Sachbericht (Teil 1: Kurzbericht)

Zuwendungsempfänger:	**Förderkennzeichen**
Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG **Dienststelle Stuttgart**	**16KIS1428**

Vorhabensbezeichnung:

Verbundprojekt: Spatial Multiplexing in Optical Access Networks - SAMOA-NET

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2021 – 30.11.2024

Berichtszeitraum: 01.08.2021 – 30.11.2024

1 Wissenschaftlicher und technischer Stand vor dem „SAMOA-Net“-Projekt und ursprüngliche Aufgabenstellung

In den letzten Jahrzehnten haben sich passive optische Netze als wichtigste Zugangstechnologie etabliert, um verschiedene Nutzer mit vielfältigen Anwendungsanforderungen auf der letzten Meile zu verbinden. Über mehrere Generationen von TDM-PON-Lösungen hinweg hat sich die Übertragungsrate im Feld auf 25 Gbit/s, in der ITUT-Standardisierung (G.9804.3) auf 50 Gbit/s und in der Forschung sogar auf 100 Gbit/s erhöht. Die Anwendungsfälle von TDM-PON entwickeln sich jedoch von einer reinen Zugangstechnik für Privathaushalte hin zu einer Lösung für Geschäftskunden und mobiles X-Hauling. Der stetig steigende Bedarf an mehr Kapazität stellt aufgrund der derzeit verfügbaren Bandbreite und der zunehmenden chromatischen Dispersion bei höheren Übertragungsraten eine Herausforderung für die opto-elektronischen Komponenten dar. Daher wird neben der Forschung zur Erhaltung von TDM-PON-Ansätzen (IMDD oder vollkohärent) erwartet, dass WDM- und TWDM-PON-Lösungen reaktiviert werden. Alternativ sollten grundlegend neue Wege erforscht werden, die die verschiedenen potenziellen Vorteile der photonischen Integration mit einer Erhöhung der OLT-Portdichte, der aggregierten Kapazität und der Flexibilität kombinieren. Ein neuer Ansatz für PON-Zugangssysteme könnte die Verwendung von Mehrkernfasern im Zuleitungsbereich in Kombination mit photonischer Integration auf der OLT-Seite und kostengünstiger Optik mit 25 oder 50 Gbit/s sein, um das Kostenziel für zukünftige PONs mit Gesamtkapazitäten pro OLT-Port von über 200 Gbit/s zu erreichen.

Die ursprüngliche Aufgabenstellung umfasste die Untersuchung von neuen Architekturen, die Bandbreitenlimitationen in den Zugangsnetzen reduzieren. Um den Aufwand und die Kosten für zukünftige Systeme niedrig zu halten, wurde hierbei darauf verzichtet, die Datenraten weiter zu erhöhen, was direkt mit teuren Komponenten und aufwändiger Signal-Prozessierung einhergeht. Alternativ wurde dazu die Parallelisierung bestehender Lösungen in Betracht gezogen. Als Übertragungsmedium sollte eine neuartige Mehrkernfaser, entworfen und speziell entwickelt für den Einsatz in Passiv Optischen Netzwerken, verwendet werden. Mehrkernfasern bieten hierbei den großen Vorteil, dass mehrere Faserkerne unabhängig voneinander zur Datenübertagung verwendet werden können. Sowohl die Sende- als auch die Empfangselemente können jedoch jeweils gleich ausgeführt sein, da die einzelnen Kerne wie separate Fasern betrieben werden können. Dies reduziert die Komplexität der Systeme wesentlich. Ein weiterer Schwerpunkt neben der Spezifikation und Herstellung der Mehrkernfaser umfasste die Integration von Sende- und Empfangs-Arrays in einen einzelnen Transceiver und die Ein- bzw. Auskopplung in die Mehrkernfaser.

2 Ablauf des Vorhabens

Nokia war in den Arbeitspaketen 1 und 4 aktiv und koordinierte dabei die Teilarbeitspakete T1.1 und T1.2. Gemeinsam mit allen Projektpartnern wurden die Anwendungsszenarien und sich daraus ableitende Anforderungen für zukünftige SDM-PONs diskutiert und die Spezifikation der Mehrkernfaser, die im Projekt entwickelt und hergestellt wurde, definiert. Der in Teilarbeitspaket T1.3 definierte System Demonstrator wurde am HHI in Berlin aufgebaut und getestet. Abschließende Tests mit kommerziellen 25G-PON Systemen wurden dann bei Nokia in Stuttgart durchgeführt.

