Entwurf von virtuell privaten Netzen*

Rolf Oppliger
Stephan Weber
Dieter Hogrefe

Institut für Informatik und angewandte Mathematik
Universität Bern
Länggassstrasse 51
CH-3012 Berne

Tel. +41 31 65 49 03
Fax. +41 31 65 39 65

oppliger@iam.unibe.ch
weber@iam.unibe.ch
hogrefe@iam.unibe.ch

Zusammenfassung

Die Wettbewerbssituation auf dem internationalen Telekommunikationsmarkt verschärft sich zusehends. Die Telekommunikationsanbieter sind aufgefordert, vermehrt auf die individuellen Kommunikationsbedürfnisse ihrer Kunden einzugehen. Eine Möglichkeit stellen virtuell private Netze (VPN) dar. Allerdings erfordert die grossräumige Einführung von VPN-Diensten auch eine umfassende Werkzeugsunterstützung beim Entwurf und bei der Optimierung von VPN. In Zusammenarbeit mit den schweizerischen PTT-Betrieben wird an der Universität Bern ein Expertensystem zum rechnergestützten Netzentwurf entwickelt. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Konzepte sind in diesem Beitrag zusammengestellt.

*Diese Arbeit wurde ermöglicht dank freundlicher Unterstützung der schweizerischen PTT-Betriebe unter Vertrag 690.636.2/91

1 Einleitung

Auf nationaler Ebene werden Fernmeldewesen dereguliert, liberalisiert und privatisiert. Auf internationaler Ebene ist eine Globalisierung der Wirtschaftsräume und der Unternehmen zu beobachten. Beide Entwicklungstendenzen haben die Wettbewerbssituation auf dem internationalen Telekommunikationsmarkt in den letzten Jahren dramatisch verschärft.

Die Telekommunikationsanbieter sind heute aufgefordert, vermehrt auf die individuellen Kommunikationsbedürfnisse ihrer Kunden einzugehen. Eine Möglichkeit stellen virtuell private Netze (VPN[1]) dar. Allerdings erfordert die grossräumige Einführung von VPN-Diensten auch eine umfassende Werkzeugsunterstützung beim Entwurf und bei der Optimierung von VPN.

Im Zentrum dieses Beitrages stehen Konzepte und Ansätze zum rechnergestützten Netzentwurf, bzw. deren Anwendung auf VPN. Der Beitrag gliedert sich in sieben Abschnitte. Im zweiten Abschnitt werden VPN von öffentlichen und privaten Netzen abgegrenzt. Anhand eines Referenzmodells für den Netzentwurf sind im dritten Abschnitt die besonderen Probleme erläutert, die sich beim Entwurf und bei der Optimierung von VPN stellen. Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojekts OptiNet wird am Institut für Informatik und angewandte Mathematik (IAM) der Universität Bern ein Expertensystem zum rechnergestützten VPN-Entwurf entwickelt. OptiNet ist im vierten Abschnitt skizziert. In den Abschnitten fünf und sechs werden die beiden Hauptmodule von OptiNet beschrieben. Schlussfolgerungen runden den Beitrag ab.

2 Virtuell Private Netze

Aufgrund unterschiedlicher Zugangsrestriktionen lassen sich private, öffentliche und virtuell private Netze unterscheiden:

- Der Zugang zu einem **privaten Netz** obliegt strengen Restriktionen. In den meisten europäischen Staaten sind nur Teilnehmervermittlungsanlagen (TVA) und lokale Netze (LAN) privat betreibbar. Jede Kommunikation über Grundstücksgrenzen hinaus oder zwischen verschiedenen juristischen Personen hat über öffentliche Netze stattzufinden.

- Dagegen ist der Zugang zu einem **öffentlichen Netz** grundsätzlich nicht beschränkt und für jederman offen, der Zugang zu einem Netzanschlusspunkt hat und über die nötige Ausrüstung verfügt. In den meisten europäischen Staaten unterstehen öffentliche Weitverkehrsnetze (WAN) der Fernmeldehoheit der nationalen PTT-Betriebe. In anderen Staaten, wie z.B. den USA, dürfen auch private Organisationen öffentliche WAN aufbauen und betreiben.

Private und öffentliche Netze zeichnen sich durch Vor- und Nachteile aus. So können in einem öffentlichen Netz z.B. Installations- und Betriebskosten auf viele Teilnehmer aufgeteilt werden, während private Netze flexiblere und zum Teil auch sicherere Kommunika-

[1] Abkürzungen sind am Ende des Beitrages zusammengestellt.

tionslösungen ermöglichen. Mit virtuell privaten Netzen versucht man die Vorteile beider Ansätze zu kombinieren:

- Ein **virtuell privates Netz** (VPN) basiert zwar auf der Telekommunikationsinfrastruktur eines öffentlichen Netzes, steht dem Benutzer aber — wie ein privates Netz — permanent zur Verfügung. Ein **hybrides** VPN basiert auf mehreren öffentlichen Fernmeldenetzen.

