

Positionspapier
Breitbandige Kommunikationsnetze
mit hoher Qualität

- **Flexibel**
- **Effizient**
- **Intelligent**



Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität: flexibel, effizient, intelligent

Verantwortlich: ITG-Fachausschuss 5.3 „Optische Nachrichtentechnik“

Autoren:

Dr.-Ing. Gert Eilenberger, Alcatel SEL AG, Stuttgart

Dr.-Ing. Thomas Pfeiffer, Alcatel SEL AG, Stuttgart

Dr.-Ing. Gustav Veith, Alcatel SEL AG, Stuttgart

Dr. rer. nat. Markus Kessler, Alcatel SEL AG, Stuttgart

Dipl.-Ing. D. Böttle, Alcatel SEL AG, Stuttgart

Dipl.-Ing. FH Georg Röll, CoreOptics GmbH, Nürnberg

Dr. techn. Rüdiger Quay, Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik, Freiburg

Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Langer, Fraunhofer Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, Berlin

Dr. rer. nat. Herbert Venghaus, Fraunhofer Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, Berlin

Dipl.-Ing. Godehard Walf, Fraunhofer Institut für Nachrichtentechnik, Heinrich-Hertz-Institut, Berlin

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Schmauß, Fachhochschule Regensburg, Regensburg

Dr.-Ing. Herbert Haunstein, Lucent Technologies Network Systems GmbH, Nürnberg

Dr.-Ing. Jörg Peter Elbers, Marconi Ondata GmbH, Backnang

Dr.-Ing. Peter Krummrich, Siemens AG, München

Dipl.-Ing. Nikolaus Gieschen, T-Systems, Berlin

Dr.-Ing. Andreas Gladisch, T-Systems, Berlin

Dr.-Ing. Gerhard Kadel, T-Systems, Darmstadt

Dr.-Ing. Manfred Rocks, T-Systems, Berlin

Prof. Dr.-Ing. Norbert Hanik, Technische Universität München

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Ziel	3
1.2	Zusammenfassung	3
2	Trends für Photonik und Festnetz	7
2.1	Generelle Netzentwicklung	7
2.2	Förderung der Photonik: Success Stories!	11
3	Forschungsschwerpunkte	12
3.1	Flexible und dienstzentrierte Netz- und Knotenarchitekturen	12
3.1.1	Stand der Technik – Problemerkläuterung	12
3.1.2	Neue Anforderungen und Trends	13
3.1.3	Resultierende Fragestellungen	14
3.1.4	Notwendigkeit der nationalen Förderung	14
3.2	Management- und Steuerungskonzepte für Netze und Dienste	14
3.2.1	Stand der Technik – Problemerkläuterung	14
3.2.2	Neue Anforderungen und Trends	16
3.2.3	Resultierende Fragestellungen	17
3.2.3.1	Netzmanagement und -steuerung (Network Management & Control)	17
3.2.3.2	Verkehrslenkung (Traffic Engineering)	17
3.2.3.3	Dienstemanagement & -kontrolle	17
3.2.3.4	Netzemulation und Softwarewerkzeuge/-technologie	18
3.2.4	Standardisierung und europäische Forschung	18
3.2.5	Notwendigkeit einer nationalen Förderung	19
3.3	Kostengünstige und robuste optische Übertragungstechnik für den Weitverkehrs- und Metrobereich	19
3.3.1	Stand der Technik – Problemerkläuterung	19
3.3.2	Neue Anforderungen und Trends	20
3.3.3	Resultierende Fragestellungen	21
3.3.4	Notwendigkeit der nationalen Förderung	24
3.4	Schlüsselkomponenten für Next-Generation Optische Netze	24
3.4.1	Stand der Technik- Problemerkläuterung	24
3.4.2	Neue Anforderungen und Trends	24
3.4.3	Resultierende Fragestellungen	25
3.4.4	Notwendigkeit der nationalen Förderung	27
3.5	Techniken für den breitbandigen Teilnehmerzugang	28
3.5.1	Stand der Technik – Problemerkläuterung	28
3.5.2	Neue Anforderungen und Trends	28
3.5.3	Resultierende Fragestellungen	29
3.5.4	Notwendigkeit der nationalen Förderung	30
3.6	Konvergenz von Fest und Mobilnetz	31
3.6.1	Stand der Technik - Problemerkläuterung	31
3.6.2	Resultierende Fragestellungen	32
3.6.3	Einbettung in die Forschungslandschaft	34
4	Schlussbetrachtung	35
5	Abkürzungen	35

1 Einleitung

1.1 Ziel

Mit diesem Dokument sollen mögliche Forschungsthemen im Bereich (optischer) Netze der nächsten Generation dargestellt werden. Es dient der Diskussion mit dem BMBF, der DLR und mit den Projektinteressenten. Die vorliegenden Ideen wurden auf Eigeninitiative des ITG-Fachausschusses 5.3 (Optische Nachrichtentechnik) von Vertretern der Industrie, Netzbetreibern, Forschungsinstituten sowie von Universitäten und Hochschulen zusammengetragen.

Neben einer allgemeinen Zusammenfassung und den zu erkennenden Markt- und Technologietrends werden im wesentlichen sich daraus ergebende mögliche Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte dargestellt.

1.2 Zusammenfassung

Die moderne Kommunikations- und Informationstechnik hat in den letzten Jahren in allen Bereichen der Gesellschaft, Politik und Wirtschaft Einzug gehalten und teilweise zu tiefgreifenden Veränderungen geführt. Besonders sichtbar wird das durch die stetig steigende Nutzung des Internets – auch im privaten Bereich – und die rasante Verbreitung des Mobilfunks. Trotzdem stehen wir bisher nur am Anfang einer Entwicklung zur kommunikations- und wissensbasierten Gesellschaft. Viele Möglichkeiten moderner ITK-Lösungen erschließen sich erst Schritt für Schritt und gewissermaßen in einem ständigen Entwicklungszyklus. So wie schnelle Prozessoren die Grundlage für die Entwicklung noch schneller Prozessoren ist, so bekommt man erst durch die Anwendung schneller Netzdienstleistungen eine Vorstellung davon, wie die virtuelle Arbeitswelt der Zukunft aussehen könnte. Integriertes Videoconferencing und das gemeinsame Bearbeiten von Dokumenten auch über große Entfernungen hinweg ist heute in modernen Unternehmen eine Selbstverständlichkeit, genauso wie das „Follow the Sun“-Prinzip, bei dem beispielsweise computerbasierte Autokonstruktionsunterlagen nahtlos von japanischen Konstrukteuren zu europäischen und über amerikanische wieder zurück zu japanischen übergeben werden. Die Effektivität von Entwicklungs- und Produktionsabläufen kann damit enorm gesteigert werden.

Ein weiteres Beispiel für diese Effizienzsteigerung ist das so genannte GRID-Computing, bei dem Ressourcen vieler Rechner gemeinsam zur Lösung sehr komplexer Aufgaben genutzt werden. Bereits an diesen einfachen Beispielen ist leicht zu erkennen, dass die Wissensgesellschaft und die Wirtschaft im globalen Umfeld von uneingeschränkter Information und Kommunikation leben und entscheidend abhängen.

Ein weiteres Merkmal der Wissens- und Kommunikationsgesellschaft ist die Mobilität, d.h. unabhängig vom aktuellen Standort wünscht ein Nutzer den möglichst komfortablen und uneingeschränkten Zugang zu Informations- und Kommunikationsressourcen. Andererseits kann die Virtualisierung vieler Konstruktions- und Entwicklungsprozesse aber auch als ein Beitrag gesehen werden, das Wachstum der Energie- und Verkehrsprobleme zumindest zu verlangsamen.

Der leichte Zugang zu Information und Bildung, d.h. zu Kommunikationsinfrastrukturen wird bezogen auf den einzelnen Bürger in Zukunft auch ein Kriterium für Lebensqualität und Wohnortwahl sein. Bezogen auf die gesamte Gesellschaft kann sich daraus sogar ein soziales

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

Differenzierungskriterium entwickeln, und insofern ist es wichtig, für gleichberechtigten Zugang zu Information- und Kommunikationsressourcen zu sorgen.

Unabhängig von den konkreten Applikationen werden sich wissens- und kommunikationszentrierte Lebens- und Arbeitsweisen nur durchsetzen, wenn die notwendige Infrastruktur zu adäquaten Kosten zu Verfügung steht. Die wirtschaftliche Basis für effektive Kommunikations- und Netzlösungen ist ein funktionierender und fairer Wettbewerb. Marktsegmentierung und Deregulierung bestimmen ganz wesentlich das Marktgeschehen, können Innovationen hemmen, aber auch beschleunigen. So war der massive roll-out von optischen Übertragungssystemen und der Boom der Mobilkommunikation zu Ende der 90er Jahre mit der Deregulierung der Telekommunikationsmärkte in Europa aufs Engste verknüpft. Gegenwärtig kann man im Bereich der Zugangsnetze einen vergleichbaren Effekt beobachten. Hier reagieren die Netzbetreiber auf den harten Wettbewerb im Telephoniemarkt mit breitbandigen DSL-Angeboten, wobei die Kunden für geringfügig höhere Preise eine um Größenordnungen erhöhte Bandbreite erhalten.

Aus diesen sehr verkürzten, blitzlichtartigen Betrachtungen können mit Sicherheit drei wichtige Anforderungen an zukünftige Netze gefolgert werden:

- Die Systeme und Netze müssen Mobilität und einen nahtlosen Übergang zwischen unterschiedlichsten Netztechniken ermöglichen.
- Der Bandbreite- und Qualitätsbedarf wird wegen neuer Applikationen und verbesserter Bedienbarkeit steigen.
- Die Effektivität der Netze muss verbessert werden. Die Einnahmen der Netzbetreiber werden nicht proportional zur Bandbreite steigen, denn die finanziellen Möglichkeiten von privaten und kommerziellen Nutzern sind begrenzt.

Neben den beschriebenen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklungen sind generelle technische Trends bei der Evolution der Netze zu beobachten. In den derzeitigen Überlegungen und Diskussionen nimmt der Gedanke der Konvergenz einen breiten Raum ein, wobei sich verschiedene Aspekte der Konvergenz unterscheiden lassen:

- *Konvergenz der Fest- und Mobilnetze.* Der drahtlose Zugang zu Kommunikationsnetzen – sei es im privaten wie auch im geschäftlichen Umfeld – wird immer wichtiger und der Anteil des Verkehrs aus der Mobilkommunikation wächst ständig. Hier ist es sinnvoll, Netzinfrastruktur, Steuerung und Management beider Netztypen geeignet zusammenzuführen und den Netzzugang für die Teilnehmer anzupassen.
- *Konvergenz von Sprachnetzen (TDM-basiert) und Multimedienetzen (IP-basiert).* Synchroner, leitungsvermittelter Netze bieten hohe Bandbreiten und sind sehr zuverlässig, aber nicht ausreichend flexibel für die dynamischen Verkehrsanforderungen der Multimedienetze. Die paketvermittelten IP-Netze sind sehr flexibel und erlauben eine sehr einfache Integration verschiedenster Multimediaapplikationen, sie sind aber nicht ausreichend skalierbar für zukünftige Bandbreitenanforderungen und fehleranfällig. Dafür ist eine Netzevolution dringend erforderlich.
- *Konvergenz der Endgeräte:* Die Kunden erwarten zukünftig den durchgängigen Zugang zu den gewünschten Diensten unabhängig von der Technologie der verwendeten Endgeräte und des benutzten Netzes, aber angepasst an die jeweiligen Fähigkeiten des Endgeräts.

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

- *Konvergenz der Dienste:* Das Internet Protokoll (IP) wird als gemeinsame Basis für den größten Teil der Dienste gesehen. Bis auf wenige Spezialanwendungen werden die Dienste auf IP-Basis abgewickelt werden, und auch auf den höheren Schichten sind Konvergenzen sinnvoll, um das Dienstemanagement zu vereinfachen. Dieses hat natürlich auch Einfluss auf die Architektur und die Steuerung zukünftiger Netze.

Damit ist festzuhalten, dass die Konvergenz der Informations-, Kommunikations- und Medientechnologien bei Netzen, Endgeräten, Diensten und Anwendungen essentielle Wichtigkeit erlangt, um die für den effizienten und kostengünstigen Netzbetrieb erforderliche hohe Interoperabilität sicherzustellen, aber auch um die neuen Funktionalitäten und die Dienstegüten für das Zusammenwirken der Dienste und Netze zu bieten. Auf der Netzseite sind dafür neue Architekturen und Technologien notwendig, die den Konvergenztrends genügen. Für Steuerung und Management solcher Netze sind integrierte Ende-zu-Ende-Lösungen anzustreben, die eine kostengünstige und technologie neutrale Bereitstellung der Dienste ermöglichen. Im Zuge der Deregulierung und der Förderung des Wettbewerbs muss es allen Betreibern möglich sein, nahtlos Dienste bereitzustellen.

Neben den funktionalen Anforderungen ist der Kostendruck ein wesentlicher Faktor, der die Konvergenztrends vorantreibt. Die synchronen Sprachnetze sind zwar derzeit noch die Haupteinnahmequelle der Netzbetreiber, die Verkehrszunahme in diesen Netzen stagniert allerdings, und diese erreichen in den nächsten Jahren die Grenze der effektiven Lebensdauer. Auf der anderen Seite sind trotz der rapiden Steigerungsraten des Datenverkehrs daraus nur verhältnismäßig geringe Einnahmen zu erzielen, wobei die Netzkosten aber relativ hoch sind. Darauf beruht die hohe Motivation, deren Investitionskosten und die Betriebskosten zu senken bzw. neue Mehrwertdienste zur Erzielung zusätzlicher Einnahmen zu definieren.

Durch den stetig steigenden Bandbreitebedarf der neuen (Multimedia)-Dienste sind speziell in den Zugangnetzen schon jetzt Begrenzungen zu beobachten, die für die weitere Evolution der Netze behoben werden müssen.

Die Migration zu IP-orientierten Netzen, die Konvergenz und die Kosten-/Erlöse-Problematik hat erhebliche Auswirkungen auf die Gestaltung von Netzknoten, sowie von Metro- und Backbonenetzen. Diese erklären den akuten Handlungsbedarf für die Evolution der Netze. Folgende Schlüsselfragen müssen in diesem Zusammenhang geklärt werden:

- Mehr Flexibilität, Dynamik und Automatisierung soll in die Netze eingebracht werden, aber wieviel, wie und wo?
- Wie sieht die optimale Aufteilung von IP/TDM/OTN-Netzen aus und welche Steuerungs- und Managementfunktionen sind für solche Multi-Layer-Netze erforderlich?
- Welche Layer-2 Lösungen unterstützen optimal den IP-Layer und neue flexible Carrier-(VPN) Services?
- Wie müssen Netz- und Knotenarchitekturen aussehen, die eine kosteneffektive Migration und einfache Installation sowie zuverlässigen Betrieb ermöglichen? Bringen verteilte Steuerungs- und Managementansätze kostengünstig die geforderten Funktionalitäten?
- Wie kann kostengünstig eine Ende-zu-Ende-Dienstegüte für die Kunden garantiert werden, und welche Managementfunktionen werden dafür benötigt?
- Wie können neue Funktionen und Technologien (optische und elektrische Komponenten, optische Transparenz usw.) effektiv genutzt und integriert werden?
- Wie müssen robuste Übertragungssysteme aussehen, die unempfindlich gegenüber Störungen auf der Faser (Dispersion, PMD) und gegen dynamische Änderungen von Pfaden sind?
- Welche elektronischen und optischen Technologien/Komponenten sind für die Bewältigung der Anforderungen der zukünftigen Netze notwendig?

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

- Wie erreicht man durch eine clevere Kombination von elektronischen und optischen Funktionen kostengünstige Lösungen, die eine automatische Massenfertigung ermöglichen?

