatibilitäten, als daß die Funktionen der IWU oder der ISO-10030 Adreßauflösung portiert werden konnten. Entsprechende Fehlermeldungen bei Sun führten nur zu der Aussage, daß die von uns ausgenutzten Fähigkeiten von SunLink-X.25 Version 7.0 nicht der Spezifikation von SunLink-X.25 Version 7.0 entsprachen und deswegen ein Fehlen der entsprechenden Funktion in SunLink-X.25 Version 8.0 nicht als Fehler betrachtet werden kann. Verbesserungen wurden für SunLink-X.25 Version 9.0 zugesagt. Mit Erscheinen der Version 9.0 wurde erneut eine Portierung versucht. Im Rahmen von [Fre 97] wurde diese durchgeführt, aber leider sind immer noch soviele Fehler in Version 9.0, daß sich kein stabiler Betrieb dieser Version garantieren läßt.

-
9. Nicht "sauber" heißt, daß es einfach mit einem Trick möglich ist: Man trägt eine statische Route für die Adresse des eigenen Systems auf ein benachbartes Vermittlungssystem ein. Dies ist natürlich extrem "unsauber", da es ein benachbartes Vermittlungssystem benötigt, unnötig Netzverkehr verursacht, die Ausfallwahrscheinlichkeit erhöht, etc...

4.3 DOS

Da PC-Systeme unter DOS (oder DOS-Fenstern in Windows) eine sehr verbreitete Plattform an der FAU sind wurde im Projekt versucht, in Zusammenarbeit mit der Universität Edinburgh, die Endsystemfunktionen für dynamisches Routing von CONS unter DOS zu realisieren. Im Rahmen des Projektes wurde erfolgreich ein SNARE-Server implementiert und getested. Die ES-SNARE Funktion ließ sich jedoch aufgrund fehlender Schnittstellen in der Rainbow-Software nicht so integrieren, daß sie von existierenden Anwendungen für die Rainbow CONS-Implementierung automatisch benutzt werden konnte. Versuche, derartige Schnittstellen durch den Hersteller offenlegen zu lassen führten zu keinem positiven Ergebnis.

Als wichtige CONS-Anwendung und gleichzeitig als einfaches Programm zur Durchsatzmessung von CONS wurde im Rahmen einer Arbeit an der FAU die FTAM-Implementierung aus dem ISODE-Softwarepaket auf die Softwareplattform DOS/CONS/Rainbow portiert und DFN-Mitgliedern zur Verfügung gestellt. In diesem Program ist - da es sich ja nicht um bereits vorhandene Software handelt - die dynamische Adreßauflösung natürlich vorhanden.