3 Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ergebnisse

Ein erster wichtiger Schritt war die Definition der SDM-PON Architekturen. Die Herausforderung lag dabei darin, die spezifischen Anforderungen an Datenraten, Reichweite und Flexibilität in ein optimales Systemkonzept zu übersetzen. Eine Kostenanalyse und den Vergleich mit anderen Technologien untermauerte die vorgeschlagene Lösung als gute Alternative für faseroptische Breitbandanbindungen. Das wichtigste Ergebnis war sicherlich die Herstellung der Siebenkern Mehrkernfaser mit schwach gekoppelten Kernen, die den kompletten Entwicklung- und Fertigungszyklus der Mehrkernfaser umfasste. Die Parameter für die Übertagungseigenschaften wurden hierzu gemeinsam von allen Partnern diskutiert und definiert. Die Umsetzung der Faser vom Design der Glasfaser-Vorform bis hin zum Ziehen der Glasfaser, wurde durch den Projekt-Partner Heraeus durchgeführt. Das Design umfasst die Festlegung der geometrischen Eigenschaften der Faser, wie z.B. die Größe und die Anordnung der Faserkerne. Um die Praxistauglichkeit der Mehrkernfasertechnologie zu demonstrieren, wurden Tests mit kommerziellen PON Systemen durchgeführt. Diese Tests dienten dazu, die Interoperabilität der neuen Faser mit bestehenden Netzwerkinfrastrukturen zu gewährleisten. Diese Systemtest dienten dazu, die Leistungsfähigkeit der neuen Technologie in einem realistischen Szenario zu testen. Dabei wurden verschiedene Aspekte wie die Datenübertragung, die Signalqualität und die Kompatibilität mit bestehenden Systemen untersucht. Als Abschluss der Projektarbeiten fand am Heinrich-Hertz Institut (HHI) in Berlin ein gemeinsames Abschluss-Event statt, bei dem die Projektergebnisse aller Partner dem Projektträger vorgestellt wurden.

Sachbericht (Teil 2: Ausführlicher Schlussbericht)

Zuwendungsempfänger:	**Förderkennzeichen**
Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG **Dienststelle Stuttgart**	**16KIS1428**

Vorhabensbezeichnung:

Verbundprojekt: Spatial Multiplexing in Optical Access Networks - SAMOA-NET

Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2021 – 30.11.2024

Berichtszeitraum: 01.08.2021 – 30.11.2024

1 Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ergebnisse

Nokia war im genannten Berichtszeitraum in den Arbeitspaketen 1 und 4 aktiv und war für die Leitung der Teilarbeitspakete T1.1 (M1 - M3) und T1.2 (M3 – M9) zuständig. Das Teilarbeitspaket T1.1 beinhaltete die Erstellung der Anwendungsszenarien für zukünftige SDM PONs und die Analyse der Anforderungen. Im Teilarbeitspaket T1.2 (Architektur, Systemkonzept, Kostenabschätzung) wurden die in Arbeitspaket T1.1 definierten Anforderungen für zukünftige SDM-PONs in Systemspezifikationen und Systemkonzepte übersetzt. Das Teilarbeitspaket T4.1 (Demonstration der Schlüsselfunktionen für SDM-PON) beinhaltete die Realisierung eines SDM-PON Demonstrators, der die Machbarkeit der wesentlichen Funktionen zeigt. Spezieller Fokus von Nokia war hierbei, den Demonstrator in realitätsnahen Nachbauten von optischen Verteilungsnetzen zu untersuchen und dabei die möglichen Vorteile des Mehrkernfaseransatzes analysieren. In T4.2 wurde gezeigt, dass die in T4.1 erzielten Ergebnisse sich auch auf ein reales Szenario skalieren lassen. Alle erforderlichen Meilensteine des Teilvorhabens wurden erfolgreich erreicht.