Besondere Vorteile für den VPN-Kunden ergeben sich aus dem One Stop Shopping- und One Stop Billing-Konzept: Beim **One Stop Shopping** hat der VPN-Kunde nur mit einem Vertragspartner zu verhandeln. In Analogie zur Pauschalfrankierung der Briefpost ermöglicht **One Stop Billing** die pauschale Verrechnung einer VPN-Lösung und damit eine vereinfachte Budgetierung der Telekommunikationskosten. Mit One Stop Shopping und One Stop Billing können VPN-Kunden wesentliche Teile ihrer Telekommunikationsverwaltungen outsourcen und sich in verstärktem Masse auf die eigentlichen Unternehmensziele konzentrieren.

In den USA bieten die drei grossen Telefongesellschaften AT&T, US Sprint und MCI schon seit 1985 VPN-Dienste für die Sprachübertragung an [1]. Die Integration anderer Telekommunikationsanwendungen (Daten- und Bildübertragungen) steht noch aus. Ein Grund ist auch die Tatsache, dass der Entwurf und die Optimierung von VPN komplexe Aufgaben sind, die bis heute nur schlecht verstanden sind.

3 Entwurf und Optimierung von VPN

Um den Entwurf und die Optimierung von VPN besser verstehen zu können, wird im folgenden ein Referenzmodell für den Netzentwurf eingeführt. Verschiedene Lösungsansätze sind im zweiten Unterabschnitt beschrieben.

3.1 Referenzmodell für den Netzentwurf

Beim Netzentwurf sind auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen verschiedene Fragen zu beantworten. Auf niederen Abstraktionsebenen stellt sich z.B. die Frage, wie Übertragungskanäle auf die zur Verfügung stehenden Leitungen zu verteilen sind, bzw. wie die auf öffentlichen Netzen angebotenen Übertragungsdienste am kostengünstigsten einzusetzen sind. Dagegen kann die Frage, ob ein VPN bestimmte Kommunikationsbedürfnisse abzudecken überhaupt in der Lage ist, nur auf einem hohen Abstraktionsniveau beantwortet werden.

Insgesamt lassen sich in einem **Referenzmodell für den Netzentwurf** sechs Abstraktionsebenen unterscheiden (vgl. Abbildung 1):

1. **Leitungsebene:** Leitungen sind physikalische Übertragungsmedien, die zwei oder mehr Punkte miteinander verbinden und Signalübertragungen ermöglichen. Als Übertragungsmedien kommen z.B. verdrillte Leitungspaare, Koaxialkabel und Lichtwellenleiter in Frage.

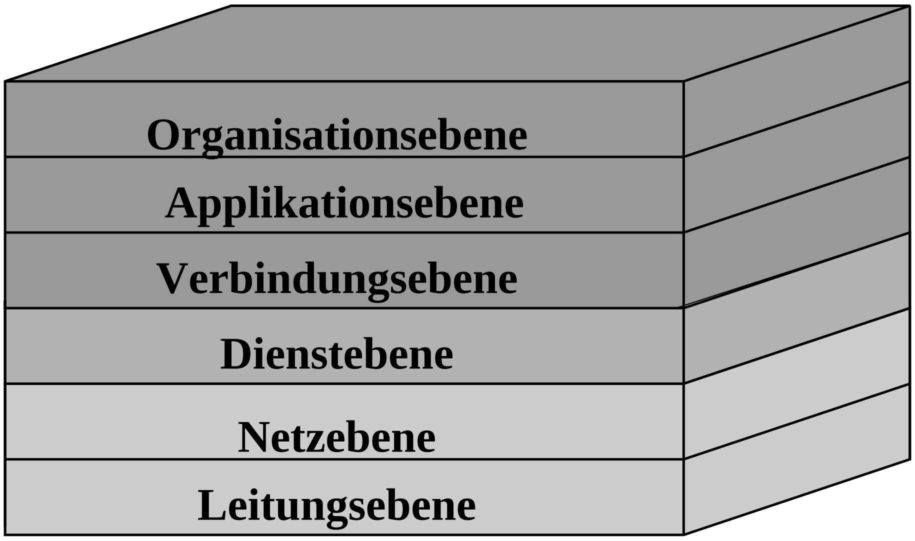

Abbildung 1: Referenzmodell für den Netzentwurf

2. **Netzebene:** Aus einer Menge von Leitungen können paket-, meldungs- und leitungsvermittelte Netze aufgebaut werden. Paketvermittelte Netze folgen zumeist den CCITT-Empfehlungen der X.25-Serie. Leitungsvermittelt sind das Telex-Netz, das öffentliche Fernsprechnetz (PSTN), sowie das dienstintegrierte digitale Netz (ISDN). In der Schweiz wird das ISDN als Swissnet bezeichnet. Mietleitungen stellen spezielle Punkt-zu-Punkt-Verbindungen dar.