Weitere Voraussetzungen für die breitbandige Nutzung des Next Generation Network (NGN) sind der breitbandige Netzzugang sowohl über das Festnetz als auch über Funknetze und eine entsprechende breitbandige Netzinfrastruktur beim Teilnehmer. Es besteht kein Zweifel, dass die Zugangsnetze in Zukunft bis zu 100 Mbit/s für private Teilnehmer und mehrere Gbit/s für Geschäftskunden bereitstellen können müssen. In einem Umfeld, das stark vom Wettbewerb zwischen den Anbietern, aber auch vom Wettbewerb der technologischen Möglichkeiten gekennzeichnet ist, werden die Anbieter immer nach den optimalen technischen Kombinationen suchen, um den Markt zu bedienen. Zweifelsohne werden aber alle in Frage kommenden Technologien, (DSL, Faser und Funk) neue Entwicklungen hinsichtlich Kosteneffizienz und Bandbreiten erschließen. Es besteht sicherlich auch kein Zweifel daran, dass in Zukunft die Glasfaser immer näher zu Kunden ausgelegt wird, um kosteneffektiv die Bandbreiteneanforderungen bedienen zu können. Breitbandige Funknetze im Innen- wie auch im Außenbereich werden dort zum Einsatz kommen, wo es aus Kosten- Komfort- und Mobilitätsgründen gewünscht bzw. erforderlich ist. Die nächsten Funkgenerationen werden einen wesentlich breitbandigeren Netzzugang ermöglichen und sie werden sich zu picozellularen Netzen entwickeln, die völlig neuartige Zugangsnetzarchitekturen unterstützen werden.

Aus der bisherigen Entwicklung wissen wir, dass insbesondere investitionsintensive Systeme (Kabel, Accesslösungen etc.) sehr langfristige Auswirkungen haben und daher möglichst offen für zukünftige Technologien sein müssen.

Folgende Schlüsselfragen stellen sich, die teilweise bereits in laufenden Vorhaben behandelt werden, aber aus heutiger Sicht bestimmt noch nicht abschließend beantwortet werden können:

- Wie sehen Netzkonzepte aus, die eine einfache Skalierung und einen schrittweisen, dem Bedarf angepassten Ausbau der Teilnehmeranschlußnetze ermöglichen, und die offen sind für die Kombination von optischen Zubringersystemen mit Übertragungssystemen auf Kupfer- und Funkbasis?
- Wie können FTTx, DSL und Funk weiterentwickelt und nahtlos integriert werden ?
- Wie sehen Konzepte für Serviceplattformen (zentral – dezentral) insbesondere für die Bereitstellung, Adaption und Verteilung breitbandiger Multimediadienste unter Berücksichtigung von Nutzermobilität und Wechsel zwischen verschiedenen Netzen aus?
- Wie können Kosten bei der Hardware, der Installation und dem Betrieb von breitbandigen Teilnehmeranschlußnetzen reduziert werden und wie sehen Netzlösungen für eine sehr preiswerte breitbandige Infrastruktur beim Teilnehmer aus?
- Welche dazugehörigen Planungswerkzeuge werden benötigt?
- Wie können die optischen, optoelektronischen und elektronischen Schlüsselkomponenten im Hinblick auf Robustheit, Massenfertigung und Kostenreduktion weiterentwickelt werden?

2 Trends für Photonik und Festnetz

2.1 Generelle Netzentwicklung

Gegenwärtig kann man drei entscheidende Trends beobachten, die die Entwicklung der Kommunikationstechnik in den nächsten Jahren erheblich beeinflussen werden. Zum einen ist dies der Paradigmenwechsel von leitungsvermittelten Sprachdiensten (Circuit Switched Voice Service) zu paketvermittelten Universalnetzen (NGN – IP Netze). Zum zweiten ist dies eine Notwendigkeit, die im Grunde eher als elementarer marktwirtschaftlicher Zwang angesehen werden muss, nämlich die Investitions- und Betriebskosten pro Bandbreiteneinheit, die im Netz transportiert wird, erheblich zu senken. Drittens wird die Mobilität und der nahtlose Übergang zwischen Mobil- und Festnetzen ein wichtiges Kriterium des Erfolges werden.

Im Zusammenhang mit Trend Nr. 1 sprechen wir allerdings von sehr langfristigen Prozessen, deren Startpunkt gerade in den vergangenen Jahren durchlaufen wurde, die vermutlich in den nächsten 15 Jahren die Entwicklung der Netze bestimmen werden, und mit denen erhebliche Investitionen einhergehen werden. Abbildung 1 gibt einen Hinweis auf diese langfristigen Prozesse; Forrester Research prognostiziert den Abschluss der Migration zu Voice over IP (VoIP) nicht vor dem Jahr 2020. Dieser Trend äußert sich übrigens nicht nur in der Migration zu IP – basierten Netzen der nächsten Generation (NGN) sondern der gesamte Leased-Line Markt wird von diesen Entwicklungen erheblich beeinflusst werden, da eine Abkehr von den „klassischen“ SDH und ATM Services hin zu Ethernet und IP - orientierten Leased-Line Services entstehen wird.

Die zweite oben genannte Randbedingung ergibt sich daraus, dass für die nächsten Jahre ein erhebliches Wachstum der Bandbreiten, die das Netz transportieren muss, prognostiziert wird. Dieses Wachstum und die Migration zu NGN muss in einem finanztechnischen Umfeld erfolgen, dessen Kernmerkmal die nach wie vor hohe Verschuldung der Netzbetreiber ist. Die Netzbetreiber werden daher auch in Zukunft nur ein sehr begrenztes Budget für Investitionen in Netzen zur Verfügung haben. Abbildung 2 gibt einen Hinweis auf diese Problematik, die prognostizierten Investitionen stagnieren nahezu während das Datenvolumen deutlich anwächst. Dementsprechend werden nur architekturelle und technologische Lösungen bedeutsam sein, die eine deutliche Senkung der Kosten pro produziertem Bit ermöglichen. Natürlich sollten nicht nur Investitionen in diesem Zusammenhang betrachtet werden, sondern auch die Betriebskosten, die durch Netzmanagement u.ä. entstehen, werden gleichermaßen reduziert werden müssen.

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

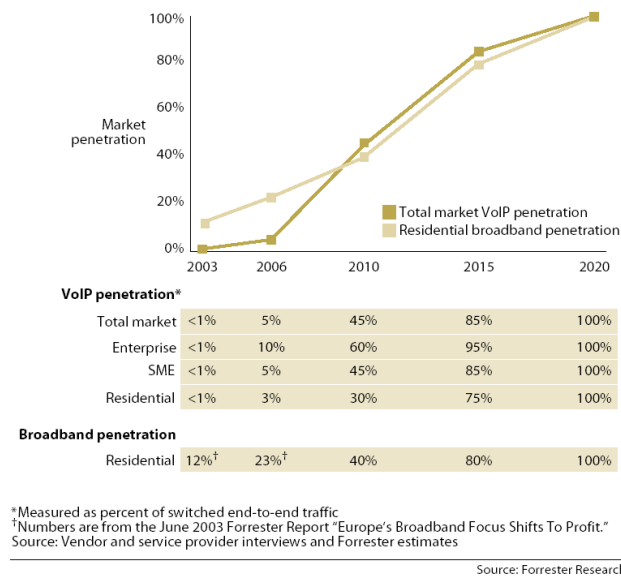


Abbildung 1: Die Entwicklung einer 100% igen VoIP Plattform wird in Europa 15 Jahre dauern

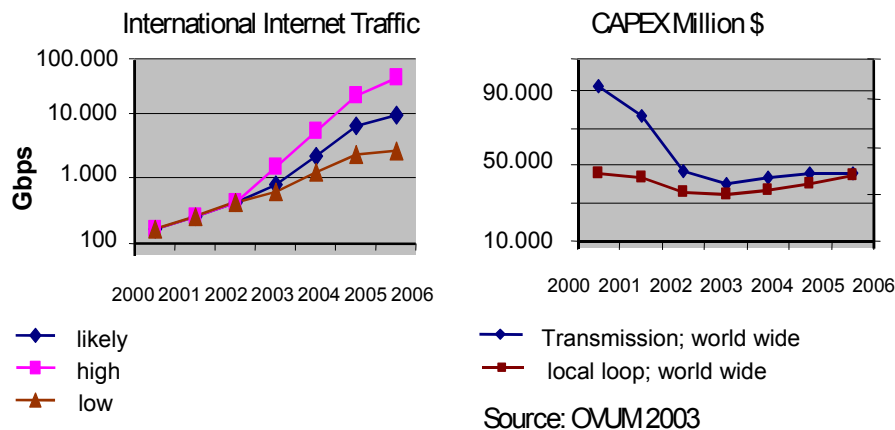


Abbildung 2: Entwicklung des Internet Verkehrs und Entwicklung der Investitionen

Neben diesen reinen Kostenbetrachtungen muss aber noch eine sehr positive Auswirkung der beschriebenen Effizienzsteigerung der Netze betrachtet werden, die in der deutlich voraussehbaren Senkung der Preise für Bandbreiten und Netzdienstleistungen zu sehen ist. Nur wenn diese Senkung gelingt, werden kleine und mittelständische Unternehmen stärker Angebote des sogenannten e-Business in Anspruch nehmen können, z.B. netzbasierte Speicherlösungen, oder Behörden und Verwaltungen auf das sog. e-Government umsteigen wollen.

Der dritte oben genannte Trend, das Zusammenwachsen von Mobil- und Festnetz, ist in Ansätzen ebenfalls bereits sichtbar. Zum Beispiel bieten einige Mobilfunkbetreiber einen Service, bei dem in vorvereinbarten Bereichen mit dem Handy zum Festnetzтариф telefoniert werden kann.

Mit der Entwicklung neuer drahtloser Breitbandtechniken in den vergangenen Jahren, - WLAN (IEEE 802.11, 802.16) und UMTS sind als wichtigste Vertreter zu nennen-, hat das

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

Zusammenspiel von Fest- und Mobilnetz eine völlige neue Qualität gewonnen. In diesem Netzumfeld muss natürlich ein sehr universelles „Endgerät“ wie ein Laptop gleichermaßen mit allen Netztechniken kommunizieren können, und dieses sollte möglichst „stressfrei“ für den Netzbenutzer, d.h. ohne mühseliges Umkonfigurieren des Laptops erfolgen. Natürlich müssen diese Nutzeranforderungen, die aus technischer Sicht oberhalb von Schicht 3 des OSI Modells liegen, durch entsprechende Middleware erfüllt werden, als universelles Ende-zu-Ende Protokoll auf Schicht 3 wird aber mit Sicherheit das IP-Protokoll Anwendung finden.

Des weiteren kann dabei von einem sehr engen Zusammenspiel zwischen drahtlosem Netz und Festnetz ausgegangen werden, da der Kommunikationsverkehr, der von den mit hoher Dichte vorhandenen Basisstationen erzeugt wird, zum nächsten IP-PoP, d.h. zum allgemeinen Internet transportiert werden muss, um ein nahtlose globale und serviceneutrale Nutzung zu ermöglichen. Ein grundsätzliches Szenario, das diese Universalität verdeutlicht, ist in Abbildung 3 gezeigt.

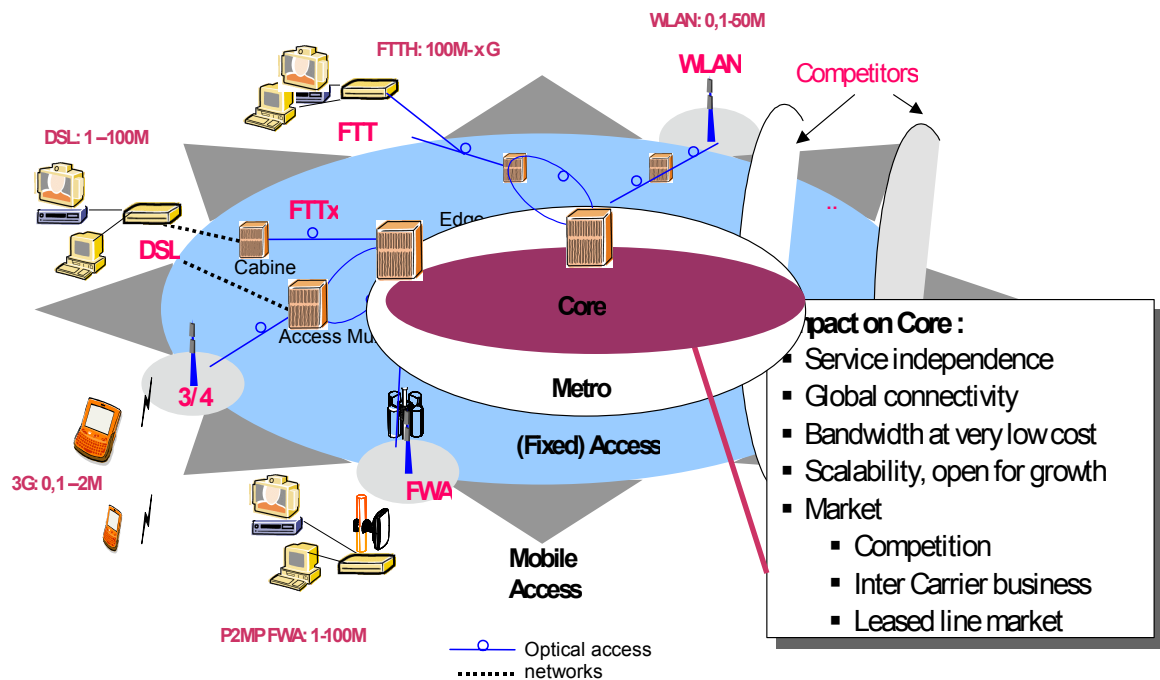


Abbildung 3: Universelles NetzszENARIO

In diesem Szenario agieren drahtlose Techniken als Alternative und Ergänzung der drahtgebundenen Zugangstechniken wie DSL und FTTx. Aus Netzsicht ist allen diesen Techniken gemeinsam, dass sie den Verkehr der Nutzer teilweise aggregieren und an das sogenannte Metro-Netz abliefern, welches IP-PoPs beinhalten kann und ggf. eine weitere Aggregation in Richtung Core durchführt. Sehr häufig beinhalten Access und Metronetz eine Reihe von Layer 2-Funktionen, die zur oben genannten Aggregation genutzt werden.

Die Bereitstellung von Diensten über unterschiedliche Netzstrukturen (Funk, Faser, Kupfer) sollte möglichst geringe Auswirkungen auf den Dienst selbst haben. Netzspezifische Implementierungen sind schwierig am Markt zu etablieren. Bei der Optimierung von Netzstrukturen muss daher in besonderem Maße auf eine Minimierung von infrastrukturenspezifischen Unterschieden geachtet werden. Die zum Einsatz kommenden Mechanismen der Bandbreitenbereitstellung sowie der

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

Maßnahmen zur Sicherstellung ausreichender Qualitätsmerkmale können daher nur in einer gesamtheitlichen Sicht erfolgen.

Das Core Netz selbst stellt die globale Erreichbarkeit sicher und ist idealerweise völlig serviceneutral. Das Core Netz hat aber noch weitere Funktionen. Es sichert das nahtlose Zusammenspiel zwischen unterschiedlichen Netzbetreibern und es liefert in Form von Leased Lines Kapazitäten für Großkunden und andere Netzbetreiber.