5 Aufbau eines CONS-Pilotnetzes im 2-Mbps-WiN

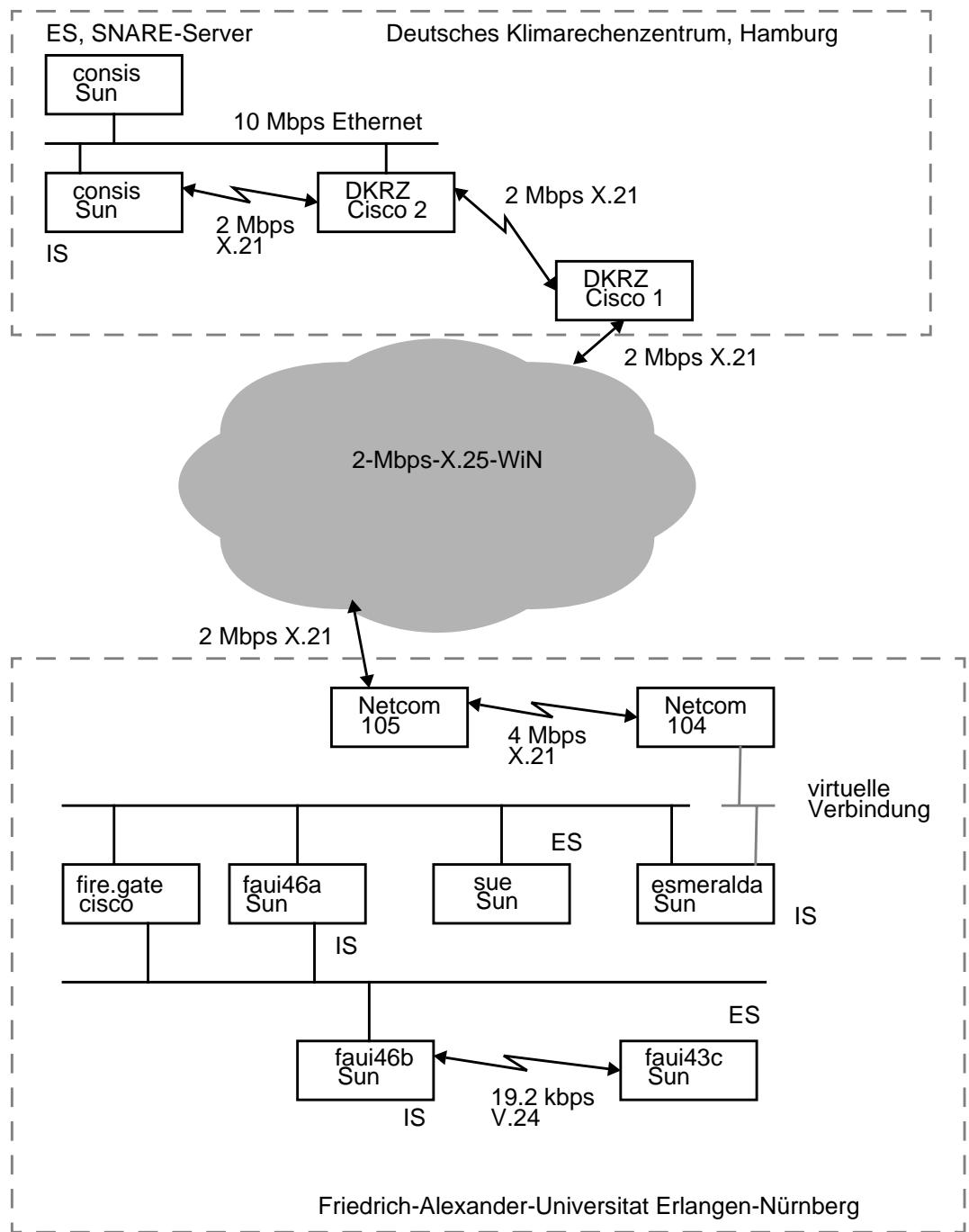


Abb. 3: Topologie und Komponenten des CONS-Pilotnetzes.

In Zusammenarbeit mit dem Projektpartner DKRZ wurde zwischen Erlangen und Hamburg über das 2-Mbps-WiN ein zusammenhängendes Netz mit CONS-Routing aufgebaut. Ziel war es, hierdurch eine Testumgebung zu haben, in der das Potential der zur Verfü-

gung stehenden Software und Hardware für CONS/X.25 demonstriert werden konnte, und in dem insbesondere auch die Einsatzfähigkeit der an der FAU entwickelten Software für CONS verifiziert werden konnte.

5.1 Komponenten und Topologie

In Abb. 3 ist die Struktur der an dieser Pilotvernetzung beteiligten Komponenten zu erkennen. Beim DKRZ wurde eine Sun (*conses*) mit SNARE-Server als Endsystem auf einem 10-Mbps Ethernet installiert, auf dem eine zweite Sun (*consis*) als Vermittlungsrechner mit ISIS, IWU und Gated konfiguriert wurde. Das zweite an diese Sun angeschlossene Subnetz für CONS bestand physikalisch aus einer 2-Mbps-X.21-Schnittstelle, die mit dem Router *Cisco-2* verbunden war. Über diese Verbindung, die sich über das 2 Mbps-WiN und weitere 2-Mbps X.25-Switches erstreckt, wird die Verbindung zu der Sun *esmeralda* in Erlangen hergestellt. Der Zugang geschieht jedoch nicht durch eine X.21-Schnittstelle, sondern bereits über eine Ethernetschnittstelle. Der damit existierende 2-Mbps schnelle Pfad von *consis* zu *esmeralda* wird im CONS-Routing als ein X.25-Link angesehen. Hinter der *esmeralda* sind mehrere Endsysteme und Vermittlungssysteme im lokalen Netz der FAU angeschlossen.

5.2 Ergebnisse

Für das DKRZ war das Interesse vorrangig darin begründet, existierende X.25-Anwendungen auf Sun-Rechnern im lokalen Netz zu betreiben, also die X.121-Adressierung dieser Anwendungen weiterzuführen. Durch den Weg von *conses* über das Ethernet zur *Cisco-2* war dies jedoch aufgrund der Beschränkungen der Cisco-Software nicht realisierbar. Demgegenüber ließ sich diese Funktionalität auf dem Weg *conses* → *consis* → *Cisco-2* und von dort aus durch den weiteren Verlauf des X.25-Netzes durch die auf *consis* installierte CONS-IWU-Software realisieren.