3. **Dienstebene:** In Netzen können Grund- und Mehrwertdienste angeboten werden:

   Grunddienste sind reine Übertragungsdienste. Telex ist der im Telex-Netz angebotene Grunddienst. Er bleibt im folgenden unberücksichtigt. Im PSTN und im Swissnet werden Telefon- und Telefaxdienste angeboten, in ersterem noch der Datenübertragungsdienst Datel. Der von den schweizerischen PTT-Betrieben angebotene X.25-Datenübertragungsdienst heisst Telepac.

   Mehrwertdienste fügen einem Grunddienst wesentliche Leistungsmerkmale hinzu. Tele- und Videotex, Videokonferenzen und E-Mail stellen in diesem Sinne Mehrwertdienste dar.

   Für den Entwurf von VPN spielen vor allem Grunddienste eine Rolle. Neben Mietleitungen sind dies Telepac, Datel, Swissnet und Megacom. Megacom bezeichnet einen Breitband-Übertragungsdienst, der dereinst durch das Breitband-ISDN (B-ISDN) abgelöst werden soll.

4. **Verbindungsebene:** Grund- und Mehrwertdienste haben bestimmte Kommunikationsbedürfnisse abzudecken. Auf der Verbindungsebene werden diese Bedürfnisse als permanente, zeit- oder volumenabhängige Verbindungen spezifiziert und in einer Kommunikationsmatrix (KM) zusammengefasst.

5. **Applikationsebene:** Als Applikationen werden im folgenden Telekommunikationsanwendungen verstanden. Dabei kann es sich um synchrone oder asynchrone Sprach-, Daten oder Bildübertragungen handeln. In Abbildung 2 sind entsprechende Beispiele genannt. Die in einem Unternehmen eingesetzten oder einzusetzenden Applikationen werden in einer Applikationsmatrix (AM) zusammengefasst.

Sprache	Daten	Bild	
Telefonie	Prozesssteuerung Terminalbetrieb	Fernzeichnen Videotelefonie Videokonferenz	synchron
Voice-Mail	Dateitransfer E-Mail EDI	Telefax	asynchron

Abbildung 2: Applikationen

6. **Organisationsebene:** Auf der Organisationsebene setzt sich ein Unternehmen aus einer Menge von Niederlassungen zusammen. Diese Niederlassungen sind als Knoten mit den zwischen ihnen relevanten Informationsflüssen so zu modellieren, dass die Applikationen transparent werden. Diese Applikationen hängen auch von der Branche ab, in der das Unternehmen tätig ist. Man denke hier etwa an Flugreservierungssysteme in Reisebüros oder an Geldüberweisungen im Banken- und Versicherungswesen.

Die Leitungs- und Netzebene, sowie die Grunddienste der Dienstebene unterstehen in den meisten europäischen Staaten der Fernmeldehoheit der nationalen PTT-Betriebe. Der VPN-Entwurf beschränkt sich hier auf die oberen vier Abstraktionsebenen.

Der eigentliche Netzentwurf findet beim Übergang von der Verbindungs- auf die Dienstebene statt. Für diese Dienstabbildung stellt sich die Frage, nach welchen Kriterien Optimalität erzielt werden soll. Maximale Leistung, Sicher- und Offenheit wären mögliche Kriterien. Die im folgenden gemachten Aussagen erfahren jedoch keine Einschränkung, wenn die Minimierung der Kommunikationskosten als alleiniges Optimierungskriterium betrachtet wird.