Durch die fortschreitende wirtschaftliche Konsolidierung der europäischen Telekommunikations-Netzbetreiber zeichnet sich eine Belebung des Telekommunikationsmarktes ab, da führende Netzbetreiber wieder verstärkt in Ausbau und Erneuerung ihrer Infrastruktur investieren werden. Neben der Erhöhung der Übertragungskapazität besteht zunehmend Bedarf nach dynamischen und flexiblen Lösungen, die eine schnelle Reaktion auf sich ändernde Kundenanforderungen, wie sie z. B. durch gesteigerte Mobilität entstehen, ermöglichen. Maßgebliches Entscheidungskriterium bei Neuinvestitionen bleiben jedoch die Kosten für Anschaffung und Betrieb, umso mehr da eine reine Erhöhung der transportierten Datenmenge keine adäquate Vergrößerung der Einkünfte der Netzbetreiber sicherstellt. Zukünftig werden daher in verstärktem Maße robuste und universell einsetzbare Netzlösungen erforderlich sein, mit denen Netzbetreiber flexibel und mit möglichst geringem Aufwand auf veränderte Verkehrsanforderungen reagieren können, und die die schnelle Integration neuer Dienste ermöglichen. Untersuchung, Entwicklung und Optimierung neuartiger Konzepte, Systeme und Komponenten für flexible, dienste-zentrierte Netz- und Knotenarchitekturen sind daher ein zentrales Thema zukünftiger Forschungsaktivitäten.

Wie im gemeinsamen Aktionsprogramm Informationsgesellschaft 2006 des BMWA und BMBF dargestellt, ist es ein erklärtes Ziel, Breitbandtechnologien bis 2005 zur dominierenden Internet-Zugangstechnologie werden zu lassen. Es wird erwartet, dass bis zum Jahr 2010 im Bereich der Unternehmenskommunikation Bandbreiten von bis zu 10 Gbit/s und für den privaten Verbraucher bis zu 150 Mbit/s angeboten werden, und die Anzahl der Breitbandanschlüsse in Deutschland bei 20 Mio. liegen wird.

Nach dem Ende der IT-Euphorie haben weltweit viele große Komponentenhersteller ihre Bauelement-Aktivitäten drastisch reduziert oder komplett eingestellt. Parallel zu dieser Entwicklung hat die Bedeutung von KMUs zugenommen, die sich in der Regel auf ein enges Produktspektrum oder nur eine einzige Komponente beschränken. Eine eigene Technologie-Linie ist in solchen Fällen nicht finanzierbar, und deshalb gibt es einen starken Trend hin zur "fabless company". Damit gewinnt die Kooperation mit Instituten (die über eine Technologie zur Herstellung von Komponenten verfügen) zunehmend an Bedeutung, weil nur auf diese Weise high-end Chips hergestellt und technologische Innovationen langfristig gesichert werden können. KMUs in Deutschland haben einen guten Stand vor allem auf dem Sektor der high-end Komponenten, in den kommenden Jahren wird das größte Marktpotential aber im Access- und im Metrobereich erwartet. Dieses sind langfristig zwar Massenmärkte, zunächst geht es aber darum, innovative und preisgünstige technische Lösungen zu erarbeiten, und das kann sehr gut von KMUs in enger Kooperation mit Forschungsinstituten geleistet werden.

In der Vergangenheit haben selbst erfolgreiche Forschungsprojekte sich in der Regel darauf beschränkt, grundsätzliche Lösungen anhand von Einzelkomponenten oder Demonstratoren aufzuzeigen. Für eine industrielle Umsetzung der Resultate durch KMUs waren die Ergebnisse damit aber oft noch zu weit von der Umsetzung in Produkte entfernt. Diese Lücke sollte im Rahmen künftiger F&E-Förderung so weit wie möglich geschlossen werden.

2.2 Förderung der Photonik: Success Stories!

Die bisherigen F&E-Förderprojekte haben in den vergangenen Jahren eine Vielzahl von Überleitungen in der Industrie hervorgebracht und im innovativen Sinne den Standort Deutschland als führend im Bereich der optischen Kommunikationstechnik entwickelt und gestärkt. Die nachfolgenden Beispiele haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sie belegen aber sehr gut die enge und erfolgreiche Kopplung von F&E-Projekten, Start-Up's und Industrieprojekten.

- Virtual Photonics , als einer der wenigen Start-Up's für Simulationssoftware für optische Systeme, der die Krise von 2000/2001 überlebt hat, ist unmittelbar an den Photonik und KomNet Projekten beteiligt gewesen..
- u2t: Kernkompetenz: ≥ 40 Gbit/s Photoempfänger und integrierte/hybride Receiver für optische Übertragungs- und Meßsysteme, ps-Pulsquellen. Produktspektrum basiert in erheblichem Umfang auf F&E-Ergebnissen aus Photonik-, KomNet- und MultiTeraNet-Projekten.
- Epinova/Freiburg: Kernkompetenz: Epitaxie von III/V Halbleitern für elektronische und optoelektronische Anwendungen, von namhaften Herstellern qualifizierte Pumplaser für EDFA Anwendungen, Photodioden (MSM) für HDTV, Produktspektrum basiert in erheblichem Umfang auf F&E-Ergebnissen aus „Photonik“- , „KomNet“- und „MultiTeraNet“-Projekten.
- Als mittelständisches Unternehmen ist CoreOptics auf Forschungs- und Entwicklungsergebnisse von Universitäten, Instituten und geförderten Verbundprojekten angewiesen. CoreOptics hat wesentliche Produktideen aus den Photonik und KomNet Projektergebnissen abgeleitet (z.B. 40G-Transponder, 10G-Electronic Equalizer).
- Die Deutsche Telekom nutzt heute WDM-Systeme von Alcatel und Lucent, deren Grundlagenuntersuchungen zum Teil im Rahmen von Photonik und KomNet erfolgten.
- Das Know-How zur optischen Übertragung mit 40Gbit/s war ein wichtiges Argument für Lucent Technologies, den Standort Nürnberg zu stärken. Das Basis-Know-How wurde mit wesentlicher Unterstützung durch Photonik- und KomNet-Projekte aufgebaut.
- Siemens konnte Anfang des Jahres 2004 einen Auftrag zur Lieferung von WDM-ULH Systemen an AT&T und MCI platzieren. Einige Grundlagen für diese Systeme wurden in KomNet erarbeitet.
- Die Aktivitäten im Rahmen von MultiTeraNet haben wesentlich dazu beigetragen, den deutschen Standort als Marconi-Kompetenzzentrum für neue Netztechnologien und optische Übertragungstechnik zu etablieren und zu stärken. Die erarbeiteten Projektergebnisse bilden eine wichtige Basis für Marconis Produkte der nächsten Generation.
- Die ITU-T hat 2002 den Standard G.709 verabschiedet. Beiträge der Deutschen Telekom und deutscher Systemhersteller wurden im Rahmen von KomNet eingereicht.

3 Forschungsschwerpunkte

3.1 Flexible und dienstzentrierte Netz- und Knotenarchitekturen

3.1.1 Stand der Technik – Problemerkläuterung

Heutige optische Transportnetze sind mit elektronischen Knoten und WDM Punkt-zu-Punkt Übertragungssystemen aufgebaut und basieren überwiegend auf synchronen TDM-Transportprotokollen (SDH/SONET). Damit werden Sprach- und „Leased-Line“ Dienste mit hoher Dienstgüte und Zuverlässigkeit per Leitungsvermittlung übermittelt. Jedoch ist heute schon der IP-Verkehr dominant, also paketbasierter Datenverkehr hoher Dynamik, bei dem zunächst andere Anforderungen an die Transportnetze bezüglich Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Flexibilität und Skalierbarkeit vorliegen. Deshalb werden schon vielfach getrennte IP-Backbonenetze mit leistungsfähigen Routern genutzt, um sich diesen neuen Anforderungen zu stellen. Eine solche Trennung der Netze verursacht jedoch erhöhte Kosten sowohl für die Ausrüstung (CAPEX) als auch den Betrieb (OPEX) der Netze.

Wichtigste Eigenschaften der Netztypen:

- **SDH/SONET-Netze**

- Vorwiegend genutzt für Sprach-, Echtzeit und „Leased-Line“ Dienste
- Verkehrszunahme stagniert
- Hohe Dienstgüte und Zuverlässigkeit (99,999%)
- Leitungsvermittelt, relativ statische Netzkonfiguration, schwierig an dynamische Verkehrsanforderungen anzupassen
- Geringe Kosten für Netzausrüstung
- Umfassendes und komplexes Netzmanagement, Überwachung, Schutzschaltungen usw.
- Aufwendige Multiplexhierarchien und vielschichtige Protokolle
- Haupteinnahmequelle der Netzbetreiber

- **IP-Backbonenetze**

- Ausschließlich genutzt für Datendienste
- Konstant hohe Steigerungsraten des Verkehrsaufkommens, derzeit schon deutliche Dominanz über Sprachverkehr
- Fehleranfällig, geringe Zuverlässigkeit und Dienstgüte
- Paketvermittelt, sehr flexible Netzkonfiguration, einfache Anpassung an dynamische Verkehrsanforderungen
- Relativ hohe Kosten für Netzausrüstung (Router-Port = 5-6fach teurer als Crossconnect-Port), schlecht skalierbar für die hohen Steigerungsraten des Knotendurchsatzes
- Nur einfache Netzmanagement- und Überwachungsfunktionen
- Einfache und flache Hierarchien, aber komplexe und fehleranfällige Routingprotokolle
- Relative geringe Einnahmen für Netzbetreiber

3.1.2 Neue Anforderungen und Trends

Die Anforderungen an zukünftige optische Transportnetze werden also wesentlich vom Kostenaspekt getrieben, da die Erlöse der Netzbetreiber immer noch überwiegend aus den sprachbasierten Diensten und nicht aus den dominanten Datendiensten stammen. Stellt man die unterschiedlichen Eigenschaften der Netztypen, den stark wachsenden Datenverkehr und die Kostenfaktoren gegenüber, so entsteht also akuter Handlungsbedarf für eine Evolution der Transportnetze. Zum einen könnten neue Datendienste mit garantierter Dienstgüte und Zuverlässigkeit und/oder neue Tarifierungsmodelle (Pauschaltarife, Flat-Rates) einen Ausweg darstellen. Andererseits könnte auch die Architektur der Transportnetze so angepasst werden, dass TDM- und paketbasierte Dienste gleichzeitig und höchst effizient übermittelt werden können. Das führt uns zu neuartigen Konzepten und Technologien, die bei hoher Dienstgüte und Zuverlässigkeit für TDM-Dienste mehr Flexibilität und Skalierbarkeit in die Netze bringen, um die Charakteristiken und das schnell wachsende Volumen der paketbasierten Dienste bewältigen zu können. Das geht natürlich nicht ohne neuartige Steuerungs- und Managementlösungen für solche Multi-Service/Multi-Layer-Netze, um den Aufwand zu reduzieren, die Netze zu vereinfachen und zu automatisieren und auch um durchgängig hohe Ende-zu-Ende Dienstgüten für TDM- und Paketdienste zu gewährleisten.

Abbildung 4 zeigt ein mögliches Evolutionsszenario optischer Transportnetze, das den Einsatz verschiedener Technologien beschreibt, um speziell auf die Anforderungen des Datenverkehrs bezüglich Flexibilität und Durchsatz einzugehen. Wir sehen in den kommenden Jahren neben der Evolution der heutigen SDH/SONET-Netze zu mehr Flexibilität und Automatisierung (z.B. ASTN, ASON, GMPLS) auch die Einführung neuartiger (optischer) Burst- und Paket-Techniken.

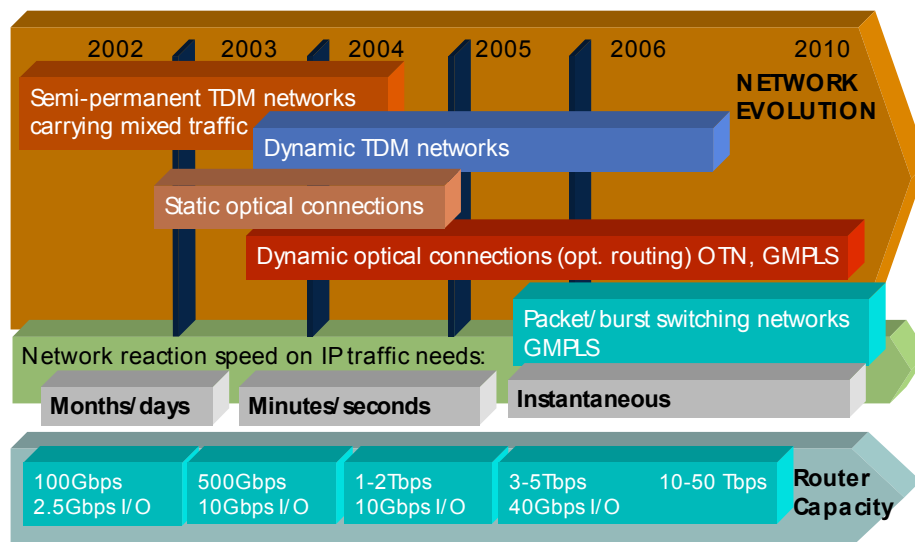


Abbildung 4: Evolution der optischen Transportnetze

Leitungsvermittelte Netze sind im allgemeinen recht gut skalierbar, einfach zu betreiben und zu überwachen, aber bei hoher Netzdynamik ungünstig bei der Dimensionierung und flexiblen Anpassung an dynamische Verkehrsanforderungen. Reine IP-Netze auf der anderen Seite bieten zwar gute Flexibilität und Ausnutzung der Netzressourcen, sind aber schlechter skalierbar, weniger zuverlässig und relativ teuer. Burst- und Pakettechniken als neuartige Layer 2-Transportprotokolle können hier als Ergänzung zur Leitungsvermittlung kostengünstige, effiziente und flexible Lösungen aufzeigen. In solchen hybriden Knotenarchitekturen kann auch der Einsatz neuer optischer Technologien vorteilhaft sein. Auch der Einsatz verbesserter

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

Ethernet-Protokolle (Carrier Grade Ethernet) in Metro- und Kernnetzen muss in diesem Zusammenhang betrachtet werden.

Für schichtenübergreifende Steuerungs- und Managementverfahren werden derzeit schon integrierte Ende-zu-Ende-Lösungen und auf GMPLS basierende Ansätze diskutiert.

3.1.3 Resultierende Fragestellungen

- Roadmap für die Evolution und Konvergenz der Netze aus europäischer Sicht
- Auswirkungen von sehr vielen mobilen Verkehrsquellen auf das Netz. (Verkehrs)modell, das das Verhalten von sehr vielen gleichzeitig aktiven IP-Nutzern simuliert (Festnetz, Mobilnetz, Zugangstechniken); Tools und Entscheidungskriterien
- Integrierte IP/TDM/OTN-Netze mit neuartigen Burst/Paket-Techniken? (Neuer Layer 2-Transportdienst, „Bypass“-Switching des Transitverkehrs, Planungs- und Design tools,...)
- Netzrekonfiguration: welche Auslöser? wie schnell? In welchen Netzsegmenten? welcher Umfang?
- In welchen Netzbereichen wird Netzynamik unter welchen Randbedingungen und Voraussetzungen in welchem Maße benötigt?
- Wie flexibel muss und wie komplex darf ein Netz sein? (Bedienbarkeit, Automatisierungsgrad, Kosten, Sicherheit, Stabilität, Flexibilität vs. sehr hohe a-priori Bandbreite)
- Tiefgehendes Verständnis für die Auswirkungen von Protection, Restoration, Rerouting. Welche Methoden lassen sich für den praktischen Netzbetrieb ableiten?
- Sinnvoller Einsatz optisch transparenter Systeme in den Netzen (Flexibilität, Robustheit, Dynamik..)?
- Auswirkungen von neuen (optischen, elektrischen, o/e) Komponenten auf Netz- und Systemarchitektur/-design/-test/-kosten (z.B. Regeneratoren, Netzwerkprozessoren, High-Speed Module...) und programmierbare/rekonfigurierbare Hardware-Architekturen

3.1.4 Notwendigkeit der nationalen Förderung

Die Fragestellungen nach zukünftigen Netz- und Knotenarchitekturen mit den vorwiegend neuartigen Ansätzen erfordern umfassende Forschungsaktivitäten auf breiter industrieller und universitärer Basis, um wirtschaftlich und technisch tragfähige Lösungen im nationalen und europäischen Rahmen zu erarbeiten, diese mit entsprechendem Gewicht in internationalen Standardisierungsgremien zu vertreten und somit eine erfolgreiche Markteinführung zu ermöglichen.