Durch entsprechende Konfiguration des Routings konnte auch ein Vergleich des erreichbaren Durchsatzes von *conses* zum Sun-Rechner *esmeralda* in Erlangen gemessen werden. In einer Konfigurationsalternative war die *consis* als CONS-Router mit im Pfad, in der Anderen wurde der Verkehr direkt von *conses* über *Cisco-2* geroutet (bei Verwendung von NSAP-Adressen möglich). Im Ergebnis war der erreichbare Durchsatz von bis zu 100 KByte/sec unabhängig davon, ob die *consis* als Router im Pfad war oder nicht, der Durchsatz war aber stark davon abhängig wie stark das 2 Mbps-WiN zwischen dem DKRZ und der FAU ausgelastet war. Eine Beeinträchtigung des Durchsatzes durch die einbezogenen lokalen Netzkomponenten und die Vermittlungssysteme im Erlangen und Hamburg konnte nicht gestellt werden. Bei Tests im lokalen Netz mit FDDI-Schnittstellen konnten Durchsatzzahlen von

mehr als 40 Mbps (über FDDI) gemessen werden, so daß im Rahmen des Pilotnetzes weniger Wert auf Durchsatzmessungen, als vielmehr auf das korrekte Funktionieren des IS-IS Routings Wert gelegt wurde.

Das dynamische Routing per IS-IS konnte erfolgreich zwischen den beteiligten Vermittlungssystemen *sunis*, *esmeralda*, *faui46a*, *faui46b* und *faui43c* demonstriert werden. Die IS-IS Routingtabellen aller beteiligten Vermittlungssysteme wurden korrekt mit der aktuell erreichbaren Menge von NSAP-Adressen versorgt, wodurch auch die korrekte Funktion der dynamischen Adreßauflösung nach ISO-10030 gezeigt wurde. Die Endsysteme konnten alle Systeme im Netz per CONS erreichen. Durch Konfiguration virtueller Verbindungen zwischen nicht direkt benachbarten Vermittlungssystemen im Pilotnetz konnte auch eine redundante Topologie erzielt werden, durch die auch das korrekte dynamische *fallback-routing* per IS-IS bei Ausfall einer Verbindung gezeigt werden konnte.

Mit dem beschriebenen CONS-Testnetz konnte somit effektiv demonstriert werden, daß CONS/X.25 als Netzwerkprotokoll geeignet ist, um in einem Internetwork eingesetzt zu werden. Dabei wurde dieser Nachweis nicht nur theoretisch erbracht, sondern durch ein betriebsfähiges Netz untermauert.

6 Begleitende Aktivitäten

6.1 Einflußnahme auf Richtliniensetzung

Untermauert durch technische Aktivitäten der FAU wurde vom BMV ein Erlass zur Nutzung von ISO (CONS) in LANs herausgegeben und später auch untermauert.

6.2 Zusammenarbeit mit anderen Arbeitsgruppen

Zur Unterstützung und Durchführung der Aktivitäten des CONS-Routinglabors war die Zusammenarbeit mit einer Reihe anderer Arbeitsgruppen notwendig:

(1) ISODE-Konsortium

Da die ISODE-Anwendungen (insbesondere FTAM) über die gesamte Laufzeit des Projektes Referenzanwendungen von CONS darstellten, wurde Kontakt zum ISODE-Konsortium gehalten, was sich unter anderem durch Bugfixes ausdrückte, die von der FAU zurückflossen.

(2) GATED-Konsortium

Da der Gated als die Portierungsplatform von IS-IS ausgewählt wurde, waren Kontakte zu den Entwicklern notwendig.

(3) Universität Edinburg

Zusammenarbeit mit der Universität Edinburg war aufgrund der oft parallel laufenden Entwicklungen im Bereich CONS-Netze zwingend, nicht zuletzt aber auch wegen der Rainbow-Software.

(4) JOIN-Projekt

Das CONS-Routinglabor beteiligte sich am JOIN-Pilotnetz im DFN als Backboneknoten, nicht zuletzt um Erfahrungen mit IS-IS vor der Portierung auf CONS zu gewinnen, um Konzepte für dual-stack Anforderungen an Systeme zu gewinnen, und um den ATLR lokal in Erlangen testen zu können.

(5) ATLR-Projekt

Der im Rahmen eines DFN-Projektes entwickelte ATLR-Gateway wurde vom CONS-Routinglabor als Pilotanwender eingesetzt was zur Beseitigung einiger Fehler führte.