1.1 Arbeitspaket 1.1: Anwendungsszenarien, Anforderungsanalyse (3PM)

Das bislang für PON Systeme verwendete ON-Off Keying (OOK) Modulationsverfahren mit direktem Empfang kommt mit der Einführung von 25G/50G PON Systemen an die Grenze des technisch machbaren. Eine weitere Kapazitätserhöhung kann mithilfe kohärenten Übertragungsverfahren oder durch Parallelisierung über WDM Kanäle erzielt werden. Die Umsetzung erfordert jedoch komplexe und somit auch teure Lösungen, was sich jedoch in Zugangsnetzen schwer abbilden lässt.

Eine Alternative hierzu ist die Verwendung von Mehrkernfasern innerhalb des PON Verteilnetzes. Mithilfe der Raummultiplex Methode kann somit die Kapazität durch Parallelisierung erhöht werde, wobei jedoch auf die Verwendung von teuren WDM Komponenten verzichtet werden kann. Zusätzlich bietet der Einsatz von VCSEL Sendeelementen die Möglichkeit der Integration aller Transmitter auf ein einzelnes VCSEL Array, was wiederum eine Portverdichtung auf der OLT Seite ermöglicht und somit den Platzbedarf im Central Office und auch die Kosten reduziert. Ein weiterer Kostenvorteil bietet die einfache Implementierung der ONTs, da auf komplexe Empfänger und WDM Komponenten verzichtet werden kann.

Aufgrund der benötigten Mehrkernfaser bieten zukünftige SDM-PONs jedoch hauptsächlich eine Alternative für alle Arten von Neuerschließungsgebieten, die erstmalig mit Glasfasern versorgt werden. Im Vergleich zu herkömmlichen PON-Lösungen und Punkt zu Punkt Lösungen bietet das SDM-PON eine höhere Übertragungskapazität und mehr Flexibilität bei gleichzeitig höherer Integrationsdichte im Central Office. Die

Kapazitätserhöhung kann sowohl für die einzelnen Kunden, als auch für eine Erhöhung des Splitting Faktors verwendet werden. Generell sind dabei unterschiedliche Ansätze denkbar:

Ansatz 1

Ein Faserkern pro Fabrik/Kunde (alternativ zu WDM PON/ PtP über PtMP). Hierbei stehen pro Anschluss sehr hohe Kapazitäten zur Verfügung um Businesskunden mit hohen Datenraten zu versorgen oder um Mobilfunkstationen anzubinden. Der generelle Aufbau ist in der Skizze unten dargestellt.

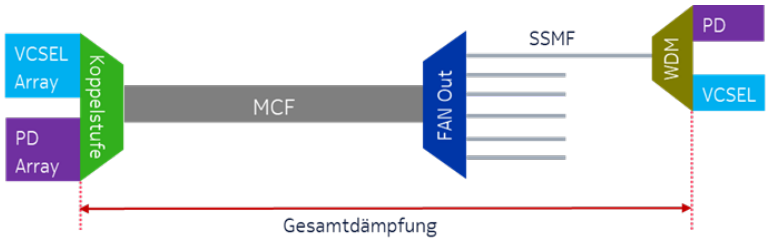

Bild 1 Aufbau SDM-PON für den Faserkern pro Kunde Fall

Ansatz 2

Jeder Faserkern versorgt einen separaten PON Splitter (siehe Skizze unten). Hierbei wird die höhere Kapazität für eine Erhöhung des Splitting Faktors verwendet. In diesem Fall sind folgende Szenarien denkbar:

- Alle Arten von FTTx
- Fasergebundene Konzepte im Rahmen von:
  - Industrie 4.0
  - Inhouse
  - Bürogebäude
  - Campusnetze