3.2 Management- und Steuerungskonzepte für Netze und Dienste

3.2.1 Stand der Technik – Problemläuterung

Neben der Bereitstellung einer kosteneffizienten und flexiblen Infrastruktur für den Teilnehmerzugang erfordert die Umsetzung einer solchen Vision vor allem Kern- und Metronetze, die als Multi-Service-Netze der nächsten Generation (NGNs) die kostengünstige Bereitstellung bereits existierender Schmalbanddienste und zugleich neuer, breitbandiger Multimedia-Anwendungen, garantierte Ende-zu-Ende Dienstqualität, standardisierte Schnittstellen, Flexibilität, Zukunftssicherheit, Skalierbarkeit und Intelligenz gewährleisten müssen.

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

Während als genereller Trend eine starke Zunahme paketbasierter gegenüber verbindungsorientierten Diensten auszumachen ist (auch traditionell verbindungsorientierte Dienste werden zunehmend „paketisiert“, so z.B. die Sprachübertragung mittels Voice-over-IP VoIP), so sind dennoch Telekommunikationsnetze heute gekennzeichnet durch eine Vielfalt von Netztechnologien (WDM, OTN, SDH, PDH, ATM, Frame Relay, Ethernet, IP, PSTN) und heterogenen Netzarchitekturen. Die Berücksichtigung bereits bestehender Netze ist ein Erfordernis bei Weiterentwicklungen, um bereits getätigte Investitionen und etablierte Einnahmequellen zu schützen. Die übergreifende Nutzung von unterschiedlichen Netzstrukturen für breitbandige Ende-zu-Ende-Dienste erfordert aus diesem Grund einen generischen Ansatz, der weitgehend unabhängig von den verwendeten Netztechnologien sein muss.

In heutigen Metro- und Kernnetzen sind die Kosten für den Netzbetrieb typischerweise über die Zeit gesehen um ein Vielfaches höher als die Kosten der Infrastruktur. Die Möglichkeit, einem Endnutzer kostengünstig einen breitbandigen Zugang anbieten zu können und damit bestehende Engpässe im Metro- und Zugangsbereich aufzulösen, hängt neben Technologiefragen deshalb entscheidend davon ab, den Netzbetrieb kostengünstiger und einfacher zu gestalten. Dem Management und der Steuerung von Netzen und Diensten kommt damit eine zentrale Bedeutung bei der Definition und Realisierung von NGNs zu.

In heutigen Netzen besteht ein großer Unterschied im Betrieb von Transport- und Datennetzen. Während Datennetze verteilte Protokolle für Switching & Routing verwenden und in der Regel weitgehend automatisiert mit wenig externer Kontrolle und Eingriffsmöglichkeiten durch Managementsysteme arbeiten, werden Transportnetze traditionell über ein zentrales Managementsystem kontrolliert und relativ statisch konfiguriert.

Aktuell werden weltweit in verschiedenen Standardisierungsgremien Ansätze diskutiert (s.u.), um verteilte Kontrollprotokolle aus der Datenwelt in angepasster Form auch in die Transportwelt einzuführen und so Möglichkeiten für eine vereinheitlichte Netzkontrolle in konvergierenden Transport- und Datennetzen zu eröffnen. Stichworte sind hier Multi-Protocol Label Switching (MPLS: eigentlich ein Protokoll aus der Datentechnik) und seine verallgemeinerte Form Generalised Multi-Protocol Label Switching (GMPLS). Lösungen für sogenannte Automatically Switched Transport Networks (ASTNs) oder Automatically Switched Optical Networks (ASONs), d.h. Transportnetze, die diese Protokolle für eine verteilte Netzsteuerung nutzen, sind als erste Implementierungen von Systemherstellern verfügbar und durchlaufen derzeit Interoperabilitätstests und Tests bei Netzbetreibern. Die funktionale Aufteilung der Netze in Transportebene (Transport Plane – TP), Steuerungsebene (Control Plane – CP) und Managementebene (Management Plane – MP) nebst der zugehörigen Schnittstellen kann untenstehender Abbildung 5 entnommen werden.

Die Konsequenz aus solch einem Ansatz ist, dass die vormals von zentraler Stelle aus statisch konfigurierten Netze autark, intelligent, dynamisch, aber auch komplexer in ihrer zunehmend verteilten Steuerung werden. Zudem wird auch eine entsprechende Überwachung und Konfiguration der verteilten Steuerung erforderlich. Gleichzeitig bietet dieser Ansatz das Potential, den Netzbetrieb stärker zu automatisieren, auf Laständerungen und neue Bandbreitenanforderungen schneller zu reagieren sowie Daten- und Transportnetze stärker zu integrieren.

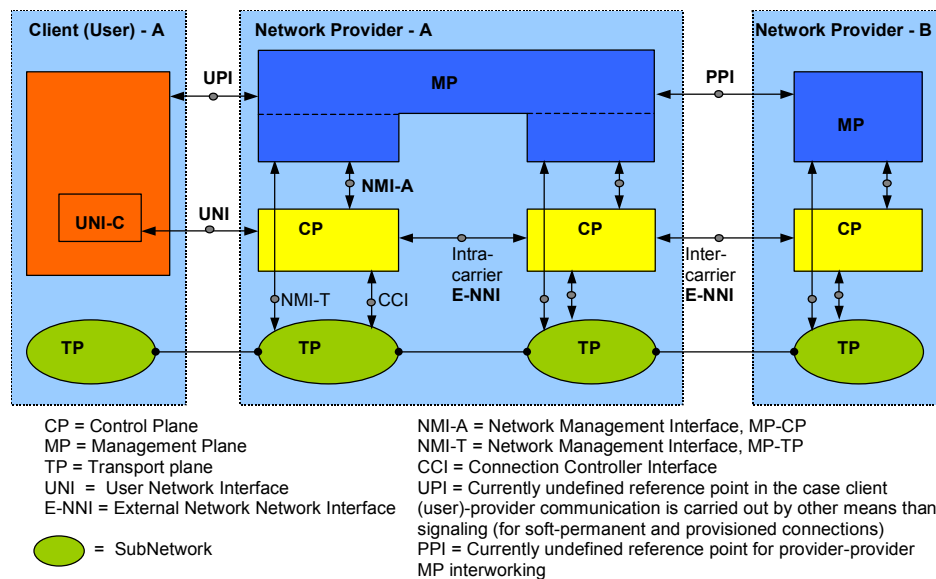


Abbildung 5: Optisches Netz mit Management-, Steuerungs- und Transportebene und zugehörigen Schnittstellen [Quelle: EU-Projekt NOBEL]

3.2.2 Neue Anforderungen und Trends

Während in der Vergangenheit Transportnetze überwiegend TDM-Dienste bereitgestellt haben, ist in jüngster Zeit ein starker Trend zu Ethernet-basierten Diensten wie Ethernet Private Line (EPL), Ethernet Virtual Private Line (EVPL), Ethernet Private LAN (EPLan), Ethernet Virtual Private LAN (EVPLan) zu beobachten. Damit rücken Layer 2-Funktionalitäten wie Aggregation und statistisches Multiplexen in das Transportnetz, die in der Vergangenheit separat in Datennetzelementen angesiedelt waren. Es ist zu erwarten, dass sich dieser Trend in der Zukunft noch weiter verstärkt und dazu führen wird, dass z.B. Metro-Netze zu routerlosen Paketnetzen mit Layer 2 Ende-zu-Ende Transport migrieren, wenn dort eine angemessene Dienstqualität und OAM-Funktionalität (OAM – Operation, Administration, Maintenance) erreichbar sind.

Es ist darüber hinaus anzunehmen, dass die heute oftmals praktizierte Verwendung von VLAN-Tags für die Unterscheidung von Diensten und die Verkehrslenkung durch MPLS/GMPLS-Funktionen ergänzt und möglicherweise auch übernommen wird. Die Evolution von MPLS vom Kernnetz hin zu den Rändern des Netzes wird die Einführung von neuen Diensten wie MPLS Permanent Virtual Circuits (PVC) und Soft Virtual Circuits (SVC) auf Ethernet-Basis vorantreiben, die über ein User Network Interface (UNI) vom Benutzer- bzw. von externen Geräten dynamisch eingerichtet und konfiguriert werden können.

Die Verwendung von VLAN Tags oder MPLS Labels erlaubt nicht nur die Unterscheidung von Diensten, sondern liefert auch die Voraussetzung für eine den Dienstanforderungen angepasste Bearbeitung der Daten. Um eine ausreichende Dienstqualität sicherstellen zu können, muss die Überlastung einzelner Netzelemente verhindert werden. Unterschiedliche Strategien werden hierfür angewandt. Ein konsequentes „Over-Provisioning“ wird heute häufig im Kernnetz eingesetzt. Es ist fraglich, ob sich dieser Lösungsansatz auch im deutlich kostensensitiveren Metro-Netz durchsetzen kann. Hier werden Verfahren diskutiert, welche die Netzauslastung begrenzen indem die vereinbarte Bandbreite am Netzrand überwacht und bei Bedarf auch begrenzt wird. Alternativ kann auch auf Ebene der Netzelemente eine Überlastung des Netzes

vermieden werden, indem beim Verbindungsaufbau jeder Switch/Router die notwendigen Ressourcen für den betreffenden Dienst reserviert.

3.2.3 Resultierende Fragestellungen

Aus den vorangegangenen Ausführungen ergibt sich, dass der gegenwärtige Stand der Technik und die sich abzeichnenden neuen Anforderungen und Trends eine Vielzahl von technischen Punkten offen lassen, die vor einer flächendeckenden Einführung neuer Steuerungs- und Managementkonzepte für NGNs einer Klärung bedürfen. Zu diesen Punkten gehören:

3.2.3.1 Netzmanagement und -steuerung (Network Management & Control)

- Einführungs- und Migrationszenarien für verteilte Netzsteuerungsfunktionalität; Zusammenwirken mit dem (bereits existierenden und weiterhin erforderlichen) zentralen Netzmanagement
- intelligente Aufteilung der Funktionsblöcke in zentrale und verteilte Elemente sowie deren Lokalisierung (in Management- und Steuerungsebene)
- Zusammenwirken zwischen Management-, Steuerungs- und Transportebene an den internen und externen Schnittstellen, Definition von PPI und UPI
- Weiterentwicklung von GMPLS/ASON/ASTN und deren Zusammenwirken mit MPLS
- OAM Verfahren für GMPLS und MPLS
- Protokoll-Skalierbarkeit und Domänenbildung
- ASTN-Funktionalität in multi-layer/multi-technology/multi-tier/multi-domain/multi-vendor Netzen
- Verkehrs- und Dienstgüteüberwachung an internen und externen Netzschnittstellen
- Management, Kontrolle und Koordination konkurrierender Netzschutzmechanismen wie z.B. Layer 1 Protection & Restoration, MPLS FRR, IP Fast Convergence
- Garantie von Netzsicherheit, Schutz vor Missbrauch und Anschlägen durch Schutz externer Netzschnittstellen
- Methoden zur Sicherstellung von Qualitätsanforderungen speziell in hybriden Netzen (Ethernet/SDH) und in Multi-Layer Netzen (MPLS over ASTN/GMPLS)
- Offene Schnittstellen zu Operational Support Systemen (OSS)

3.2.3.2 Verkehrslenkung (Traffic Engineering)

- Zusammenwirken von Bandbreitenanforderungen (Paketen) am Netzrand und aggregierten Signalen (TDM, Paketen) im Kernnetz
- optimierte Verkehrslenkungs- und Aggregierungsmechanismen, insbesondere für multi-layer/multi-technology/multi-tier/multi-domain/multi-vendor Netze
- Ressourcen-Ausgleich und Netzdefragmentierung
- Auswirkungen von zukünftigen Applikationen (z.B. Mobilität, Multicast, asymmetrische Verkehrsströme) auf Verkehrsverhalten und Netzbetrieb

3.2.3.3 Dienstemanagement & -kontrolle

- Einführungsszenarien für neue dynamische Dienste
- Fakturierung und Abrechnung dynamischer Dienste
- Ende-zu-Ende Dienstbereitstellung, -management und -kontrolle

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

- Berücksichtigung neuer Anforderungen z.B. durch sitzungsbasierte Dienste, AAA für UNI
- Überwachung und Einhaltung von Dienste-Parametern

3.2.3.4 Netzemulation und Softwarewerkzeuge/-technologie

- Softwarewerkzeuge und –verfahren zum Design und zur Planung neuer, verteilt gesteuerter dynamischer Netze (Planung für Daten- und Steuerungsebene)
- Netzemulatoren zum Test neuer verteilter Kontroll- und Managementfunktionen in großen Netzen
- Werkzeuge für Hintergrundoptimierung von Verkehr, Schwachstellenanalyse und Analyse von Fehlerszenarien in Netzen
- Management-Plattformen basierend auf mobilen Code-Frameworks (z.B. Java)
- XML-basierte Craft Terminals
- Dienstorientierte OSS-Architekturen

Darüber hinaus müssen gleichzeitig auch wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt werden. Insbesondere geht es hier darum, die Kosten der Einführung von mehr Intelligenz im Netz den Vorteilen und erreichbaren Einsparungen im Netzbetrieb gegenüberzustellen. Diese Fragestellung ist übergreifend auch mit der zentralen Netzarchitekturfrage verknüpft, inwieweit ein kostengünstiger massiver Bandbreitenausbau in bestimmten Netzbereichen ohne eine intelligente Netzsteuerung vorteilhafter sein könnte, als eine aufwändige Verbesserung der Ausnutzung der vorhandenen Bandbreite. Ziel ist es, die optimale Kombination aus Bandbreite-Ausbau und Verbesserung der Netz- und Verkehrssteuerungsmechanismen zu finden.

3.2.4 Standardisierung und europäische Forschung

Standardisierungsaktivitäten zu Netzmanagement- und -steuerung von NGN's findet in verschiedenen Standardisierungsgremien statt, namentlich in ITU-T, OIF, MEF, IETF and TMF.

In der ITU-T werden die relevanten Fragen hauptsächlich in der ITU-T SG15 "Optical and other transport networks" und ITU-T SG13 "Multi-protocol and IP-based networks and their interworking" adressiert. Hervorzuheben sind hier insbesondere die Empfehlungen ITU-T Rec. G.8080 "Architecture for the Automatically Switched Optical Network (ASON)" und ITU-T Rec. G.807, „Requirements for the Automatically Switched Transport Network (ASTN)“, sowie auch Empfehlungen, die speziell Ethernet-Transport betreffen.

Die Anforderungen und der Funktionsumfang von UNI and NNI werden im Optical Internetworking Forum (OIF) spezifiziert, und sowohl IETF als auch ITU-T werden die dort erarbeiteten Empfehlungen übernehmen. Neben anderen relevanten Aktivitäten aus den Bereichen OAM und Signalisierung wird im OIF aktuell gerade an einem erweiterten UNI gearbeitet (UNI 2.0), das neben SDH- und OTN-Signalen auch Ethernet auf der Daten/Transportebene zulässt. Darüber hinaus führt das OIF wichtige Demonstrationen und Interworking-Tests durch, in diesem Jahr schwerpunktmäßig zum Testen des E-NNIs sowie zur effizienten und interoperablen Aggregation von Ethernet-Diensten mittels Generic Framing Procedure (GFP) in SDH/SONET-Verbindungen. Wie schon bei vergangenen Tests, so sind auch in diesem Jahr deutsche und europäische Partner beteiligt.

Das Metro Ethernet Forum (MEF) hat sich zum Ziel gesetzt, optische Ethernet-Lösungen in Metronetzen voranzubringen und zu spezifizieren. Das MEF beschäftigt sich mit der Definition von Ethernet-Diensten und des UNI.