6.3 Untersuchungen zur Garantie von QoS-Merkmalen mit CONS

Angesichts seiner Übertragungs-Qualitäten wurde CONS bezüglich seiner Eignung zum Transport von Multimedia-Sequenzen (Video, Ton) mit garantiertem Bandbreitenbedarf untersucht. Dafür wurde in [Lehn 94] unter dem Namen RACOON ein Gateway entwickelt, mit der der Verkehr verbreiteter, UDP/IP basierender Applikationen anwendungstransparent über CONS transportiert werden kann. Hierdurch ließ sich insbesondere im X.25-WiN die Qualität der transportierten Anwendungen in bezug auf Paketverlustraten und Latenzzeit deutlich verbessern.

Solange konkurrierende Daten derart durch spezialisierte Anwendungen oder Gateways transportiert werden lassen sich auch in hoch ausgelasteten Netzen durch entsprechende Priorisierung QoS Garantien wie gewünscht zuordnen. Im allgemeinen Fall will man jedoch QoS Garantien ohne spezialisierte Gateway-Anwendungen garantieren können. Obwohl X.25 zu diesem Zwecke bereits seit 1978 Facilities definiert hat, unterstützt keines der an der FAU untersuchten CONS/X.25-Vermittlungssysteme die Garantie dieser Dienstgüteanforderungen durch geeignetes Paketqueueing und Reservierung. Aus diesem Grund werden in der Diplomarbeit [Fre 97] neben der Portierung der CONS-IWU auf SunOS-5.x auch fair-queueing Mechanismen nach [Mon 93] für CONS realisiert, sowie die IWU parallelisiert, um die Vorteile der Multiprozessorarchitektur der Sun-Workstations auszunutzen.

7 Ergebnisse

7.1 Wissenschaftlich

Die Konzeption eines Routingkonzeptes für ein Netzwerkprotokoll durch Anpassung und Modifikation existierender Routingprotokolle und die Anbindung an eine ebenso zu realisierende Adreßauflösung ist weniger Grundlagenforschung als vielmehr anwendungsnahe Analyse und Entwicklung. Die dabei auftretenden Probleme hatten deswegen weniger fundamentalen Charakter, sondern vielmehr galt es, Ideen zu entwickeln, die eine Lösung für dynamisches Routing auf Basis pragmatischer Randbedingungen erlaubten¹⁰.

Die im Rahmen des Projektes designte (und zum großen Teil implementierte) Architektur eines verbindungsorientierten Vermittlungssystems auf einer offenen Systemumgebung (Unix) vereint dabei neben den Ideen zur Realisierung von dynamischem X.25-Switching durch Ausnutzung des CONS-Routings insbesondere auch flexibel dynamisches Routing mit adaptivem, offenen und leistungsfähigem statischen Routing. Des weiteren konnte gezeigt werden, wie sich unter gleichzeitiger Realisierung von QoS-Garantien ein verbindungsorientiertes Vermittlungssystem parallelisieren lassen kann.

7.2 Technisch/ Betrieblich

CONS erwies sich in punkto Performance anderen Netzwerkprotokollen als durchaus ebenbürtig, stellenweise sogar knapp überlegen. Durch die fehlende Adreßauflösung ist CONS etwas unhandlich in der Konfigurierung. Es kommt meist in den einfach zu konfigurerenden (X.3/X.28/X.29-Dialog-) Anwendungen und in personalintensiven, gepflegten aber weniger zahlreichen Einzelanwendungen (z.B. X.400 bzw. MultiMedia) zum Einsatz. Mit SNARE und den darauf aufsetzenden dynamischen Routingprotokollen wurde im Rahmen dieses Projektes dieser Hauptmangel behoben.

Die im Rahmen des Projektes entwickelte Software ist einsatzfähig und stellt nicht nur die einzige (uns bekannte) Implementierung eines dynamischen CONS-Vermittlungssystems und Endsystems auf Basis von ISO/OSI Routingprotokollen dar, sondern auch das einzige auf Workstationbasis realisierte X.25-Vermittlungssystem überhaupt.