3.2 Lösungsansätze

Der Entwurf von kostenminimalen VPN-Konfigurationen stellt ein Optimierungsproblem dar. Für Optimierungsprobleme bieten sich insbesondere zwei Lösungsansätze an [2]:

1. **Ganzzahlige Programmierung:** Die ganzzahlige Programmierung ist eine Teildisziplin des Operations Research. Rahmenbedingungen werden quantitativ in Form von ganzzahligen Gleichungen ausgedrückt. Eine Zielfunktion wird formuliert und optimiert (minimiert oder maximiert). Zur Lösung einfacherer Probleme kennt man Algorithmen, die beweisbar optimale Lösungen finden [3]. Allerdings ist die Umsetzung von qualitativen Rahmenbedingungen in quantitative a priori nicht gegeben. Sie bedarf subjektiver Annahmen und Einschätzungen, die in ihrer Gesamtheit die Optimalität von gefundenen Lösungen in Frage stellen können. Ein besonderes

Problem stellt die Wartung von ganzzahligen Programmen dar. Bewertungskoeffizienten sind an sich verändernde Rahmenbedingungen anzupassen. Dieser Prozess erfordert sehr viel Fachwissen und ist aufwendig. In der Literatur werden Möglichkeiten diskutiert, die Wartung eines ganzzahligen Programmes mithilfe der Expertensystem-Technik zu vereinfachen [4].

2. **Expertensystem-Technik:** Die Expertensystem-Technik der Künstlichen Intelligenz eignet sich in Anwendungsgebieten, in denen exakte Theorien oder korrekt arbeitende Algorithmen fehlen, komplexes und schlecht strukturiertes Expertenwissen aber vorhanden ist. Diese Situation hat man auch beim VPN-Entwurf vorliegen. Das Fachwissen und die Problemlösungsfähigkeit von Netzentwerfern gilt es in der Wissensbasis eines Expertensystems nachzubilden. Findet das Expertensystem eine Lösung, dann ist diese in der Regel zwar nicht optimal, aber zumindest vernünftig und gut. Beweisbare Optimalität wird für VPN-Konfigurationen nicht verlangt; zu schnell ändern sich Kommunikationstechniken und -bedürfnisse. Die hohe Wartungsfreundlichkeit eines Expertensystem ergibt sich aus der Trennung von Wissens- und Problemlösungskomponente. Weitere Vorteile beziehen sich auf die Möglichkeiten zur Wissenssicherung, -multiplikation und -normierung, sowie auf die Einsparung von Personal und Schulungskosten.

Aufgrund der geführten Diskussion scheint der Entwurf und die Optimierung von VPN ein geeignetes Einsatzgebiet für die Expertensystem-Technik zu sein.

4 OptiNet

In der Einleitung wurde bereits darauf hingewiesen, dass die grossräumige Einführung von VPN-Diensten einer umfassenden Unterstützung beim Entwurf und bei der Optimierung von VPN bedarf. Als rechnergestützter Netzentwurf oder **Computer Aided Network Design** (CAND) wird im folgenden ein Netzentwurfsprozess verstanden, der in wesentlichen Teilen von einem Computer getragen wird.

Alle heute verfügbaren Werkzeuge für CAND eignen sich aus verschiedenen Gründen nicht für den VPN-Entwurf: Entweder beschränken sie sich auf den lokalen Bereich, auf Kostenberechnungen, auf einen Dienst oder auf proprietäre Netze [5],[6].

Aufgrund dieser Erkenntnis haben die schweizerischen PTT-Betriebe das Forschungs- und Entwicklungsprojekt OptiNet ins Leben gerufen. In Zusammenarbeit mit dem IAM der Universität Bern wird ein Expertensystem für den rechnergestützten VPN-Entwurf entwickelt.

4.1 Entwicklungsumgebung

Aufgrund der unter 3.2 geführten Diskussion konnte der strategische Entscheid zur Entwicklung eines Expertensystems schon relativ früh gefällt werden. Genauere Abklärungen betrafen die Wahl einer geeigneten Expertensystem-Schale. Aus verschiedenen Gründen hat man sich in dieser Frage für SMECI von ILOG entschieden.

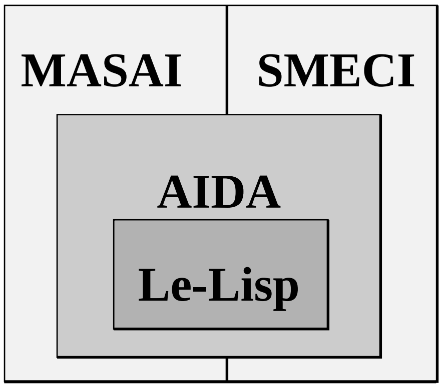

Abbildung 3: Entwicklungswerkzeuge von ILOG

SMECI basiert auf dem objektorientierten Lisp-Dialekt LE-LISP. Zusammen mit SMECI bietet ILOG ergänzende Entwicklungswerkzeuge an. So steht mit AÏDA eine Bibliothek für graphische LE-LISP-Objekte zur Verfügung. MASAÏ ist ein Entwicklungswerkzeug für graphische Benutzeroberflächen. Abbildung 3 zeigt den hierarchischen Aufbau der Entwicklungswerkzeuge von ILOG.