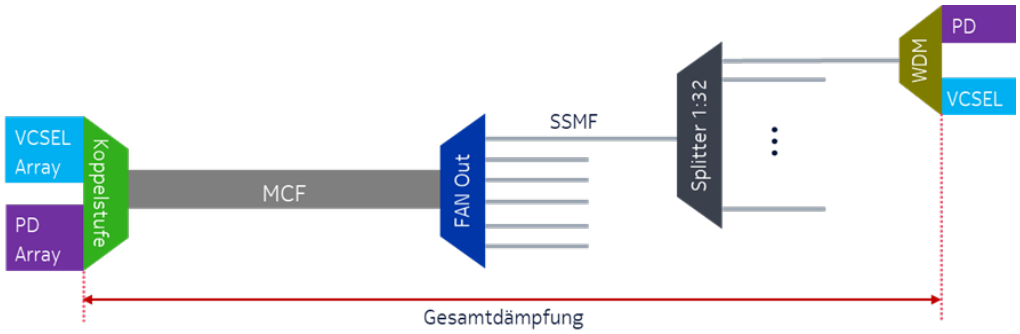

Bild 2 Aufbau SDM-PON für den Faserkern pro Splitter Fall

Ansatz 3

Ein WDM-PON pro Faserkern. Dieser Ansatz bietet die Möglichkeit einer weiteren Kapazitätserhöhung, wird jedoch in der Umsetzung sehr komplex und teuer. Problematisch erscheint momentan vor allem die Verwendung von VCSELn als WDM-Sendeelement. Diese Lösung kann für spätere Projekte diskutiert werden.

1.2 Arbeitspaket 1.2: „Architektur, Systemkonzept, Kostenabschätzung“ (6PM)

Architektur

Mit dieser Architektur können Kunden/Sites angeschlossen werden, wenn eine hohe Bandbreite benötigt wird, wie z.B. für Business Kunden oder für die Anbindung von Mobilfunkstationen. Für die einzelnen Kunden stellt das SDM-PON eine Punkt-zu-Punkt Verbindung dar, die jedoch im Feeder-Bereich mit einer Multikern Faser implementiert wird. Am Ende der MCF Faser werden hierzu mit einem FAN-Out Modul die einzelnen Faserkerne separiert und die einzelnen Kunden mittels Standard Singlemode Fasern verbunden. Die aktiven Sende und Empfangsmodule an den Endstellen können im Full-Duplex Verfahren betrieben werden und ermöglichen dadurch

volle Kapazität bei minimaler Latenz, was sich vor allem für die Anbindung von Mobilfunkstationen vorteilhaft auswirkt. Außerdem zeigt die Verwendung von MCF Fasern gegenüber Kabeln mit mehreren Einzelfasern einen klaren Vorteil in Bezug auf den Faser/Kabel Querschnitt und erleichtert somit die Faserverlegung im Feld, aber in noch größerem Maße die Verkabelung innerhalb der Vermittlungsstelle. Weitere Vorteile sind hierbei auch in der Integration mehrerer Sende- und Empfangsmodulen zu einem Multikernfasertransceiver. Sowohl in Bezug auf Verlustleistung, als auch beim Platzbedarf auf der Line-Card ergeben sich Vorteile und ermöglichen eine höhere Transceiver Packungsdichte. Die Transceiver Module auf der Kundenseite lassen sich relativ einfach aufbauen, da kein Zeitmultiplex-Verfahren für die Datenübertragung verwendet werden muss. Module aus der Datentechnik, jedoch mit angepassten Wellenlängen können hier zum Einsatz kommen. Die Wiederverwendung der Treiberelektronik und der Empfangstechnik ergibt durch die großen Stückzahlen direkt einen Kostenvorteil. Im Bild unten ist die Systemarchitektur für den SDM-PON Fall mit einem Kunden pro Teilnehmer dargestellt.