10. Wie z.B.: die Verwendung fester Protokolle, wie X.25, IS-IS, IDRIP, die allesamt verbessерungsbedürftig sind.

7.3 Politisch / Kommerziell

Kein Anwender von Rechnersystemen ist an der verwendeten Netzwerktechnik vorrangig interessiert. Für den Anwender ist wichtig, daß die Anwendungen, die er verwendet mit dem Netzwerk zusammenarbeiten. Aus diesem Grund ist die Betrachtung des Erfolgs oder Misserfolgs von Netzwerkprotokollen nie losgelöst von Applikationen zu sehen. Wenn heutzutage im akademischen Bereich fast ausschließlich IP als Netzwerkprotokoll eingesetzt wird, obwohl es vom Protokoll her in Bezug auf Accounting, QoS-Garantien und Sicherheit deutliche Schwächen gegenüber CONS/X.25 aufweist, dann hat dies vor allem Gründe, die außerhalb technischer Aspekte der Netzwerkschicht liegen¹¹.

Bei der Durchführung des CONS-Routinglabors hat die FAU versucht, zwei wichtige Mechanismen zu nutzen, um die praktische Benutzbarkeit von CONS zu erhöhen:

(1) Entwicklung von Pilotsoftware

Analysiert man den Erfolg der TCP/IP Protokollwelt, so fällt auf, daß entscheidend hierfür (zumindestens in den Anfängen) die durch die DARPA geförderte Entwicklung der TCP/IP-Software auf BSD-Rechnern war. Wichtig hierbei war, daß die Software auf den häufig eingesetzten Rechnersystemen im akademischen Bereich realisiert wurde, daß sie preisgünstig verfügbar war, daß die Software an einer Universität entwickelt wurde, und insbesondere auch, daß es die Software erlaubte, Vermittlungssysteme durch Standard-Unix-Rechner zu realisieren, was bis dahin bei keinem anderen Netzwerkprotokoll in dieser Art möglich war. Dadurch wurde nicht nur die Verbreitung des Protokollstacks im Weiterverkehrsnetz möglich, sondern auch der flächendeckende Einsatz im lokalen Netz.

Die im Rahmen des Projektes an der FAU durchgeführten Entwicklungen haben versucht diesem Vorbild zu folgen. Die an der FAU entwickelte Software ist auf Nachfrage frei verfügbar.

(2) Einflußnahme als Kunde auf Hersteller

Aus Sicht der FAU als Kunde von Herstellerfirmen und als Entwickler war es nicht allzu schwierig, die wichtigen Hersteller auf unseren Bedarf an CONS hinzuweisen und gegebenenfalls Entwicklungen einzufordern. Dies führt jedoch nur dann zu verwertbaren Resultaten, wenn es einheitlich bei einer ausreichend großen Anzahl von Kunden

11. Anders ausgedrückt: IPv6 wird nicht entwickelt, weil CONS schlecht ist, sondern weil IP verbessert werden muss.

geschieht. Dazu bedarf es der Rückendeckung durch ein Procurement und der Vorgabe von Standards bei Beschaffungen (EPHOS II). Aus der praktischen Erfahrung kann man klar die Grenzen des Erreichbaren erkennen:

- **Beschaffungen innerhalb einer Universität** oder auch nur eines Bundeslandes: Bei Produkten, wie SunLink-X.25, die flächendeckend in Bayern eingesetzt wurden war dies recht erfolgreich (z.B.: CONS in SunLink X.25-7.0). bei Produkten, wo der Implementierungsaufwand gegenüber der zu erwartenden Kundenzahl deutlich beschränkter war (wie bei Routerherstellern) war der Erfolg nur mässig.
- **Landesweite Vorgaben:** Hier ist das JANET das beste Beispiel, weil es frühzeitig (als TCP/IP noch in den Kinderschuhen steckte) mit eigenen, an die (noch unvollständigen) OSI Protokolle angelehnten Protokollen nicht nur ein Netz aufbaute, sondern auch die entsprechenden Anwendungen entwickeln ließ. Dies führte zu einer sehr homogenen Netzwerklandschaft im JANET für viele Jahre, und auch zu einer nicht geringen Unterstützung dieser Protokolle durch diverse Hersteller. Die Situation wenige Jahre später bei der Einführung des WiN durch den DFN hatte sich aber grundlegend geändert. TCP/IP hatte stärker als Konkurrenz Fuß gefaßt, Die ISO/OSI Applikationsprotokolle waren verabschiedet und sollten benutzt werden, real existierende OSI Anwendungen waren aber selten und teuer, und nicht zuletzt war der DFN (glücklicherweise) seinen Mitgliedern gegenüber bei der Wahl der Netzwerksoftware vollständig liberal (im Gegensatz zum JANET), so daß im WiN schnell die Preis- und Anwendungskriterien zugunsten von TCP/IP sprachen.