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

Die Internet Engineering Task Force (IETF) behandelt in ihren Arbeitsgruppen, insbesondere CCAMP (Common Control and Measurement Plane) and IPO (IP over Optical) Themen wie z.B. Generalized Multiprotocol Label Switching (GMPLS) [RFC3471].

Das TeleManagement Forum (TMF) beschäftigt sich in den NGOSS (New Generation Operation Support Systems) und MTNM (MultiTechnology Network Management) Initiativen mit Rahmenlösungen für Netzmanagement und Netzbetrieb.

Auf europäischer Ebene sind die oben genannten Themen teilweise in den Projekten des 5. Forschungsrahmenprogramms (LION, TEQUILA) bearbeitet worden. Eine Fortführung dieser Arbeiten ist im 6. Rahmenprogramm im Projekt NOBEL geplant.

3.2.5 Notwendigkeit einer nationalen Förderung

Der weitere Ausbau der Systemführerschaft für mobile Informations- und Kommunikationssysteme sowie die Entwicklung von weltweiten Standards für die Netze der Zukunft ab 2004, beide explizit als Ziele im Aktionsprogramm Informationsgesellschaft 2006 des BMWA und BMBF genannt, sind untrennbar mit weiteren F&E-Arbeiten im Bereich der Steuerung und Kontrolle von Kern- und Metronetzen verknüpft. Die Durchführung dieser Arbeiten erfordert ein starkes Engagement der deutschen Industrie- und Betreiberpartner, das aufgrund des hohen Risikos und der vorwettbewerblichen Ausgangssituation ohne eine finanzielle Zuwendung von Seiten des BMBF nicht möglich ist. Aufbauend auf dem Know-how der erfolgreichen Vorgängerprogramme Photonik I/II, KomNet und MultiTeraNet und unter Beteiligung großer, in Deutschland ansässiger Firmen wie Siemens, Lucent, Alcatel, Marconi, DTAG, Arcor, KMUs und Forschungsinstituten/Universitäten ist es in Deutschland gelungen, ein signifikantes Technologiewissen aufzubauen, welches die Strategie von Produkten maßgeblich beeinflusst. Eine weitergeführte Förderung sollte die Kontinuität in den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sicherstellen und eine Umsetzung in NGN-Produkte anbahnen.

3.3 Kostengünstige und robuste optische Übertragungstechnik für den Weitverkehrs- und Metrobereich

3.3.1 Stand der Technik – Problemläuterung

Wie bereits in Kapitel 3.1 und 3.2 dargestellt sind heutige optische Kernnetze primär für den Transport von Sprachverkehr ausgelegt und arbeiten weitgehend statisch. Eine Umkonfiguration optischer Transportkanäle stellt die Ausnahme dar und erfordert manuelle Eingriffe. Zwar ist in eingeschränktem Maß das Hinzufügen oder Abschalten einzelner Kanäle möglich, eine ständige Änderung der Konfiguration, das mit dem gleichzeitigen Schalten vieler Kanäle einhergeht, unterstützen heutige Systeme aber nicht. Die Sender- und Empfängerkonzepte sowie die Streckenausattung sind entsprechend für den statischen Fall ausgelegt. Die Dynamisierung der optischen Netze nach den weiter oben beschriebenen Szenarien erfordert zukünftig auch eine Streckenauslegung die tolerant ist gegenüber sich ändernden Verhältnissen sowie eine Flexibilisierung der Sender und Empfänger. Statische aber gegenüber Schwankungen von Parametern wie Dispersion robuste Konzepte, wie sie derzeit bereits angestrebt werden, werden im Zuge steigender Dynamik im Netz an ihre Grenzen stoßen, so dass der Bedarf an regenerativen Elementen zunehmen wird.

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

Die Marktentwicklung der letzten Zeit hat gezeigt, dass neben den technischen Eigenschaften noch stärker als in früherer Zeit wirtschaftliche Aspekte die Wettbewerbsfähigkeit von Übertragungssystemen bestimmen. Eine Reduktion der Systemkosten kann sowohl in der Entwurfs- und Entwicklungsphase als auch in der Produktionsphase erzielt werden. Heutige optische Sender- und Empfangsmodule für Hochgeschwindigkeitsübertragung sind häufig in manufakturartiger Fertigungsweise hergestellt, d.h. Systemhersteller produzieren diese mit sehr geringen Stückzahlen. Dem gegenüber steht der Trend, dass sich einzelne Firmen auf die Herstellung von Sende- und Empfangs-Subsystemen konzentrieren. Dadurch entsteht für diese ein Markt mit größeren Stückzahlen und der Möglichkeit zu rationeller Fertigung bei geringeren Kosten. Über die Aspekte der Dynamisierung und der wirtschaftlichen Randbedingungen hinaus ist der Stand der optischen Übertragungstechnik zu betrachten. Hier wurden in den letzten Jahren z.B. auf dem Gebiet der Nutzung der Faserbandbreite sowie zur Maximierung der Systemreichweite wesentliche Schritte unternommen. Beispielsweise wurde eine Vielzahl von alternativen Modulationsformaten entwickelt. Die Potenziale derartiger Neuentwicklungen werden in kommerziellen Systemen bislang nur sehr punktuell genutzt. Hier sind weitere Arbeiten nötig, um auch zukünftig einen Fundus an innovativen Konzepten bereitzuhalten, der die Realisierung neuer Produkte erleichtert.

3.3.2 Neue Anforderungen und Trends

Die aktuelle Hauptforderung an Netze der nächsten Generation und damit auch an die optische Übertragungstechnik ist neben der reinen Bereitstellung ausreichender Übertragungskapazität die Unterstützung dynamischer Anpassung der Netzkonfiguration. Eine hohe Auslastung und geringe Kosten des Kernnetzes ergeben sich nur dann, wenn dieses flexibel auf Änderungen des Kapazitätsbedarfs reagieren kann und die vorhandene Kapazität bedarfsoptimiert einsetzt.

Neben Anforderungen in bezug auf Netzsteuerung und Netzmanagement (Kapitel 3.2) gibt es auch auf der physikalischen Ebene eine Reihe von Effekten, die bei einer Steigerung der Dynamik die Übertragungseigenschaften der Systeme beeinflussen. Diese führen zu einer Verringerung der erzielbaren Reichweite oder engen die Flexibilität bei der Netzauslegung stark ein. Aktivitäten zur Verbesserung der Dynamikeigenschaften optischer Übertragungssysteme auf der physikalischen Ebene sind daher dringend erforderlich, damit die Systeme zukünftige Anforderungen erfüllen können. Dabei ist auf die Beibehaltung der im statischen Fall erzielbaren Übertragungsqualität zu achten.

Aufbauend auf den bereits erarbeiteten Grundlagen der Dimensionierung komplexer optischer Punkt-zu-Punkt Übertragungssysteme, besteht eine Herausforderung für die Entwicklung zukünftiger Systeme darin, die Vernetzung und Flexibilität in der optischen Schicht zu ermöglichen und zu unterstützen. Daher wird die Formulierung einer technologischen Zielvorgabe getrieben durch die gemeinsame Optimierung von Netzwerkaspekten (Robustheit, Flexibilität, Management), Kapazitäts- und Funktionalitätsanforderungen (Spektrale Effizienz / Metro-/Weitverkehr OADM/OXC, Wellenlängenmanagement, Entzerrung / Regeneration) sowie von ökonomischen Randbedingungen (Nutzung bestehender Infrastruktur, wie etwa der verlegten Fasern, bestehender Netzzugänge und Verstärkerstandorte, Standardisierte Schnittstellen).

Entsprechend der Komplexität der Gesamtaufgabe, erscheint eine Unterteilung in folgende Struktur mit spezifischen Anforderungen und zugehörigen Arbeitsgebieten zweckmäßig.

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

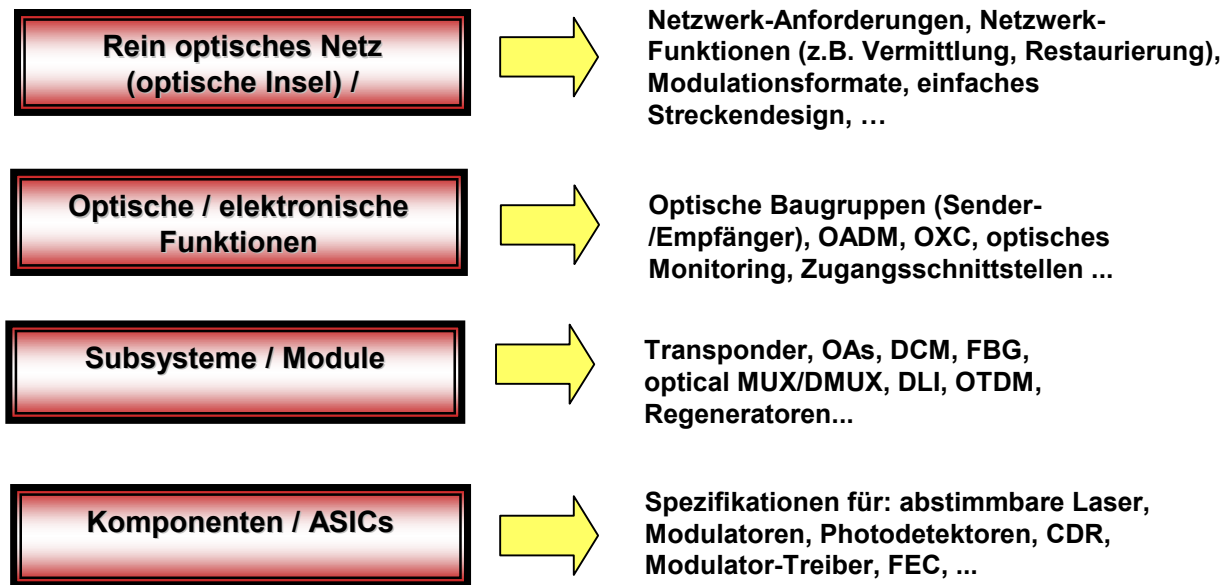


Abbildung 6: Strukturierung der Designaufgabe

Spezielle Anforderungen stellen dabei dar:

- Übertragungstechnische Unterstützung neuer Netzaspekte
- Optimierung optischer Transport-Schnittstellen hinsichtlich Flexibilisierung, Performance und Preis
- Erweiterung des Dynamik- und Toleranzbereichs durch optische Verstärker, optische und elektrische Entzerrer, FEC, sowie deren Zusammenwirken
- Optische Regeneration im Vergleich zu elektronischer Regeneration mit und ohne Überwachung der Signalgüte
- Realisierung schneller Regelungsalgorithmen sowie eine verbesserte Taktrückgewinnung / Rahmensynchronisation
- Erweiterte optische Funktionen (Tunable Laser, ROADM, OXC), Einfluss auf die Systemdimensionierung (Dispersionsmanagement, Streckenlänge, Margen) sowie die Spezifikation zugehöriger Komponenten
- Kostenreduktion bei hochbitratigen (10GbE/SDH, 40G VSR) Standard-Schnittstellen und Netzzugangs-Schnittstellen (Client interface).
- Verfügbarkeit von "compatible optics" für Multi-Vendor-Interworking, d.h. es muss sichergestellt werden, dass Subsysteme einzelner Systemhersteller untereinander kompatibel sind.

3.3.3 Resultierende Fragestellungen

Um die Herausforderungen an die optische Übertragungstechnik in Zukunft erfüllen zu können, ist Forschungs- und Entwicklungsarbeit in folgenden Bereichen nötig:

- Übertragungstechnische Verfahren zur Unterstützung der Flexibilisierung optischer Netze
- Verbesserung der Robustheit und Leistungsfähigkeit von Komponenten und Subsystemen
- Kostenoptimierung von Komponenten und Subsystemen
- Standardisierung

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

Im einzelnen ergeben sich damit folgende Fragestellungen und Aufgaben:

- *Modulationsformate*: Strukturierte Untersuchung der Vor- und Nachteile unterschiedlicher Modulationsformate hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit, ihres wirtschaftlichen Potenzials und ihrer Einsetzbarkeit in neuen Netzkonzepten. Definition von charakteristischen Kenngrößen und deren messtechnische Erfassung. Die Studie des Verhaltens unterschiedlicher Formate in Nachbarkanälen ist ebenfalls nötig. Hier sollen auch zukunftsweisende Konzepte sowie deren grundsätzliche Leistungsfähigkeit untersucht werden. Ansätze umfassen z.B. massive Parallelisierung zur Reduzierung von Geschwindigkeitsanforderungen und Bandbreitenbedarf.
- *Neue Verstärker- und Systemkonzepte*: Die heute eingesetzten optischen Verstärker können Pegelsprünge verbleibender Kanäle bei Schaltvorgängen nur teilweise unterdrücken. Bei Hintereinanderschaltung vieler Verstärker übersteigen die Pegelschwankungen zulässige Grenzen der Empfänger und es entstehen ungewünschte Effekte, z.B. durch stimulierte Raman-Streuung in der Übertragungsfaser. Neue Verstärker- und Systemkonzepte sollen untersucht werden, die eine Reduktion von Pegeltransienten unter zulässige Grenzwerte ermöglichen.
- *Zeitverhalten adaptiver Elemente*: Adaptive Elemente wie Empfänger mit geregelter Entscheiderschwelle oder adaptive Entzerrer erlauben eine Verbesserung der Systemeigenschaften. Durch die Dynamisierung optischer Netze ändern sich die Anforderungen an die Reaktionszeiten. Die neuen Anforderungen müssen ermittelt werden und es ist zu prüfen, inwieweit die bisherigen Konzepte für adaptive Elemente weiterzuentwickeln sind. In einigen Fällen müssen neue Ansätze zur Regelung adaptiver Elemente erarbeitet werden.
- *Robuste Übertragungsverfahren und flexibles Dispersionsmanagement*: In statischen Übertragungssystemen lassen sich die Wege einzelner Wellenlängen vorab planen und die Eigenschaften der Strecke genau ermitteln. Ein ständiges Umkonfigurieren des Netzes erfordert robuste Übertragungsverfahren, die mit einer Vielzahl nur ungenau bekannter Übertragungswege zurechtkommen. Weiterhin kann das Dispersionsmanagement entlang der Strecke nicht für einen definierten Anfangs- und einen definierten Endpunkt der Übertragung optimiert werden, sondern muss viele Übertragungswege ermöglichen. Es sollen robuste Übertragungsverfahren wie Modulationsarten, Konzepte für ein netztaugliches dynamisches Dispersionsmanagement sowie Verfahren zur Wiederherstellung der Signalqualität entwickelt werden, die sich besonders für das schnelle Umschalten von Kanälen und eine flexible Wahl von Übertragungswegen eignen.
- *Erhöhung von Robustheit und Performance*: Modulationsverfahren, adaptive optische und/oder elektronische Kanalverzerrung und digitale Signalverarbeitung (Fehler-Korrektur, FEC) sind leistungsfähige Mittel, um die Systemreserven bzw. Reichweiten optischer Übertragungssysteme und den Dynamikbereich für geschaltete optische Netze zu erhöhen. Ebenso ist die Erschließung neuer Übertragungsfenster voranzutreiben. Bei der Verbesserung der System-Performance und der Kostenoptimierung durch neue bzw. optimierte Technologien, Komponenten und Übertragungsverfahren sind die unterschiedlichen Anforderungen und Rahmenbedingungen für kurzreichweitige Anwendungen (VSR/SR) und Weitverkehrsanwendungen (LH/ULH) zu beachten.
- *Simulationswerkzeuge zur Untersuchung des Systemverhaltens und zur Systemauslegung*: Die heute kommerziell verfügbaren Simulationswerkzeuge erlauben die genaue Untersuchung vieler Effekte, sind aber sehr rechenintensiv und zeitaufwändig und decken Effekte im Zeitbereich von Millisekunden bis Mikrosekunden nur unzureichend ab (Beispiel

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

Taktrückgewinnung). Es müssen Simulationswerkzeuge entwickelt werden, die es erlauben, Effekte in dem genannten Zeitbereich mit zu berücksichtigen. Ferner werden für die Auslegung und Dimensionierung zu installierender dynamische Systeme und Netze Werkzeuge gebraucht, die schnelle Aussagen über das zu erwartende Verhalten ermöglichen.