4.2 Modularisierung

Im Referenzmodell für den Netzentwurf trennt die Verbindungsebene die Netzspezifikation vom eigentlichen Netzentwurf. Anhand dieser Trennung wurde auch OptiNet in zwei Module aufgeteilt [7],[8]:

1. Der Modul STOCCON (Specification Tool for Corporate Communications Needs) hat den Netzentwerfer bei der Spezifikation von betrieblichen Kommunikationsbedürfnissen in Form einer KM zu unterstützen. Im Referenzmodell für den Netzentwurf deckt STOOCON die Verbindungs-, Applikations- und Organisationsebene ab.
2. Ausgehend von einer KM hat der Modul NEDEMUS (Network Design for Multiple Services) ein bedürfnisgerechtes und kostengünstiges VPN zu konfigurieren. Im Referenzmodell für den Netzentwurf leistet NEDEMUS die Dienstabbildung, d.h. den Übergang von der Verbindungs- auf die Dienstebene.

Abbildung 4 zeigt den Aufbau von OptiNet. Demnach wird STOCCON gespiesen von Eingabedateien und wird überwacht von einem interaktiven Benutzer. Als Ausgabe generiert STOCCON eine KM. Diese KM stellt die Eingabe von NEDEMUS dar. Die Aufgabe von NEDEMUS besteht nun darin, aus dieser KM ein kostenminimales VPN zu konfigurieren. Das gefundene VPN wird beschrieben und graphisch auf dem Bildschirm ausgegeben. Zudem kann ein interaktiver Benutzer Rückfragen an das System stellen.

Die in Abbildung 4 grau unterlegten Module STOCCON und NEDEMUS sind eingebettet in eine eine graphische Benutzeroberfläche und in den beiden folgenden Abschnitten genauer beschrieben.

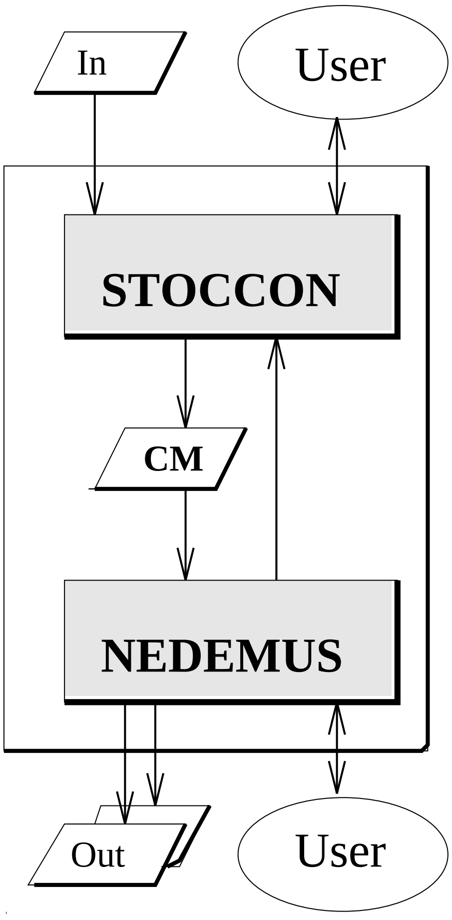

Abbildung 4: Aufbau von OptiNet

5 STOCCON

Der Modul STOCCON hat einen Netzentwerfer bei der Spezifikation von betrieblichen Kommunikationsbedürfnissen zu unterstützen. Dabei sind zwei Probleme zu bewältigen:

1. **Vorhersageproblem:** Künftige Kommunikationsbedürfnisse und entsprechende Verkehrsaufkommen sind nur schwer prognostizierbar. Dieses Vorhersageproblem kennt eine Analogie im Strassenbau: Wann immer eine Strasse neueröffnet oder verbreitert wird, nimmt der Verkehr derart schnell zu, dass die Strasse bereits nach kurzer Zeit überlastet ist. Staufreie Strassen scheint es grundsätzlich nicht zu geben. Ein ähnliches Problem existiert im Datenverkehr. Deckt ein Dienst bestimmte Kommunikationsbedürfnisse besonders gut ab, dann werden dadurch bestehende Bedürfnisse intensiviert oder sogar neue Bedürfnisse geschaffen. Ein Benutzer von E-Mail wird z.B. seine Arbeitskollegen dazu ermutigen, diesen Dienst ebenfalls zu benutzen, und damit einen Lawineneffekt auslösen. Das Vorhersageproblem wird noch dadurch erschwert, dass in regelmässigen Abständen neue Dienste auf dem Markt erscheinen, deren Akzeptanz bei den Benutzern sich nur selten voraussagen lässt. Wer hat z.B. mit der heutigen Verbreitung von Telefax gerechnet?