Überläßt man den Aufbau und die Beschaffung von Netzstrukturen wie CONS/X.25 den Marktgesetzen, so kann es nur dort überzeugen, wo es:

- (1) **bei gleicher Funktionalität billiger ist als andere Produkte (schwierig bei sehr kostengünstigen TCP/IP-Produkten, erreichbar nur durch public-domain Software wie FTAM fuer DOS, oder IWU/SNARE/IS-IS für Sun).**
- (2) **bei vertretbaren Kosten besser ist. Dies ist nicht der Fall. Der Vorsprung bei Performance ist zu knapp, und die QoS Garantien für multimedial Anwendungen sind leider bei den wenigsten Produkten realisiert.**
- (3) **es Zugang schafft zu anderen, sonst nicht erreichbaren Netzen: Bei X.25 sind dies z.B.: die Interoperabilität mit Datenfunknetzen wie Modacom, dem weltweit existierenden Verbund der öffentlichen X.25-Netze, sowie nicht zuletzt als Dienstprotokoll bei Datex-J/T-Online.**

Die technischen Erfahrungen mit CONS und den dafür notwendigen Protokollerweiterungen in seiner Umgebung, aber auch die praktischen Erfahrungen in seiner Anwendung in Herstellerprodukten sind ein wichtiger Hintergrund für die in den nächsten Jahren zu erwarten- den Dienste im ATM-Bereich, da hier wieder dieselben Marktmechanismen wirken und die technischen Probleme , aufgrund der Tatsache, daß ATM native ebenso verbindungsori- entiert ist wie CONS, ähnlich sein werden. Bereits heute sieht man, wie zwar ATM-Infrastruk- turen im B-WiN vorhanden sind, aber die direkte ATM-Anwendung Jahre hinter der Anwen- dung als reinem Transportnetz für IP hinterherhinkt.

CONS wird aufgrund der Fixierung des akademischen Bereichs auf IP, sowie der Notwen- digkeit höchster Geschwindigkeiten im DFN keine große Verbreitung finden, in Spezialan- wendungen hat es aber seine deutlichen Vorteile, die ihm z.B.: beim Einsatz in sicherheits- kritischen öffentlichen Einrichtungen zum Vorteil gegenüber IP gereichen.

Anhang A Literaturverzeichnis

A.1 Studienarbeiten

- [Rau 93] Martin Rausche, *Implementierung einer CONS-Adreßauflösungseinheit nach ISO 10030 unter SunOS*, 1993, Studienarbeit im Fach Informatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.
- [Lehn 94] Wolfgang Lehner, *RACOON - A MultiLinked RateControlled Network Tunnel*, 1994, Studienarbeit im Fach Informatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

A.2 Diplomarbeiten

- [Zeb 90] Thomas Zebisch, *Vergleich verschiedener Protokollwelten zur Entwicklung eines Szenariums für einen verbindungsorientierten Netzwerkdienst*, Diplomarbeit im Fach Informatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Augsut 1990.
- [Hus 91] Dirk Husemann, *Integration von ISO-CONS in Unix, 4.4BSD*, Diplomarbeit im Fach Informatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Januar 1991.
- [Las 91] Jürgen Laskowski, *Entwurf einer Adreßauflösungseinheit für den verbindungsorientierten Netzwerkdienst*, Diplomarbeit im Fach Informatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, August 1991.
- [Eich 94] Anja Eichinger, *Untersuchungen von OSI-Routingprotokollen für den verbindungsorientierten Netzwerkdienst (CONS)*, Diplomarbeit im Fach Informatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 1994
- [Fla 95] Ralf Flaxa, *Entwurf und Implementierung einer Vermittlungseinheit für den verbindungsorientierten Netzwerkdienst (CONS) unter 4.4BSD Unix*, Diplomarbeit im Fach Informatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 1994.
- [Hel 95] Iris Heller, *Implementierung von OSI-Routingprotokollen für den verbindungsorientierten Netzwerkdienst (CONS)*, Diplomarbeit im Fach Informatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 1995

- [Boh 95] Tiberiu Bohus, *Entwurf und Implementierung eines X.25 Switches auf Anwenderebene unter SunOS - Unix*, Diplomarbeit im Fach Informatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 1995
- [Fre 97] Alexander Frericks, *Konzeption und Implementierung von Dienstgütekriterien für ein verbindungsorientiertes Vermittlungssystem*, Diplomarbeit im Fach Informatik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 1997.