- *Upgradefähigkeit*: Flexibilisierung der Netze bedeutet auch, dass Lösungen zum Einsatz kommen, die eine Übertragung von 10-G-Kanälen in 2,5G-Netzen und 40G-Kanälen in 10G-Netzen ermöglichen. Damit reduzieren sich Investitionen bei der Einführung neuer Dienste. Technisch kann dieses durch erhöhte Performance, wie effiziente Modulationsverfahren (z.B. höherstufigen PSK und QAM-Verfahren), FEC und Entzerrer (elektrisch / optisch) erreicht werden. Ferner ist für Upgradephasen eine Mischbelegung der Kanäle in Bezug auf die Kanalbitrate zu untersuchen.
- *Übertragungstechnische Gesichtspunkte*: Das Routing in Netzen, die Beschränkung durch Filter- und Verstärkerkaskadierung, die Akkumulation von nichtlinearen Effekten, Kompensierbarkeit von Signalverzerrungen durch Effekte höherer Ordnung ist dringend zu untersuchen.
- *Reduzierung der Kosten für Subsysteme*: Es ist zu untersuchen, inwiefern sich Effekte aus einer Vereinheitlichung von Schnittstellen innerhalb der Systeme und durch Volumeneffekte aufgrund höherer Stückzahlen ergeben und zur Kostenoptimierung genutzt werden können.
- *Abstimmbare Sender und Empfänger*: Wesentliche Bauteile für flexible Netze sind abstimmbare Sender bzw. Empfänger. Durch neue Technologien soll erreicht werden, dass diese als kostenneutrale Alternative zu nicht abstimmbaren Elementen angeboten werden können.
- *Entwicklung kostengünstiger Komponenten* für neue Modulationsverfahren (Sender, Empfänger), für FEC, und optischer sowie elektrischer Entzerrung.
- *Kostenoptimierung durch direkt modulierte Laser* mit niedriger Verlustleistung um eine hohe Packungsdichte zu erreichen , und durch neue Gehäusetechnologien (TOSA, ROSA).
- *Fortentwicklung optischer Verstärker* für neue Übertragungsbänder (z.B. S-Band).
- *Nutzung verbesserter Halbleitertechnologien* (Epitaxie, Design, Integration, Komplexität).
- *Verbesserung der HF Aufbau- und Gehäusetechnik* zur Kompaktierung der Aufbauten, zur Reduzierung der Kosten sowie zur Realisierung höherbitratiger Systeme (z.B. 100GbEthernet).
- Unterstützung der Standardisierungsarbeit für neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Komponenten, Systemschnittstellen und Verfahren
- Standardisierte Verfahren zur Ermittlung der Performanz von Entzerrern.
- Referenzstrecken/Szenarien für Dispersion der PMD etc.
- Einigung über die Fragestellung nach relevanten FIT – Raten und logistischen Verfahren zur Lockerung der Anforderungen.

- VSR Offene Systemarchitektur für Transponder (wie GBIC, etc?).

3.3.4 Notwendigkeit der nationalen Förderung

Die Ergebnisse der Arbeiten aus den Vorgängerprogrammen Photonik I / II, KomNet und MultiTeraNet haben die in Deutschland ansässigen Unternehmen im Bereich der Komponentenhersteller, der Systemhersteller sowie der Netzbetreiber in eine technologisch konkurrenzfähige Ausgangssituation gebracht. Um diesen Stand auch für die nächsten Jahre zu sichern, sind weitreichende Neu- und Fortentwicklungen durchzuführen. Ferner sind grundlegende Forschungsarbeiten vonnöten, um auch langfristig den hohen erreichten Stand zu sichern. Diese Arbeiten sind für die beteiligten Industrieunternehmen mit hohem Risiko verbunden, so dass ohne eine Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung diese Arbeiten nicht durchgeführt werden können. Für die beteiligten Forschungsinstitute und Hochschulen ist eine Durchführung der Arbeiten aus eigener Kraft ebenfalls nicht möglich. Aufgrund der Tatsache, dass viele der Arbeiten im vorwettbewerblichen Bereich angesiedelt sind, ergeben sich durch den regelmäßigen Kontakt bei Statustreffen, durch Kooperationen in querschnittsorientierten Arbeitsgruppen sowie durch direkte Projektzusammenarbeit Synergieeffekte, die die Projekteffizienz ebenfalls verbessern und langfristig den Entwicklungsstandort sichern.

3.4 Schlüsselkomponenten für Next-Generation Optische Netze

3.4.1 Stand der Technik- Problemerkläuterung

Der aktuelle Stand kann folgendermaßen charakterisiert werden: Die Übertragung über größere Entfernungen erfolgt mittlerweile ausschließlich optisch. Die Vermittlung ist dagegen weiterhin eine Domäne der Elektronik. Einzelkanalbitraten betragen gegenwärtig maximal 10 Gbit/s, 40 Gbit/s könnten zur Verfügung gestellt werden, wenn die entsprechende Nachfrage einsetzt. Router in den großen Netzknoten haben gegenwärtig einen maximalen Durchsatz von etwa 1 Tbit/s. Viele Komponenten oder Subsysteme sind gegenwärtig noch relativ teuer, und das ist vor allem für den Metro- und den Access-Bereich ungünstig, weil hier der sogenannte 'sharing factor' relativ klein ist. Ein Teil der hohen Kosten ist darauf zurückzuführen, dass viele Komponenten (speziell in (D)WDM-Systemen) thermoelektrische Kühler benötigen. Schließlich ist die Qualität der im Feld verlegten Glasfasern sehr unterschiedlich, die speziellen Eigenschaften sind sogar häufig nicht genau bekannt (z.B. Dispersion). In vielen Fällen ist deshalb eine relativ aufwendige Datenregeneration erforderlich (Kompensation der chromatischen Dispersion und/oder der Polarisationsmoden-Dispersion).

3.4.2 Neue Anforderungen und Trends

Die aktuelle Entwicklung von Komponenten und Subsystemen wird vor allem geprägt von der Forderung nach Kostenreduktion, während neue Funktionalitäten dagegen etwas weniger Raum einnehmen. 'Niedrigere Kosten' beinhaltet u.a.: niedrigere Chipkosten, niedrigere Systemkosten durch ungekühlten Betrieb der Komponenten, niedrigere Kosten durch einfachere und preiswertere Datenregeneration. Über kürzere Entfernungen, z.B. in Storage Area Networks, werden leistungsfähigere (und preiswertere) Systeme erwartet, wenn für den Einzelkanal höhere Bitraten verfügbar werden (80, 100 oder 160 Gbit/s). Die Degradation der Daten beim Transport über größere Entfernungen sollte durch (zu entwickelnde) fortschrittliche Modulationsverfahren (z.B. DQPSK) verringert, und die Datenregeneration sollte durch die optimale Kombination

elektrischer und optischer Verfahren möglichst effizient und preiswert realisiert werden. Für die Schnittstelle, an der Mobilfunknetze mit dem optischen Festnetz verbunden werden, werden leistungsfähige Komponenten benötigt. Schließlich wird prognostiziert, dass in Zukunft Router mit einem Gesamtdurchsatz von bis zu 100 Tbit/s benötigt werden. Dies erfordert einerseits die Entwicklung von Komponenten für die optische Signalverarbeitung (all-optical 3R-Regeneration, optische Wellenlängen-Umsetzer mit weitem Durchstimmbereich, z.B. über das komplette C-Band, L-Band, ...)

3.4.3 Resultierende Fragestellungen

Künftige F&E-Aufgaben orientieren sich an zwei einander ergänzenden Zielsetzungen: einerseits müssen Komponenten und Subsysteme entwickelt werden, die eine effiziente Verbindung von Mobilfunk- und faseroptischem Festnetz ermöglichen. Andererseits muss das Leistungsvermögen des Festnetzes erhöht werden, damit die ständig wachsenden Datenströme technisch und gleichzeitig kostengünstig bewältigt werden können.

Eine effiziente Kopplung zwischen Mobilfunknetzen und dem Festnetz erfordert die Entwicklung verschiedener elektrooptischer Schlüssel-Komponenten, z.B. O/E Wandler für in-door mm-Wellen-Funknetze im 60-GHz-Bereich (oder höhere Frequenzen), Komponenten für die Verteilung von mm-Wellen über Glasfasern, geeignete Wandler zwischen optischen und Millimeterwellen.

Wesentlich mehr F&E-Aufwand ist aber erforderlich, um das Festnetz den künftigen Anforderungen gemäß weiterzuentwickeln.

Faseroptische Kommunikationssysteme können erheblich kostengünstiger bereitgestellt und betrieben werden, wenn Sender und Filter für ungekühlten Betrieben geeignet sind. Laser sollten bis +85 oder +120 °C betrieben und bis zu 10 Gbit/s direkt moduliert werden können. Ungekühlte Laser im InP-Materialsystem erfordern einen Kanalabstand von (mindestens) 20 nm, d.h., sie sind nur für 'Coarse' WDM (CWDM) geeignet. Für acht Kanäle ist primär der Wellenlängenbereich von 1470-1610 nm, für 16 Kanäle der von 1270 bis 1610 nm vorgesehen. Dementsprechend werden neben den Sendern optische Verstärker für den gesamten Bereich benötigt. Forschungsthemen sind dementsprechend Faserverstärker, dotiert mit geeigneten Seltenen Erden, SOAs (z.B. als 'clamped amplifier' in verschiedenen Ausführungsformen möglich und primär für kürzere Reichweiten geeignet, z.B. in Metro-Netzen) oder Pumpquellen für Raman-Verstärker, wobei Mehrwellenlängen-Pumpen besonders aussichtsreich erscheinen.

Wenn trotz des Verzichtes auf thermoelektrische Kühlung der Sendelaser WDM-Systeme mit engeren Kanalabständen als 20 nm aufgebaut werden sollen, müssen alternative Laser entwickelt werden. Ein Beispiel für entsprechende F&E-Arbeiten wären hybride Fasergitter- ('fiber grating') Laser.

Eine universelle Komponente für zahlreiche Anwendungen stellt der Transceiver dar. Kompakte Komponenten mit einem möglichst universellen Konzept sind ein wichtiges F&E-Thema, weil durch viele Einsatzmöglichkeiten und dementsprechend hohe Stückzahlen Kostenvorteile erarbeitet werden können. Entwicklungsziele können sowohl monolithische als auch hybride Lösungen sein.

Hybride Komponenten und Subsysteme bilden einen weiteren wichtigen F&E-Komplex. Dabei geht es einerseits darum, eine möglichst universelle Plattform bereitzustellen (z.B. SOI, Polymere, ...) und andererseits Komponenten zu entwickeln, die für eine hybride Montage geeignet sind. Das umfasst einerseits die monolithische Integration von Modentransformatoren für eine effiziente

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

Ankopplung an die passiven Wellenleiter des optical board bei moderaten Justagetoleranzen (z.B. $> 1 \mu\text{m}$), andererseits sollten die Komponenten für die Flip-Chip-Montage geeignet sein.

WDM-Systeme mit engen Kanalabständen (100, 50, ggf. auch 25 GHz) werden auch in Zukunft eine wichtige Rolle spielen, selbst wenn keine geeigneten ungekühlten Sender verfügbar sind. Akzeptable Gesamtkosten lassen sich dadurch erreichen, dass die Temperatur möglichst vieler Sender von einem einzigen Kühler reguliert wird, und das ist durch den Einsatz von Mehrwellenlängen-Sendern erreichbar, die dementsprechend ein wichtiges F&E-Thema darstellen. Neben integrierten Mehrwellenlängen-Sendern (direkt-modulierbare Laser oder Laser+Modulator) mit integrierter passiver Combiner-Struktur oder Wellenlängen-Multiplexer/Demultiplexer und optischem Halbleiterverstärker sind auch Detektor-Arrays von Interesse, die ihrerseits monolithisch (oder hybrid) mit Wellenlängen-Demultiplexern integriert werden sollten. Aus Kostengründen sollten integrierte Sender bzw. Empfänger möglichst kompakt sein, andererseits gilt es, das elektrische, optische und auch thermische Nebensprechen hinreichend zu unterdrücken.

Vor allem für kürzere Entfernungen (z.B. Storage Area Networks) erscheint es attraktiv, langfristig Einzelkanal-Bitraten von 100 oder 160 Gbit/s einzusetzen. Optische Zeitmultiplex-Verfahren (OTDM) sind aus Kostengründen vermutlich kaum konkurrenzfähig, und deshalb müssen sowohl elektrooptische als auch elektronische Komponenten entwickelt werden, welche derart hohe Bitraten ermöglichen. Dazu gehören Modulatoren für 80, 100 oder 160 Gbit/s, und empfängerseitig sind dazu passende Breitbandempfänger hoher Responsivität erforderlich, gleichzeitig auch schmalbandige Detektoren mit interner Verstärkung für die Takt-Rückgewinnung im Bereich 80-100 Gbit/s. Außerdem erfordern kostengünstige Gesamtlösungen integrierte Umsetzer von 80-100 Gbit/s auf mehrere Kanäle mit niedrigerer Bitrate, z.B. $n \times 10 \text{ Gbit/s}$. Eng verwandt sind hochbitratige Empfänger und Komponenten für eine Taktrückgewinnung, die besonders schnell auf die Taktrate einrastet, so dass auch Datenströme mit ausgeprägt "burst"-artigem Charakter empfangen werden können.

Modulatoren für Bitraten im Bereich von 100 Gbit/s erfordern angepasste Treiberschaltungen auf der Basis von III/V Halbleitern (HBT, HEMT). (Si/Ge stellt wegen zu geringer Durchbruchfestigkeit keine tragfähige Alternative dar). III/V-Halbleiter allgemein und speziell InP bieten darüber hinaus die Möglichkeit, Multiplexer und Modulatortreiber monolithisch zu integrieren, wobei die Kombination von hoher Geschwindigkeit und hoher Durchbruchfestigkeit besonders leistungsfähige Komponenten erwarten lässt.

Unerwünschte Auswirkungen nichtlinearer Effekte in der Glasfaser können erheblich reduziert werden, wenn neuartige Phasenmodulationsverfahren (z.B. DQPSK) eingesetzt werden. Gleichzeitig führen diese Modulationsverfahren zu robusteren Systemen, die toleranter auf Variationen und Schwankungen von Betriebsparametern reagieren. Entsprechende Modulatoren und dazu passende Empfänger sollten deshalb entwickelt werden.

Chromatische und Polarisationsmoden-Dispersion werden auch in Zukunft erheblichen Einfluss auf die Qualität der Datenübertragung haben, nicht zuletzt, weil für eine lange Zeit optische Netze Fasern sehr unterschiedlicher Qualität besitzen werden. Aus diesem Grund sind adaptive Dispersions-Kompensatoren von Bedeutung. Darüber hinaus kommt es darauf an, sowohl elektrische als auch optische Verfahren zur Datenregeneration einzusetzen und eng aufeinander abgestimmt zu entwickeln. Auch hier sind die III/V-Halbleiter GaAs bzw. InP hinsichtlich Bandbreite und Geschwindigkeit dem Si/Ge überlegen und deshalb sollten Höchstgeschwindigkeitskomponenten auf III/V-Basis entwickelt werden. In diese Bauelement-Kategorie gehören auch Mixed-Signal Schaltungen (Mux/Demux) für 100 Gbit/s.