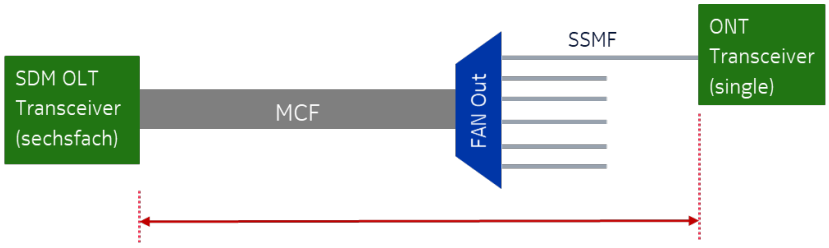

Bild 3 Aufbau SDM-PON für den Faserkern pro Kunde Fall

In der zweiten Architektur werden wie in der oben beschriebenen Implementierung die einzelnen Kerne der Multikern Faser mit einem FAN-Out Modul separiert. Allerdings werden dann die Singlemode Fasern nicht direkt mit den Kunden verbunden, sondern werden mittels optischer Leistungsteiler auf mehrere Teilnehmer aufgeteilt. Mit dieser Architekturvariante werden alle Arten von FTTH Anbindungen, aber auch Faserlösungen für Industrie 4.0 und Campusnetze angesprochen. Gebäude Verkabelungen sowie Büronetzwerke werden ebenfalls adressiert. Vorteile bietet diese Lösung vor allem bei der Verkabelung im Feld als auch innerhalb der Vermittlungsstelle sowie die Transceiver Integration auf der OLT Seite. Die aktiven Elemente auf der Kunden/Teilnehmer Seite entsprechen den Modulen herkömmlicher PON Systeme, da für die Aufwärtsrichtung vom Teilnehmer zur Vermittlungsstelle ein Zeitmultiplexverfahren verwendet werden muss, um Kollisionen der einzelnen Datenpaketen zu verhindern. Die Verwendung von Standard PON Transceivern mit auf das SDM-PON angepassten Wellenlängen sollte hierfür möglich sein. Im Bild unten ist die Systemarchitektur für den SDM-PON Fall mit einem Splitter pro Faserkern dargestellt.

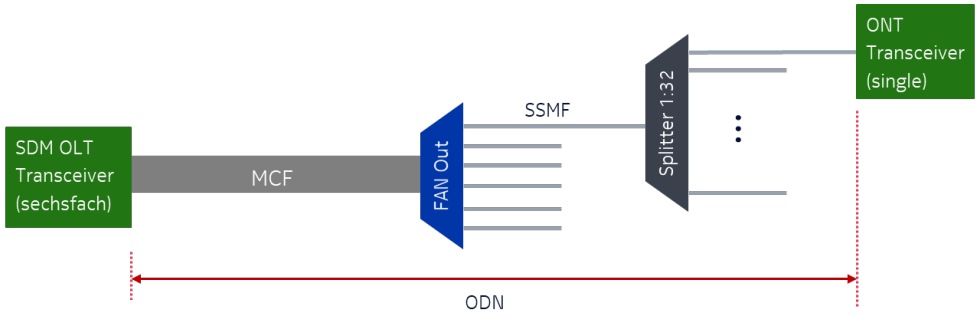

Bild 4 Aufbau SDM-PON für den Faserkern pro Splitter Fall

Systemkonzept

Da für die in Bild 3 definierte Architektur eine 1 zu 1 Abbildung der Sende- und Empfangsmodule aufzeigt, können sowohl die Datensignale in Abwärtsrichtung als auch Aufwärtsrichtung mit einem kontinuierlichen Datenstrom gesendet werden. Somit ist es möglich, die Treiber- und Empfangselektronik von 25G Daten-Modulen zu verwenden und die optischen Sender und Empfänger entsprechen anzupassen. Im Bild unten ist exemplarisch ein vollständiger Datenpfad dargestellt.

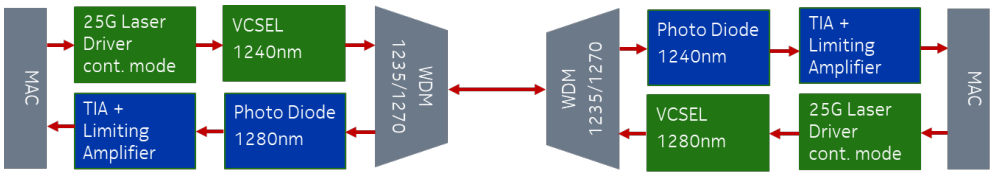

Bild 5 Vollständiger Datenpfad für einen Faserkern (SDM Architektur 1)