2. **Effizienzproblem:** Das Effizienzproblem entsteht aus der Tatsache, dass die KM eines Unternehmens mit n Niederlassungen bereits n^2 Zellen umfasst. Einige dieser Zellen werden leer, andere aber mehrfach belegt sein. Insgesamt erfordert die Spezifikation einer vollständigen KM einen erheblichen Arbeitsaufwand.

In der Praxis sind betriebliche Kommunikationsbedürfnisse nur selten bekannt und können aufgrund des Vorhersage- und des Effizienzproblems auch nur selten mit einfachen Mitteln erhoben werden [9],[10]. Der KM-Editor von COMMAT (Communications Matrix Management Tool) ist auf der Applikations- und Organisationsebene jedenfalls durch geeignete Werkzeuge zu ergänzen:

- Auf der Applikationsebene muss ein AM-Editor die Spezifikation von Applikationen unterstützen. Zudem muss ein AM-KM-Konverter in der Lage sein, aus einer AM eine adäquate KM herzuleiten. Dabei können verschiedene Applikationen zu einer Verbindung zusammengefasst werden. Der AM-Editor und der AM-KM-Konverter sind im Modul AMMAT (Applications Matrix Management Tool) zusammengefasst.
- Auf der Organisationsebene muss ein OS-Editor die Spezifikation von Knoten und die Beschreibung von Oraganisationsstrukturen (OS) unterstützen. Ein OS-AM-Konverter muss in der Lage sein, aufgrund dieser Angaben eine AM herzuleiten. Der OS-Editor und der OS-AM-Konverter sind im Modul DETOS (Description Tool for Organizational Structures) zusammengefasst.

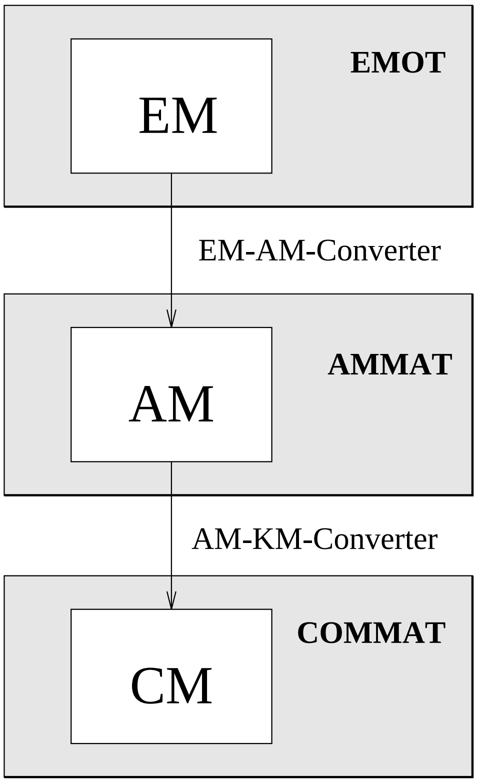

Abbildung 5: Aufbau von STOCCON

Abbildung 5 zeigt den Aufbau von STOCCON. Die Editoren sind eingebettet in die graphische Benutzeroberfläche von OptiNet. Die Konverter zwischen der Organisations- und der Applikations- (AM-KM-Konverter), bzw. zwischen der Applikations- und der Verbindungsebene (OS-AM-Konverter) sind als Expertensysteme realisiert.

6 NEDEMUS

Der Modul NEDEMUS hat sich um eine kostenminimale Dienstabbildung zu kümmern. Diese Aufgabe lässt sich in zwei Teilaufgaben zerlegen: Zum einen sind für jede Verbindung und für jeden möglichen Dienst die Kosten zu berechnen, zum anderen sind für alle Verbindungen einer KM Dienste so zu wählen, dass die Gesamtkosten minimal werden. Diesen Teilaufgaben liegt ein Kosten- und ein Optimierungsmodell zugrunde.