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

In dem Maße, wie der Datenverkehr insgesamt wächst, nehmen auch die Anforderungen an Router zu. Es gibt Erwartungen, dass in etwa fünf Jahren als Gesamtdurchsatz für einen einzelnen Router bis zu 100 Tbit/s gefordert werden. Die Realisierung dieser Forderung setzt die Verfügbarkeit verschiedener optischer Techniken voraus, z.B. optische 3R-Signalregeneration, rein-optische Wellenlängen-Umsetzung über mehrere 10nm, optische Inter-Chip-Verbindungstechniken. (Entsprechende Forschungsvorhaben werden in den USA bereits massiv gefördert, Projektpartner sind u.a. Cisco, JDS Uniphase, Stanford University.)

Schließlich wird gegenwärtig noch kontrovers diskutiert, in welchem Umfang photonische Kristall-Strukturen es ermöglichen, höher integrierte und äußerst kompakte Chips herzustellen, die speziell für Aufgaben der optischen Signalverarbeitung aussichtsreich erscheinen. Das Potential ist nicht einfach abzuschätzen, angesichts der erheblichen Fortschritte auf diesem Gebiet in den vergangenen Jahren und bei nach wie vor vorhandenem Interesse von Industriepartnern an dieser Thematik sollten entsprechende F&E-Vorhaben in einen nationalen Förderrahmen einbezogen werden.

3.4.4 Notwendigkeit der nationalen Förderung

(Vorlauf-)Forschung auf dem Gebiet der Komponenten für künftige Generationen optischer Netze wird von größeren Firmen in immer geringerem Umfang betrieben, weil den hohen Kosten kaum vergleichbare Erträge gegenüberstehen. KMUs sind mit entsprechender Forschung in der Regel ohnehin finanziell überfordert. Andererseits gibt es für Firmen, die nur über eine sehr beschränkte Technologie verfügen, oder die sogar 'fabless' sind, durchaus gute Marktchancen, wenn sie innovative Produkte auf den Markt bringen. Das setzt aber voraus, dass es einerseits in Deutschland grundsätzlich noch technologische Kompetenz gibt, und daß es darüber hinaus auch Design-Kompetenz gibt, ohne die eine 'fabless'-company nicht konkurrenzfähig arbeiten kann. Diese Marktchancen für Module, Subsysteme und vielleicht sogar auch innovative Systeme bestehen nur, wenn es weiterhin eine nationale Förderung auf technologischem Gebiet und auf dem Gebiet innovativer Komponenten gibt.

Ein weiterer Aspekt für nationale Förderung ergibt sich daraus, dass F&E-Vorhaben, wenn sie von Universitäten durchgeführt werden, sich auf die Demonstration der grundsätzlichen Machbarkeit einer Komponente oder auf die Demonstration einer Funktionalität beschränken. An dieser relativ frühen Stelle in der Wertschöpfungskette können KMUs aber in der Regel noch nicht ansetzen, weil der Weg zu einem Produkt noch zu weit (und damit zu kostenintensiv) ist. Nationale Förderung muß deshalb die Lücke zwischen Ergebnissen der Grundlagenforschung und Erfordernissen einer Produktentwicklung so weit schließen, dass KMUs die eigene Entwicklung beginnen können.

Die nationale Förderung muss auch sicherstellen, dass zumindest an einzelnen ausgewählten Orten so viel technologische Kompetenz vorhanden ist, dass fabless companies die Möglichkeit haben, von diesen nationalen technologischen 'centres-of-excellence' Wafer in begrenztem Umfang für eine erste Generation von Modulen und Subsystemen zu bekommen.

Nur eine nationale Förderung kann sicherstellen, dass Deutschland auch weiterhin weltweit in der technologischen Spitzengruppe bleibt und damit die Möglichkeit hat, mit innovativen Produkten kleinere oder auch größere Marktsegmente zu besetzen.

3.5 Techniken für den breitbandigen Teilnehmerzugang

3.5.1 Stand der Technik – Problemerkläuterung

- *Breitband-Festnetzzugang*: Privatkunden werden z. Zt. primär über ADSL versorgt; erste Ansätze für Zugangswege über Funk und Satellit bestehen, außerdem gibt es Absichten der Netzbetreiber zum Zugang über TV-Kabel mit Rückkanal. Die Kapazität bzw. der wirtschaftliche Erfolg der drei letztgenannten Alternativen sind begrenzt bzw. unsicher. Bisher gibt es im deutschen Raum nur Glasfaseranschlüsse für Privatkunden im Rahmen des OPAL-roll-outs für Schmalbanddienste. EWE wird ein erstes FTTH-Netz in Norddeutschland installieren.
- Geschäftskunden sind teilweise über Glasfaser mit 2 – 155 Mbit/s angeschlossen. Optische Freistrahl-Kommunikationssysteme (FSO) spielen derzeit praktisch keine Rolle.

Mobilfunk-Zugang findet über GSM statt, derzeit werden die UMTS-Netze ausgebaut. Die erwartete Datenrate bei UMTS liegt, abhängig von den topologischen Gegebenheiten, deutlich unter 2 Mbit/s pro Teilnehmer.

Private Inhouse-Netze nutzen in Deutschland derzeit das Telefonkabel oder Cat5-Ethernet. Ein starker Trend zur Nutzung von Funknetzen im Haus (WLAN und Bluetooth) ist zu beobachten.

Optische Übertragungstechniken bieten die höchstmögliche Kapazität für Zugangs- und Inhouse-Netze, sind aber derzeit in diesen Bereichen faktisch kaum vertreten. Der Hauptgrund hierfür liegt in den hohen Kosten für Komponenten und Verkabelung. Obwohl optische Komponenten seit langer Zeit für Longhaul- und Metro-Systeme entwickelt werden und bereits drastisch im Preis gesunken sind, liegen die Preise in der Regel für den Endteilnehmer noch deutlich zu hoch. Die hohen Kosten für die Verkabelung resultieren aus Verlegekosten sowie aus der Verbindungstechnik. Im Inhouse-Bereich sind die hohen und für die meisten Benutzer noch ungewohnten technischen Anforderungen an eine optische Infrastruktur ein weiterer Hinderungsgrund.

Insgesamt befindet sich die optische Übertragungstechnik im Zugangsbereich in einem Stadium, das mit „sowenig wie möglich, soviel wie absolut nötig“ beschrieben werden kann. Daraus resultiert, dass nur sehr einfache optische Netze realisiert werden. Gemessen an den technischen Möglichkeiten und gemessen an dem, was z.B. im Longhaul-Bereich implementiert wird, ist die Situation sehr unbefriedigend. Die Verwendung optischer Technologien beschränkt sich z.Z. überwiegend auf Geschäftskundenanschlüsse und auf die optische Anbindung von DLCs und DSLAMs an das Kernnetz sowie auf die Anbindung von Funk-Basisstationen. Redundante Netze, Einsatz von WDM-Techniken, flexible Verbindungstechniken etc. findet man in diesem Bereich noch nicht.

3.5.2 Neue Anforderungen und Trends

Neue Dienste erfordern höhere Bandbreiten, besonders video-basierte Dienste sowie Online-Spiele, höhere Bandbreite sowohl kontinuierlich (streaming video) als auch in der Spitze (interaktive Dienste)

- hybride Netz-Lösungen, bei denen die Optik näher zum Teilnehmer rückt (z.B. VDSL und weitere xDSL-Varianten).

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

- Backhauling von Funknetzen (zunehmender Bandbreite-Bedarf auch in den Funknetzen erfordert den Einsatz von mehr Antennen; die optische Anbindung vereinfacht den Anschluss der Standorte)
- WLAN-Techniken werden langfristig auch im Haus an die Grenze stoßen, insbesondere durch die zunehmende Vernetzung von Daten-Welt und Unterhaltungsmedien, die sich eine gemeinsame Infrastruktur teilen werden. Daher wird auch hier der Einsatz optischer Technologien erfolgen müssen.
- die in verschiedenen europäischen Initiativen („eEurope 2005“ der Europäischen Gemeinschaft oder „Rural Broadband“ des „House of Commons“) geforderte flächendeckende Bereitstellung von Breitbanddiensten zur Vermeidung gesellschaftlicher Nachteile der Bürger („digital divide“) führt zu der Notwendigkeit, Zugangstechniken bereitzustellen, die für verschiedene Regionen (städtisch, vorstädtisch, ländlich) optimiert sind. So kann im städtischen Bereich eine auf optischen Netzen beruhende Zugangstechnik, in ländlichen Gebieten dagegen eine auf breitbandigem Funkzugang beruhende Technik am wirtschaftlichsten sein. Nationale Gegebenheiten, z.B. Regulierung sind dabei zu berücksichtigen.

Neben diesen technischen Gründen werden auch wirtschaftliche Aspekte eine Rolle spielen bei der Einführung von optischen Systemen im Zugangsbereich. Durch Installation von beispielsweise FTTH-Netzen haben Telekommunikationsnetz-Anbieter die Möglichkeit, ihren Kunden eine attraktive Alternative zum TV-Kabel- oder Satelliten- bzw. Funkzugang anzubieten. Deshalb gibt es in den USA Aktivitäten einiger „Baby-Bells“, die Kooperationen mit System-Herstellern zur mittelfristigen Installation von FTTH-Netzen eingegangen sind. Der Vorstoß von Energieversorgungs-Unternehmen in diesem Bereich ist ähnlich zu bewerten.

3.5.3 Resultierende Fragestellungen

Kostensenkung im CAPEX und OPEX-Bereich durch

- kostengünstige Technologien für die Massenfertigung robuster optischer Komponenten, auch WDM-Komponenten und flexibel konfigurierbare optische Systeme.
- geringen bzw. keinen Energieverbrauch der optischen Komponenten, insbesondere für den Einsatz im Außenbereich, dabei Einsetzbarkeit über einen weiten Temperatur- und Feuchtigkeitsbereich
- einfache Verkabelungskonzepte, besonders in Bezug auf die Verbindungstechnik.
- Konzepte für einfache und robuste optische Inhouse-Verkabelung bis >1Gb/s, evtl. Ergänzung durch entsprechend fehlerresistente Protokolle
- Ergänzung und Erweiterung mit cleveren elektronischen Funktionen zur Kompensation von Übertragungsfehlern und Verzerrungen
- Entwicklung von Design-Tools für Komponenten und Netze, die die durch den Preisdruck bedingte Unzulänglichkeit der Komponenten und Netze berücksichtigen.
- Netzwerk-Management-Tools, die der zunehmenden Heterogenität der Netze Rechnung tragen und verschiedene physikalische und MAC-Layer berücksichtigen können

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

- Erarbeitung flexibler Zugangsnetz-Konzepte für die Bereitstellung von Breitbanddiensten für städtische und ländliche Regionen mit dem Ziel, aus den bekannten Zugangstechniken „Glasfaser“, „TV-Kabel“, „Satellitenfunk“, „Breitbandiger terrestrischer Funkzugang“, „mobiler Funkzugang (3G, WLAN)“ die jeweils wirtschaftlichste Topologie unter Berücksichtigung nationaler Randbedingungen zu finden. Dabei sind Fortschritte bei der Standardisierung (ETSI, IEEE) sowie Aktivitäten in Industriekonsortien zu berücksichtigen.
- Entwicklung effizienter Workflows, die das Design und die Erstellung heterogener Netze unter Einbeziehung von Faser-/FSO-, Kupfer- und Funk-Technologien vereinfachen

Einführung von mehr „Intelligenz“ und Sicherheit in die Netz-Infrastruktur:

- Kostengünstige Überwachung der Netze auf der optischen Ebene.
- Konzepte für flexible Umkonfigurierung optischer Verbindungen (z.B. auf Faser-Ebene oder auf WDM-Kanal-Ebene).
- Ersatzschaltungen auf der Faser-Ebene, ausgelöst durch Fehlererkennung auf der optischen Ebene.

Weitergehende Konzepte:

- Entwicklung von Zugangsnetzkonzepten mit Synergie aus der Kombination von Faser- und Funknetzen (Vernetzung der Funk-Basisstationen über optische Festnetze, Berücksichtigung der dabei möglichen Migrations- und Evolutionspfade, Einbeziehung von Ausfall- und Datenschutz)
- feinere Granularitäten optischer Kanäle unterhalb der WDM-Kanal-Definition (optische Verschlüsselungen, optisches VLAN)
- Konzepte für die Trennung von optischer Netz-Infrastruktur und den transportierten Diensten, was die Koexistenz mehrerer Dienste-Anbieter auf derselben Infrastruktur ermöglicht.
- einfache protokolltransparente Verbindung verschiedener optischer Netze bis hin zur Bereitstellung einer intelligenten Netz-Infrastruktur, die den Anschluß einfachster optischer Terminals erlaubt.

3.5.4 Notwendigkeit der nationalen Förderung

Weltweit ist derzeit ein wachsendes Interesse an optischen Technologien für den Zugangsbereich zu beobachten. Einerseits bedingt durch die zunehmenden Bandbreiten-Anforderungen der Dienste, die ein Näherrücken der Optik zum Teilnehmer in hybriden Faser-Coax/-Funk/-FSO-Netzen erforderlich macht; andererseits bedingt durch das Bestreben einiger Netzbetreiber, tatsächlich auch FTTH-Netze zu installieren. Hierbei ist der ostasiatische zusammen mit dem nordamerikanischen Raum derzeit führend. In Europa spielen die skandinavischen Länder eine Vorreiterrolle. Aber auch in Italien und Frankreich sind entsprechende Aktivitäten zu verzeichnen. Deutschland spielt hier derzeit noch eine untergeordnete Rolle. Hier sollte aber die deutsche Industrie zusammen mit den Hochschulen und Netzbetreibern bestrebt sein, bei der Entwicklung vorne dabei zu sein und auch Maßstäbe zu setzen; dieses sowohl im Hinblick auf die Entwicklung neuer Technologien als auch bei der Standardisierung. Eine gezielte Förderung kann hierbei einerseits helfen, die inhärent hohen Risiken in diesem noch schwach entwickelten

technologischen Bereich abzufedern, andererseits aber auch eingreifen, um die weitere technologische Entwicklung zielgerichtet zu steuern.

3.6 Konvergenz von Fest und Mobilnetz

3.6.1 Stand der Technik - Problemerkläuterung

Parallel zur Weiterentwicklung mobiler Netze geschieht auch eine Evolution der Festnetze in Richtung eines „Next Generation Network“. Bisher verliefen viele Entwicklungen in den Mobilnetzen und den Festnetzen getrennt. Zukünftig sind aus folgenden Gründen übergreifende Integrations- und Migrationskonzepte erforderlich:

- Die Kunden fordern durchgängige Dienste, unabhängig vom Zugangsmedium
- Aufgrund einer zunehmenden Breitbandigkeit mobiler Dienste steigen die Kapazitätsanforderungen in den mobilen und auch in den festen Netzen zukünftig stark an
- Die wachsende Heterogenität verschiedener Funknetz- und Festnetztechnologien kann nur durch übergreifende Konzepte beherrscht werden
- Einige „Wireless“ Standards (z.B. IEEE 802.x) benötigen ggf. unterstützende Funktionalitäten im Festnetz (abhängig von den Anwendungen)
- Die Festnetze entwickeln sich bzgl. breitbandiger Zugangsmöglichkeiten zunehmend „von innen nach außen“.

Um die verschiedenen heterogenen Funk(sub)netze, aus denen sich ein zukünftiges breitbandiges „mobiles Internet“ zusammensetzt, an das globale Internet anbinden und darüber hinaus vernetzen zu können, müssen von Seiten des Festnetzes geeignete Access-Netze, Metro-Netze und Core-Netze bereitgestellt werden. Die verschiedenen „Domains“ des Festnetzes sind dabei um Funktionalitäten zu erweitern, die eine möglichst einfache und durchgängige Nutzung von Diensten über verschiedene Funknetze und verschiedene Netzbetreiber hinweg unterstützen. Dienste in einem breitbandigen Internet zielen insbesondere auch auf die Versorgung dicht besiedelter Gebiete, so dass gerade bei universeller Nutzung punktuell sehr hohe Netzkapazitäten bereitgestellt werden müssen. Andererseits ist bereits heute zu erkennen, dass hochbitratige Festnetzzugänge in Zukunft auch in der Fläche verfügbar sein werden und flexible optische Transportplattformen für Transport und Verteilung auch sehr großer Datenmengen vorhanden sind. Hier sind Optimierungsregeln für die wirtschaftliche Integration beider Netzkomponenten zu ermitteln.