Für den 2. Fall mit Verwendung optischer Splitter ist es notwendig, ein Zeitmultiplexverfahren für die Aufwärtssignale zu senden, um Kollisionen der einzelnen Datenpakete zu vermeiden. Hierfür bietet sich an, die Sende- und Empfangselektronik der 25G-PON Option 2 zu verwenden (In 25G PON Option 2 werden 1358nm in Abwärtsrichtung und 1270nm in Aufwärtsrichtung verwendet). Hierzu wird es notwendig sein, das Kantenfilter zur Richtungstrennung auf die von uns spezifizierte Wellenlänge anzupassen und eine auf die Zielwellenlänge angepasste Fotodiode zu verwenden. Anstatt 1358nm wird für die SDM-2 Architektur eine Wellenlänge von 1240nm verwendet. Im nachfolgenden Bild ist ein entsprechender Aufbau mit Splitter dargestellt.

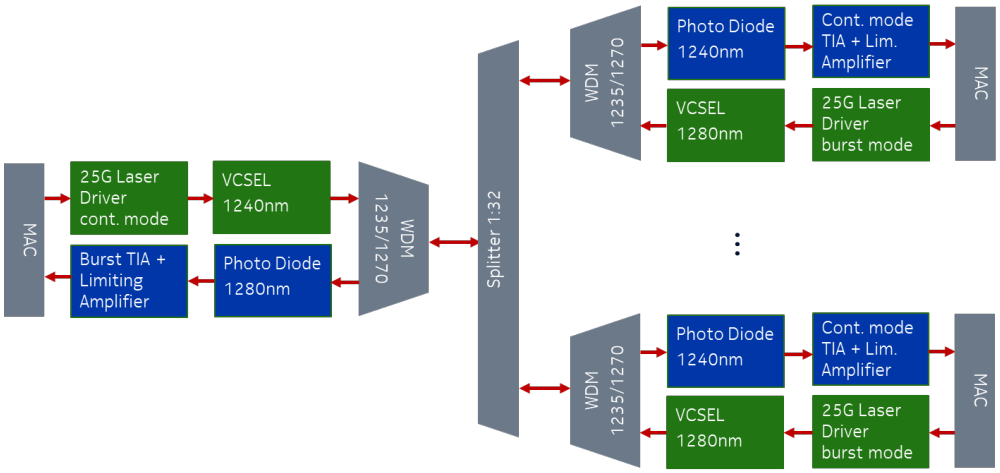

Bild 6 Vollständiger Datenpfad für einen Faserkern (SDM Architektur 2)

Kostenabschätzung

Die Diskussion der Kosten gestaltete sich relativ schwierig, da eine neue Technologie mit schon im Markt etablierten Architekturen verglichen wird.

Die SDM-PON Architektur 1 (ein Kern pro Kunde) wird mit klassischen Punkt zu Punkt Systemen und CWDM Installationen verglichen, während Architektur 2 (ein Splitter pro Faserkern) mit dem 25G-PON konkurriert.

Vergleichsgrundlage ist dabei die Übertragungskapazität, d.h. für den Vergleich der SDM-1 Architektur werden 6 einzelne PtP Verbindungen bzw. 6 CWDM Kanäle angesetzt.

- Im Vergleich der Punkt zu Punkt Verbindung mit der SDM-1, ist eine deutliche Kostenersparnis zu erwarten. Allerdings entstehen Zusatzkosten für die FAN-Out Komponente und die Installation. Im eingeschwungenen Zustand sollte eine Kostenersparnis von 20 -30% möglich sein.

- Im Vergleich der CWDM Lösung mit der SDM-1 Architektur, ist ebenfalls eine deutliche Kostenersparnis zu erwarten. Die Zusatzkosten für die FAN-Out Komponente sollte im Bereich der Kosten für die beiden CWDM Filter liegen, während für die Installation ähnliche Kosten anzusetzen sind. Nachteilig für die CWDM Lösung ist die Verwendung von unterschiedlichen Wellenlägen, was sich in den Transceiver Kosten niederschlägt, da unterschiedliche Module installiert, vorgehalten und betrieben werden müssen. Der größte Vorteil bei der SDM 1 Architektur liegt sicherlich in der einfacheren Handhabung innerhalb der Vermittlungsstelle und dem geringeren Platzbedarf auf der Netzwerkkarte. Im eingeschwungenen Zustand sollte eine Kostenersparnis von bis zu 30% möglich sein.