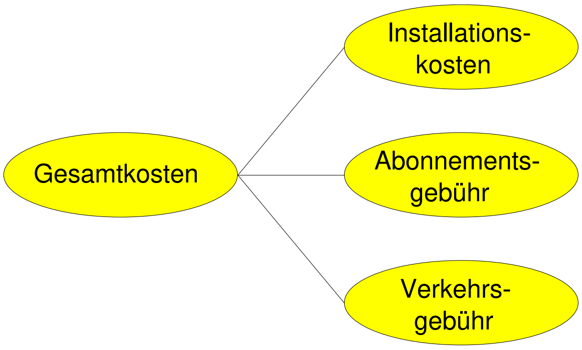

Abbildung 6: Kostenkomponenten

6.1 Kostenmodell

Das Kostenmodell von NEDEMUS erlaubt die Berechnung von Verbindungskosten für die verschiedenen Dienste gemäss den offiziellen PTT-Tarifen. Abbildung 6 zeigt, wie sich die Gesamtkosten eines Dienstes aus Installationskosten, Abonnements- und Verkehrsgebühren zusammensetzen:

Installationskosten sind Kosten für Ausrüstung und Installation von Übertragungseinrichtungen.

Abonnementsgebühren sind konstante Gebühren, die einem Netzbetreiber für die Benutzung seiner Anlagen zu entrichten sind.

Verkehrsgebühren sind variable Gebühren, die bei der Dienstbenutzung anfallen.

Jede Kostenkomponente errechnet sich aus Parametern, die sich aus den Spezifikationen von Verbindungen herleiten lassen.

6.2 Optimierungsmodell

Im Optimierungsschritt von NEDEMUS ist ein kostengünstiges VPN zu entwerfen. Hier stellt sich unter anderem die Frage, wie sich die Kostenkomponenten auf die Knoten und Kanten im Netz verteilen. Abbildung 7 zeigt eine solche Kostenverteilung. Auf den Kanten fallen die Abonnementsgebühren von Mietleitungen und die Verkehrsgebühren von Telepac und Wählleitungen an. An den Knoten sind die Installationskosten und die Abonnementsgebühren von Telepac und Wählleitungen zu berücksichtigen.

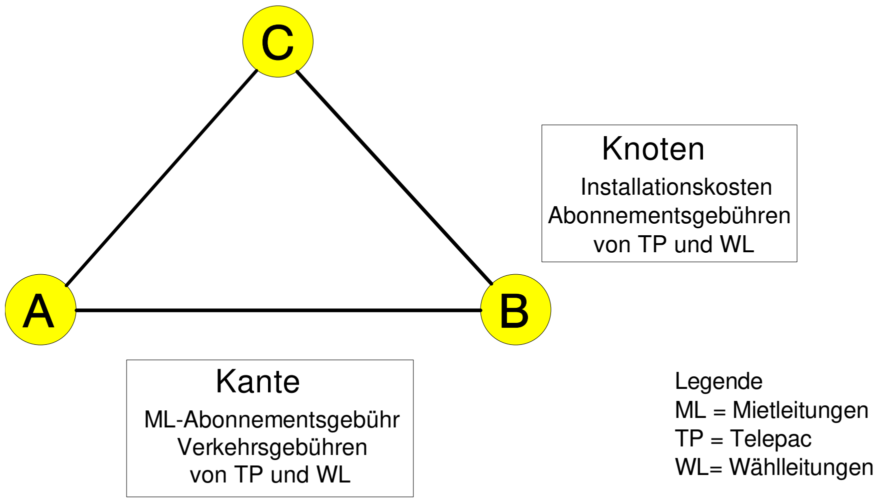

Abbildung 7: Kostenverteilung im Netz

Abbildung 8 zeigt das NEDEMUS zugrunde liegende Optimierungsmodell. Demnach wird aus einer KM zunächst einmal eine Basiskonfiguration errechnet (Setup). Diese Basiskonfiguration besteht aus den kostengünstigsten Diensten für jede Verbindung. Offenbar muss zur Berechnung der Basiskonfiguration das Kostenmodell herangezogen werden. Die Optimierung besteht nun darin, dass — ausgehend von dieser Basiskonfiguration — für jede Verbindung derjenige Dienst ausgewählt wird, mit dem die Gesamtkosten minimal sind. Da die Verkehrsgebühren von Telepac und Wählleitungen und die Installationskosten während der Optimierung als Konstanten betrachtet werden können, besteht der Optimierungsschritt im wesentlichen in einer Minimierung der Abonnementsgebühren.