Der Wunsch nach Zugangsnetz-übergreifenden Diensten erzwingt unabdingbar die Entwicklung einer gemeinsamen Infrastruktur auch auf den höheren Schichten, die eine konvergierende Kontroll- und Managementstruktur mit einschließt. So erfordert ein netzübergreifender Dienst unter anderem eine gemeinsame Authentifizierungs- und Nutzerdatenbank, ohne die z.B. eine konsistente Rechnungsstellung nicht möglich wäre. Zu beachten ist allgemein, dass für netzübergreifende Dienste nicht nur ein best-effort (Internet-) Netzzugang zu gewährleisten ist. Viele Dienste benötigen dezidierte Dienstgüte- (z.B. Übertragungsbandbreite) und Ressourcenreservierungen, die netzübergreifend signalisiert werden müssen. Ebenso kann eine Diensteanpassung, die die Eigenschaften der jeweiligen Zugangsnetze und der genutzten Endgeräte berücksichtigt, notwendig werden.

3.6.2 Resultierende Fragestellungen

- Untersuchung der aus zukünftigen mobilen Netzen resultierenden Anforderungen an das Festnetz (Übertragungskapazitäten, Dichte der Übergabepunkte, ...)
- Kosteneffiziente Lösungen für die Realisierung der Funk/Festnetz–Schnittstellen und für Anbindung von Funknetzen über Basisstationen / Access Points / Ad hoc Gateways (einschl. „Wireless Optics“ und „Heterodyne Optics“) erarbeiten.
- Benötigte Architekturen und Funktionalitäten im Festnetz untersuchen, um auf IP-Ebene eine nahtlose, netzübergreifende Mobilität zu unterstützen (z.B. durch (hierarchical) Mobile IP oder SIP):
 - In welcher Domäne sind welche Funktionalitäten am sinnvollsten anzusiedeln?
 - Sind zentrale oder dezentrale Service Areas vorzuziehen?
 - Zusammenwirkung mit den systeminhärenten Mobilitätsmanagement-Funktionen (Layer 2) sind zu untersuchen.
- Erarbeitung von Konzepten für Serviceplattformen (zentral – dezentral), insbes. für die Bereitstellung, Adaption und Verteilung breitbandiger Multimediadienste unter Berücksichtigung der Nutzermobilität und dem Wechsel zwischen verschiedenen Netzen.
- Untersuchung von Evolutions- und Migrationskonzepten unter Berücksichtigung heutiger Netzstrukturen im Rahmen einer Gesamtnetz Betrachtung für die Weiterentwicklung der Netze, insbesondere
 - die Entwicklungspfade ausgehend von den heutigen Netzarchitekturen hin zu einer „seamless mobility“ mit nahtloser Service-Übergabe zwischen drahtlosen und festen Netzen
 - den Effekt auf Netzgestaltung und –konzepte bei einem weiteren Anstieg der Anforderungen
 - Das Sharing von Transmission Ressourcen für Festnetz und Mobile Carrier (z.B. Layer2 VPN für Mobile Carrier)
 - Die Multi Technology Netzarchitektur (z.B. Overlay Wireless Metro + Wired Metro)
- Erarbeitung von Konzepten zur Bereitstellung von Ende-zu-Ende-Qualität und der daraus resultierenden Anforderungen an die involvierten Funknetz- und Festnetzabschnitte (z.B. hinsichtlich Durchsatz, Delay, ...).
- Formulierung von Verkehrsanforderungen an das Festnetz, hier ist besonders der Effekt von Dynamik und lokaler Verteilung der Verkehrsströme durch massive Mobilität in einem Mobile Web zu berücksichtigen, ferner Anforderungen an Access und Metro Netze

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

aufgrund der veränderten Verkehrsstruktur (Pfad Bandbreiten, Topologie, Konfigurationsdynamik).

- Realisierung standardisierter Support-Funktionen zur netzübergreifenden Realisierung einfacher, effizienter und sicherer AAA-Funktionalitäten und Security-Mechanismen
- Übergreifender Support von Roaming und Billing (technisches Roaming, d.h. Teil des Mobilitätsmanagements und Roaming zwischen verschiedenen Netzbetreibern und/oder Diensteanbietern)

Die netzübergreifende Infrastruktur auf höheren Schichten muss auf Architektur- und Protokollebene definiert werden. Dabei ist Interoperabilität an den Grenzen zu anderen Betreibern und Teilnehmern zu gewährleisten. Zudem muss der geregelte Zugriff auf vorhandene oder noch zu entwickelnde Schnittstellen zur Einstellung der Ressourcen (z.B. Bandbreite) der Zugangsnetze ermöglicht werden.

Die Anforderungen an die Kontroll- und Signalisierungsstruktur sind beträchtlich hinsichtlich der Datenverarbeitungsleistung und Ausfallsicherheit, das wird oft von Datennetzbetreibern unterschätzt.

Zu untersuchen sind verschiedene Netzarchitekturkonzepte, die hohe Ausfallsicherheit mit Skalierbarkeit bei kosteneffizientem Betrieb bieten. Ein vielversprechender und zu erforschender Ansatz orientiert sich am Vorbild existierender 'Peer-to-Peer'-Technologien. Allgemein kreieren 'Peer-to-Peer'-Dienste *virtuelle Netze auf Applikationsebene* oberhalb des Internet-Protokolls (Overlays). Während die komplette Funktionalität bei zur Zeit gebräuchlichen 'Peer-to-Peer'-Diensten zumeist in den Endgeräten liegt, sind die Aufpunkte der Overlays der hier angestrebten netzübergreifenden Struktur in dezidierten Knoten im Betreibernetz zu sehen.

Zu bearbeitende Fragestellungen:

- Wie kann ein dienstespezifisches virtuelles Netz (Overlay) oberhalb des IP-Layers bei Bedarf aufgesetzt werden?
- Gewährt die solchen Overlays inhärente Redundanz und verteilte Funktionalität das Maß an Ausfallsicherheit, das benötigt wird?
- Bis heute vorgenommene Netzinvestitionen sollen so lange wie möglich ausgenutzt und das Risiko von Fehlinvestitionen muss minimiert werden. Inwieweit kann eine Overlay Strategie eine 'invest as you grow'-Strategie bedienen, wie sie zukünftig in stärkeren Maße von den Netz- und Dienstbetreibern nachgefragt werden wird?
- Sind Overlays durch sukzessives Erweitern mit Netzelementen inklusive deren Ressourcen grundsätzlich skalierbar?
- Das Routing in Overlays findet auf Applikationsebene statt: Teilnehmer oder Endgeräte besitzen symbolische Namen, sind also nicht an IP-Adressen gebunden. Unterstützt dieses Verfahren netzwerkunabhängige Mobilität des Dienstenutzers?
- Bieten Overlays prinzipiell eine geeignete Grundlage für 'hand-over'- und 'roaming'-Mechanismen neben den heute schon in Mobilnetzen verfügbaren Mechanismen?

In Zukunft werden Netzbetreiber vermehrt Dienste abseits des reinen Datentransports anbieten. Besonderes Kapital werden sie dabei aus ihrer herausgehobenen Position als Betreiber der

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

Netzinfrastruktur ziehen. Die Notwendigkeit, in kurzer Zeit verschiedenste Dienste zu entwickeln und auf dem Markt anzubieten oder entsprechende Korrekturen nach Auswertung der Erfahrungen am Markt durchführen zu können, setzt ein hohes Maß an Flexibilität und damit Programmierbarkeit der Dienstplattformen voraus.

Zu bearbeitende Fragestellungen:

- Wie lassen sich die auf Grund der Arbeiten zu „programmierbaren Netzen“ bisher gewonnenen Erkenntnissen für diese Art von Dienstplattform nutzen?
- Wie kann ein „Service Execution Environment“ basierend auf Overlay-Technologien verteilt realisiert werden?
- Um eine weitgehende Ortsunabhängigkeit zu gewährleisten, muss eine Dienstplattform über Grenzen von Netzdomänen unterschiedlicher Betreiber hinweg aufgesetzt werden können. Wie ist das zu gewährleisten?
- Inwieweit ist eine Standardisierung notwendig, um Interoperabilität zwischen verschiedenen Betreibern zu ermöglichen?
- Wie sind solche Dienste gegeneinander abzugrenzen, so dass eine gegenseitige Beeinflussung ausgeschlossen werden kann?
- Wie kann das execution environment an existierende Beschreibungssprachen für die Dienstlogik angepasst werden? In welcher Weise können Erfahrungen und Technologien aus existierenden Grid-Computing Ansätzen für die Implementieren von Funktionen auf verteilten Ressourcen instrumentalisiert werden.

Neben der technischen Innovation und Kostenoptimierung von Komponenten und Systemen muss auch die Gesamtnetzlösung, die Kombination von Mobile Web und leitungsgebundenen Netzen anwendungsbezogen techno-ökonomisch bewertet werden, um die wirtschaftlich optimale Netzstruktur zu finden. Die hierfür notwendigen typischen Anwendungsszenarien müssen auf der Basis von Ende-zu-Ende-Betrachtungen für verschiedenen Dienste erstellt werden („Dienstekorb“-Modelle). Dieses Vorgehensmodell setzt eine enge Abstimmung zwischen den einzelnen Forschungsschwerpunkten voraus, sichert aber gleichzeitig dadurch eine homogene Gesamtnetzbetrachtung. Die Arbeiten hierzu sollten zweckmäßigerweise auch auf die Ergebnisse der laufenden BMBF-Projekte, insbesondere im MAINET-Cluster aufsetzen, um eine kohärente Betrachtung zu gewährleisten.

3.6.3 Einbettung in die Forschungslandschaft

Es ist eine enge Kooperation mit dem Projektvorschlag WINNER geplant. Ein komplementäre Projekt für die Festnetzzugangsnetze der nächsten Generation ist MUSE (Multi-Service Everywhere). Die Zusammenarbeit mit Partnern aus diesem Projekt ist gesichert.

4 Schlussbetrachtung

Dieses Dokument ist eine Zusammenstellung möglicher Forschungsthemen im Bereich (optischer) Netze der nächsten Generation. Die Überlegungen zeigen, dass die vergangenen Forschungsprogramme Photonik, Komnet und Multiteranet wesentlich zur Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie in den Sektoren Photonik und Netze beigetragen haben. Sie zeigen aber auch, dass durch Kostendruck auf die Betreiber und durch den ungebremsten Nutzerwunsch nach Bandbreite und Mobilität sich viele neue Probleme in den Feldern Netzentwurf, -architektur, -management, -steuerung und Netzekonvergenz ergeben haben, die im Interesse des technischen Fortschritts und im Interesse der Sicherung eines technologischen Spitzenplatzes in Europa hier in Deutschland gelöst werden müssen .

Es wird das Ergebnis einer Diskussion dargestellt, die der ITG-Fachausschuss 5.3 (Optische Nachrichtentechnik) initiiert hat.

An der Erstellung des Dokuments waren Vertreter aus der Industrie, von Netzbetreibern, von Forschungsinstituten sowie von Universitäten und Hochschulen beteiligt.

5 Abkürzungen

(D)WDM	Dense WDM
3R	Reamplification, Reshaping & Retiming
AAA	Authentication, Authorisation, Accounting
ADSL	Asymmetrical Digital Subscriber Line
APS	Automatic Protection Switching
ASON	Automatically Switched Optical Network
ASTN	Automatically Switched Transport Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWA	Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit
CAPEX	Capital Expenditure
CCAMP	Common Control and Measurement Plane
CP	Control Plane
CWDM	Coarse WDM
DLR	Deutsche Luft- und Raumfahrtgesellschaft

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

DMUX	Demultiplexer
DQPSK	Diferential Quarternary PSK
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DTAG	Deutsche Telekom AG
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
EPL	Ethernet Private Line
EPLan	Ethernet Private LAN
EVPL	Ethernet Virtual Private Line
EVPLan	Ethernet Virtual Private LAN
FBG	Fiber Bragg Grating
FEC	Forward Error Correction
FIT	Failures in Time
FSO	Freistrahl-Optik Kommunikationssysteme
FTTH	Fiber to the Home
FTTx	Fiber to the x
GBIC	Gigabit Interface Converter
GFP	Generic Framing Procedure
GMPLS	Generalised Multi-Protocol Label Switching
GSM	Global System Mobile
HBT	Heterobipolartransistor
HDTV	High Definition TV
HEMT	High Electron Mobility Transistor
IETF	Internet Engineering Task Force
InP	Indium-Phosphid
IP	Internet Protocol

IPO	IP over Optical
IP-PoP	IP Point of Presence
ITG	Informationstechnische Gesellschaft
ITK	Informations- und Telekommunikation
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication Standardisation Sector
KMU	Kleine Mittelständische Unternehmen
LH	Long Haul
LION	Spezielles EU-Projekt
MAINET	BMBF-Projekt
MEF	Metro Ethernet Forum
MP	Management Plane
MPLS	Multi-Protocol Label Switching
MSM	Metal-Semiconductor-Metal
MTNM	Multi Technology Network Management
MUSE	EU-Projekt: Multi-Service Everywhere
MUX	Multiplexer
NGN	Next Generation Network
NGOSS	Next Generation Operation Support Systems
NNI	Network Node Interface
NOBEL	Spezielles EU-Projekt
O/E	Opto/Electrical
OA	Optical Amplifier
OADM	Optical Add Drop Multiplexer
OAM	Operation Administration Maintenance
OCh	Optical Channel
ODU	Optical Data Unit

OH	Overhead
OIF	Optical Internetworking Forum
OMS	Optical multiplex section
OMS-OH	Optical multiplex section overhead
OMU	Optical Multiplex Unit
ONNI	Optical Network Node Interface
OPAL	Optische Anschlussleitung
OPEX	Operational Expenditure
OSC	Optical Supervisory Channel
OSS	Operation Support Systems
OTDM	Optical Time Division Multiplex
OTH	Optical Transport Hierarchy
OTM	Optical Transport Module
OTN	Optical Transport Network
OTS	Optical Transmission Section
OTS-OH	Optical Transmission Section Overhead
OTU	Optical Transport Unit
OXC	Optical Cross Connect
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PMD	Polarisations Modendispersion
PLD	Payload
PoP	Point of Presence
PSK	Phase Shift Keying
PSTN	Public Switched Telephone Network
PVC	Permanent Virtual Circuits
QAM	Quaternäre Amplitudenmodulation

Breitbandige Kommunikationsnetze mit hoher Qualität

ROADM	Reconfigurable Optical add Drop Multiplexer
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
Si/Ge	Silizium/Germanium
SOA	Semiconductor Optical Amplifier
SOI	Silicon on Insulator
SONET	Synchronous Optical Network
SR	Short Range
SVC	Soft Virtual Circuits
TDM	Time Division Multiplexing
TEQUILA	Spezielles EU-Projekt
TMF	TeleManagement Forum
TP	Transport Plane
ULH	Ultra Long Haul
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Systems
UNI	User Network Interface
VDSL	Very High Bitrate Digital Subscriber Line
VLAN	Virtual LAN
VoIP	Voice over IP
VPN	Virtual Private Network
VSR	Very Short Range
WDM	Wavelength Division Multiplex
WDM-ULH	WDM Ultra Long Haule
WLAN	Wireless LAN
xDSL	x Digital Subscriber Line



**VERBAND DER ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK e.V.**

Stresemannallee 15
60596 Frankfurt am Main

Telefon 069 6308-0
Telefax 069 6312925
<http://www.vde.com>
E-Mail service@vde.com