Für den Vergleich der SDM 2 Architektur mit dem 25G PON wurden zwei unterschiedliche Fälle diskutiert werden. Der Vergleich zu einem 25G PON mit 32 Teilnehmern und alternativ das 25G PON mit 64 Teilnehmern pro PON. Die Vergleichsgrundlage war hierbei die mit der SDM 2 Architektur verfügbare Bandbreite.

- Im Vergleich der 25G PON Lösung (32 Teilnehmer) mit der SDM-2 Architektur, ist eine moderate Kostenersparnis zu erwarten. Während im SDM Fall Zusatzkosten für die FAN-Out Komponente anfallen, benötigt die PON Lösung wesentlich mehr Glasfasern, die auch die Handhabung innerhalb der Vermittlungsstelle negative beeinflussen. Die Kosten für die Splitter sind für beide Fälle gleich. Der größte Vorteil bei der SDM 2 Architektur liegt auch hier in der einfacheren Handhabung innerhalb der Vermittlungsstelle und dem geringeren Platzbedarf auf der Netzwerkkarte. Im eingeschwungenen Zustand sollte eine Kostenersparnis von bis zu 20% möglich sein.
- Im Vergleich der 25G PON Lösung (64 Teilnehmer) mit der SDM-2 Architektur, sind kaum Kostenersparnisse zu erwarten. Die einfachere Handhabung der Glasfasern innerhalb der Vermittlungsstelle und die reduzierte Faseranzahl stellt jedoch immer noch einen nicht zu vernachlässigbaren Vorteil dar. Eine Ausweitung des Leistungsbudgets mit entsprechender Anpassung der Sendeleistungen sowie der Empfängerempfindlichkeit könnte die Verwendung von Splittern mit 64 Teilnehmern auch im SDM Fall ermöglichen und würde dann wie im oben diskutierten Fall einen Kostenvorteil für die SDM Lösung bedeuten.

Generell erscheint die Verwendung von Mehrkernfasern im Zugangsbereich vorteilhaft gegenüber den heute etablierten Technologien, sofern es sich um Neuerschließungen handelt. Vor allem in der hohen Integrationsdichte der verwendeten Transceiver innerhalb der Vermittlungsstellen sind große Kostenersparnisse und Optimierungen im Platzbedarf zu erwarten.

1.3 Arbeitspaket 4.1: „Demonstration der Schlüsselfunktionen für SDM-PON“ (2 PM)

Für die Demonstration der Schlüsselfunktionen für das SDM-PON wurde bei Nokia in Stuttgart ein SDM-PON Demonstrator aufgebaut. Für diesen Test wurde die im Projekt hergestellte Projektfaser MCF S04 verwendet und diente als Feeder Strecke für bis zu 7 unabhängigen PON Systemen. In Bild 7 ist die verwendete Architektur für den SDM-PON Testaufbau dargestellt. Die unterschiedlichen PON OLTs wurden dabei mittels eines FIFO (Fan In/Fan Out) Elements in die Mehrkernfaser eingekoppelt. Am Ende der Feeder Strecke erfolgte die Trennung der einzelnen Kerne ebenfalls über ein FIFO Element um die unterschiedlichen PON ODNs mit den nachfolgenden PON ONUs zu verbinden. Dabei kamen 7 unabhängige 25G-PON Systeme, jeweils mit einem OLT und einer ONU, zum Einsatz. Die Wellenlängenparameter sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

System	Wellenlänge DS	Wellenlänge US
25G-PON	1358nm	1286nm

Tabelle 1 PON Wellenlängen für den SDM-PON Systemtest

Die PON Splitter wurden mit Hilfe von festen Dämpfungsgliedern emuliert. Um den Einfluss der Mehrkernfaser auf die PON Systeme zu untersuchen, wurden unterschiedliche Messungen durchgeführt:

1. Vergleichsmessung mit einer Standard Single Mode (SMF) Faser
2. Verwendung nur eines Faserkerns der Mehrkernfaser
3. Verwendung aller Kerne der Mehrkernfaser