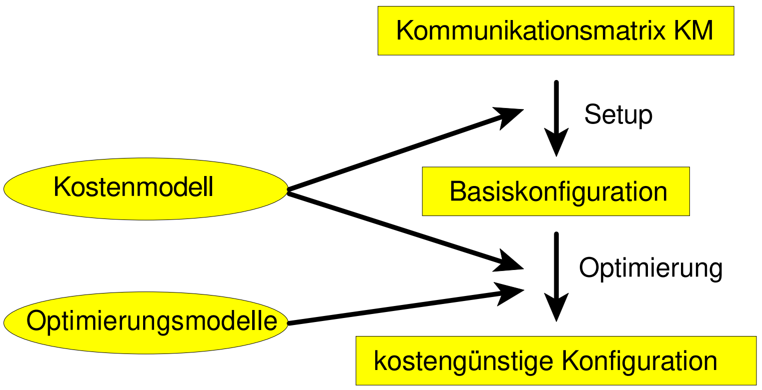

Abbildung 8: Optimierungsmodell

7 Schlussfolgerungen

Der Entwurf und die Optimierung von virtuell privaten Netzen (VPN) sind komplexe Aufgaben, die bis heute nur schlecht verstanden sind und für die strukturierte Lösungsansätze noch weitgehend fehlen.

Auf der Basis eines Referenzmodells für den Netzentwurf wird in diesem Beitrag eine strukturierte Vorgehensweise für den Entwurf und die Optimierung von VPN vorgeschlagen. Die Vorgehensweise wird im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojekts

OptiNet umgesetzt. Ein Expertensystem wird entwickelt, das VPN-Entwerfer umfassend bei ihren Tätigkeiten unterstützen soll.

Ein erster Prototyp von OptiNet ist in der Lage, Mietleitungsnetze zu optimieren. Hybridaspekte und Backup-Möglichkeiten werden zurzeit untersucht. Bei letzteren stellt sich die Frage, wie Mietleitungen anzuordnen sind, damit bei Ausfällen von einzelnen Leitungen ein bestimmter Minimalverkehr immer noch abgewickelt werden kann.

Danksagung

Die Autoren danken den Herren A. Dürsteler, B. Liver, K. Möri, U. Bünting und R. Eichenberger von den schweizerischen PTT-Betrieben für die gute Zusammenarbeit. Spezieller Dank geht an Dr. A. Scheuing für seine wertvollen Anregungen.

Abkürzungen

AM	Applikationsmatrix
AMMAT	Applications Matrix Management Tool
B-ISDN	Breitband-ISDN
CAND	Computer Aided Network Design
DETOS	Description Tool for Organizational Structures
GUI	Graphical User Interface
IAM	Institut für Informatik und angewandte Mathematik
ISDN	Integrated Services Digital Network
KM	Kommunikationsmatrix
COMMAT	Communications Matrix Management Tool
LAN	Local Area Network
NEDEMUS	Network Dedign for Multiple Services
OS	Organisationsstruktur
PSTN	Public Switched Telephone Network
STOCCON	Specification Tool for Corporate Communications Needs
TVA	Teilnehmervermittlungsanlage
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network

Literaturverzeichnis

[1] Briere, D.: *Virtual Networks.* Norwood, 1990.

[2] Dhar, V.; Ranganathan, N.: *Integer Programming vs. Expert Systems: An Experimental Comparison.* Communications of the ACM, Vol. 33 (1990), No. 3, pp. 323 – 336.

[3] Magnanti, T.L.; Wong, R.T.: *Network Design and Transportation Planning: Models and Algorithms.* Transportation Science, Vol. 18 (1984), No. 1, pp. 1 – 55.

[4] Chiang, M.K.; Zenois, S.A.: *On the Use of Expert Systems in Network Optimization: With an Application to Matrix Balancing.* Annals of Operations Research, Vol. 20 (1989), J.C. Baltzer AG, Basel.

[5] Dreyfuss, F.; Lesk, M.; Ribeyron, M.: *La planification des réseaux d'entreprise.* L'écho des recherches No. 141, CNET, Paris 3ème trimestre 1990.

[6] Lada, L. (Editor): *Network Planning in the 1990's.* Proceedings of the Fourth International Network Planning Symposium, September 17 – 22, 1989, Palma de Mallorca, Elsevier Science Publishers.

[7] Oppliger, R.; Weber, S.; Liver, B.: *Expertensystem konfiguriert virtuell private Netze.* Output, Mai 1992, pp. 43 – 47.

[8] Weber, S.; Oppliger, R.; Hogrefe, D.: *An Optimization Method for Virtual Private Network Design.* Proceedings of the IEE Second International Conference on Private Switching Systems and Networks, 23 – 25 June 1992, London (UK), IEE Conference Publication No. 357, pp. 31 – 36.

[9] Lesk, M.; Ribeyron, M.: *Forecasting corporate data traffic.* Technical Notice CNET NT/PAA/ATR/ORA/2825, Juni 1991.

[10] Zell, B.; Fetterolf, P.C.: *An Approach To Generating Network Requirements.* Proceeding of the Tenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, April 7 – 11, 1991, pp. 754 – 763.