A.3 Projektpapiere

- [Hol 93] Dr. P. Holleczek, *Angebot des RRZE zum Thema CONS Routinglabor*, Projektangebot zu TK558-VA019 vom 27.1.1993 an den DFN-Verein.
- [Hol 95] Dr. P. Holleczek, *Verlängerungsantrag zum Vorhaben TK558-VA019*, Verlängerungsantrag für TK558-VA109 bis zum 31.7.1996.
- [Hen 93] G. Henken, *Teilnahme am CONS Pilotbetrieb*, Angebot zur Teilnahme des Deutschen Klimarechenzentrums (DKRZ) am Projekt TK558-VA019 vom Januar 1993.
- [Bar 93] Dr. A. Barsch, Brief über ein Angebot zur Teilnahme des FB. Elektrotechniks an der HU-Berlin am Projekt TK558-VA019 vom Januar 1993.
- [Str 93] Dr. G. Strecker, *Kurzangebot für Zulieferleistungen zum CONS-Routinglabor des DFN*, Angebot zur Teilnahme der Fa. Softlab am Projekt TK558-VA019 vom Januar 1993.

A.4 Standards / Empfehlungen

- [RFC 826] David C. Plummer, *An Ethernet Address Resolution Protocol -- or -- Converting Network Protocol Addresses to 48.bit Ethernet Adress for Transmission on Ethernet Hardware*, 1982, Network Working Group Request For Comments 826.
- [RFC 1195] Ross W. Callon. *Use of OSI IS-IS for Routing in TCP/IP and Dual Environments*. Dezember 1990, Request for Comments 1195.
- [RFC 1348] B. Manning, *DNS NSAP RRs*, July 1992, Network Working Group Request For Comments 1348.
- [ISO 3166] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Codes for the representation of names of countries*, 1993, International Standard 3166.

- [ISO 7498] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information processing system - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model*. 1st Edition, 1984, International Standard 7498.
- [ISO 7498-3] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information processing system - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model - Part 3: Naming and addressing*, 1989, International Standard 7498-3.
- [ISO 7498-4] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information processing system - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model - Part 4: Management Framework*, 1989, International Standard 7498-4.
- [ISO 8073] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Open Systems Interconnection - Protocol for providing the connection-mode transport service*, 1992, International Standard 8073.
- [ISO 8208] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information technology - Data communications - X.25 Packet Layer Protocol for Data Terminal Equipment*, 1990, International Standard 8208.
- [ISO 8348] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information processing system - Data communications - Network Service Definition*, 1987. International Standard 8348.
- [ISO 8648] Information Processing Systems - Open Systems Interconnection - *Internal Organization of the Network Layer*, 1988, International Standard 8648.
- [ISO 8802.2] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information processing system - Local area networks - Part 2: Logical link control*, 1989. International Standard 8802/Add. 2.
- [ISO 8878] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information processing system - Data communications - Use of X.25 to provide the OSI connection-mode network service*, 1987. International Standard 8878.

- [ISO 8881] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information processing system - Data communications - Use of the X.25 packet level protocol in local area networks*, 1989. International Standard 8881.
- [ISO 9542] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Telecommunications and information exchange between systems - End system to Intermediate system routeing exchange protocol for use in conjunction with the Protocol for providing the connectionless-mode network service (ISO 8473)*, 1988. International Standard 9542.
- [ISO 9575] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Telecommunications and Information Exchange between Systems - OSI Routing Framework*, 1989, Technical Report 9575.
- [ISO 10028-2] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Telecommunications and Information Exchange between Systems - Definitions of the Relaying Functions of a Network Layer Intermediate System - Part 2: Connection-mode Network Service*, 1993. International Standard 10028.
- [ISO 10029] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information processing system - Data communications - Operation of an X.25 interworking unit*, 1988. International Standard 10029.
- [ISO 10030] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information processing system - Telecommunications and information exchange between system - End System Routeing Information Exchange Protocol for use in conjunction with ISO 8878*, 1990, International Standard 10030.
- [ISO 10030.3] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information processing system - Telecommunications and information exchange between system - End System Routeing Information Exchange Protocol for use in conjunction with ISO 8878, Amendment 3: Intermediate System Interactions with a SNARE* 1992, International Standard 10030, Amendment 3.
- [ISO 10589] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Intermediate System to Intermediate*

System Intradomain Routeing Information Exchange Protocol for use in Conjunction with the Protocol for Providing the Connectionless-mode Network Service (ISO 8473), 1992. International Standard 10589.

- [ISO 10747] International Organisation for Standardization and International Electrotechnical Committee. *Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Protocol for exchange of inter-domain routeing information among intermediate systems to support forwarding of ISO 8473 PDUs*, 1994. International Standard 10747.
- [X.6] International Telecommunication Union, *Multicast service definition*, 1993, ITU Recommendation X.6.
- [X.25 88] International Telecommunication Union, *Interface between data terminal equipment (DTE) and data circuit-terminatik equipment (DCE) for terminals operating in the packet mode and connected to public data networks by dedicated circuit*, 1988, ITU recommendation X.25.
- [X.48] International Telecommunication Union, *Procedures for the provision of a basic multicast service for Data Terminal Equipments (DTEs) using Recommendation X.25*, 1996, ITU Recommendation X.48.
- [X.75] International Telecommunication Union, *Packet-switched signalling system between public networks providing data transmission services*, 1993, ITU-T Recommendation X.75.
- [X.121] International Telecommunication Union, *International Numbering Plan for Public Data Networks*, 1990, ITU-T Recommendation X.121.

A.5 JANET / Edinburgh Referenzen

- [SG3CP802] Study Group 3 od The Post Office PSS User Forum, *A Network Independent Transport Service*, 1980.
- [Bye 92] W. Byers, E. Corns, G. Howat, *Campus Name Server - System Administration Guide*, 1992, Edinburgh University Computing Service
- [Dav 86] N.J. Davies, J.Larmouth, *Name Registration Scheme Lookup Protocol*, 19986, The Joint Network Team Association.
- [How 94] George Howat, *Errata and Addenda to the Name Registration Scheme Lookup Protocol*, 1994, The Joint Network Team Association.
- [How 92] George Howat, *The NLP Protocol and ISO 10030*, 1992, Computing Services, The University of Edinburgh.

- [Rain91] University of Edinburgh, *Rainbow Network Interface Definition*, 5th Issue 1991.
- [Rai 94] *SNARE and ES-SNARE over the Rainbow X.25 interface (Pinkbook)*, Dokumentation zur Adreßauflösungsschnittstelle der Rainbow-X.25 Software (DOS) der Universität Edinburgh.

A.6 Produktdokumentationen / Handbücher

- [GateD] Gate Daemon R3_5Alpha_4, wurde an der Cornell University in Ithaca (USA) entwickelt. Allgemeine Informationen über das GateD Programm sind im Softwarepaket enthalten.
- [Rain91] University of Edinburgh, *Rainbow Network Interface Definition*, 5th Issue 1991.
- [Rai 94] *SNARE and ES-SNARE over the Rainbow X.25 interface (Pinkbook)*, Dokumentation zur Adreßauflösungsschnittstelle der Rainbow-X.25 Software (DOS) der Universität Edinburgh.
- [Netc 93] Netcom X.25-Switches Produktdokumentation.
- [Sun X25] SunNet X.25 7.0 Manual Set - SunNet X.25 Programmer's Manual.
- [UCB X.25] University of British Columbia, X.25 software documentation.

A.7 sonstige Veröffentlichungen

- [EG 13] Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, *Beschluß des Rates vom 22. Dezember 1986 über die Normung auf dem Gebiet der Informationstechnik und der Telekommunikation*, 1987.
- [Kil 89] S.E. Kille, *An interim approach to use of Network Addresses*, Research Note, Department of Computer Science, University College London.
- [Kia 92] Ramin Najmabadi Kia, Bernard Sales, *Routeing Architectures for the support of OSI connection mode network service*, 1992., from the proceedings of the 3rd Joint European Networking Conference, Innsbruck.
- [Mon 93] Edmundo Monteiro, Fernando Boavida, Vasco Freitas, A fairness analysis of LAN/WAN protocol relays. 1993, Proceedings of the 4th Joint European Networking Conference, Trondheim.
- [Pad 82] M. A. Padlipsky. *RFC 874. A Critique of X.25*. The Mitre Corporation, September 19982.

- [Perl 94] Radia Perlman, *Interconnections Bridges und Router*, Addison-Wesley (Deutschland) GmbH, 2. komplett überarbeitete Auflage, 1994.
- [Ros 90] Marshal T. Rose. *The Open Book - A practical Perspective on OSI*, Prentice-Hall International, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1990.
- [Sch 87] Mischa Schwarz. *Telecommunication Networks: Protocols, Modeling and Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts, 1987.
- [Stö 95] Klaus Stöttiger, X.25-Datenpaketvermittlung, 1994, Datacom-Verlag
- [Tan 89] Andrew S. Tanenbaum. *Computer Networks*. Prentice-Hall International Software Series. Prentice-Hall International, Inc. Englewood Cliffs New Jersey, 2nd edition, 1989.