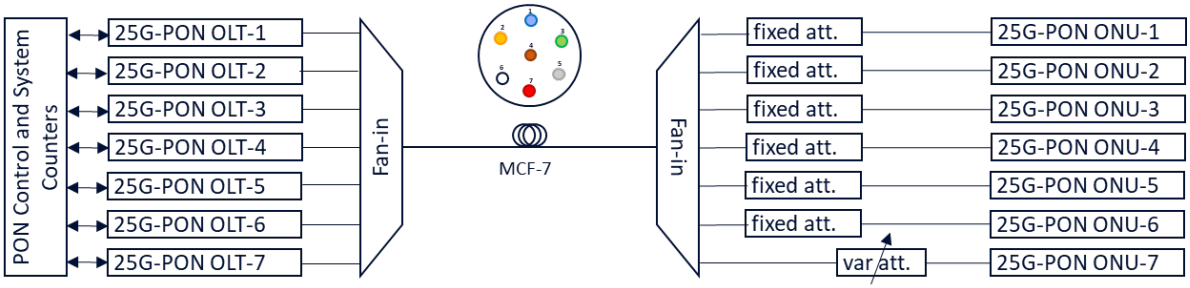

Bild 7 Architektur für die SDM-PON Systemtest

Für alle Performance Messungen wurde im Test Pfad mittels eines variablen Dämpfers die optische Empfangsleistung verändert und im System die durch den Forward Error Correction (FEC) Algorithmus korrigierten Code Wörter ermittelt. Die Testergebnisse für 5km und 20km SMF und MCF-7 sind in Bild 8 aufgetragen. Für die Messungen waren alle ONUs so konfiguriert, dass im Upstream dauerhaft Pakete gesendet wurden. Die Zähler für die korrigierten Code Wörter wurden am OLT für die Übertragung in Upstream ausgewertet.

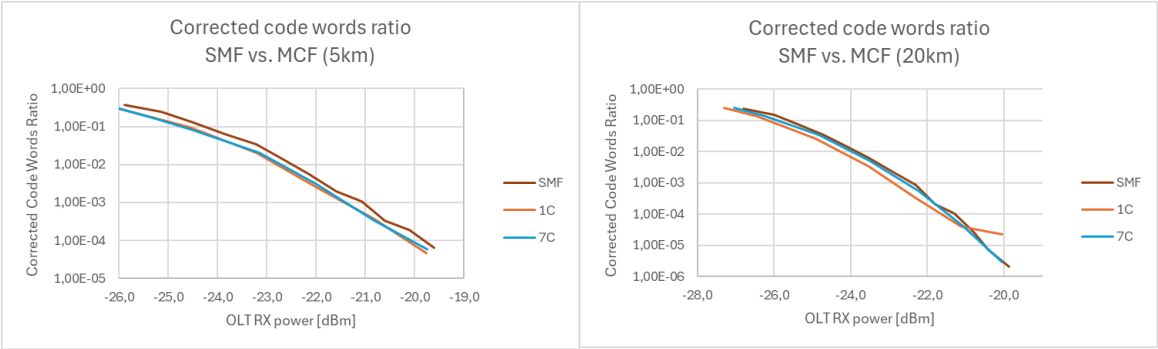

Bild 8 Vergleich der im System gemessene korrigierte Code Wörter für Single Mode Faser und Mehrkernfaser für 5km (links) und 20km (rechts)

Sowohl für 5km als auch für 20km Übertragungsdistanz lässt sich keine Verschlechterungen der Übertragungseigenschaften für die Mehrkernfaser im Vergleich zur SMF feststellen. Die Messkurven für die SMF, den einzelnen MCF Kern sowie unter Verwendung aller Kerne der Mehrkernfaser, bezogen auf den Test Kern liegen dabei nahezu übereinander. Das Übersprechen innerhalb der Mehrkernfaser ist somit vernachlässigbar.

1.4 Arbeitspaket 4.2: „Skalierung auf reales Szenario“ (2PM)

Aufgrund der hervorragenden Faser Eigenschaften der im Projekt entwickelten und hergestellten neuen Mehrkernfaser lassen sich die im Arbeit Paket 1 erarbeiten Architekturen auf ein reales Szenario skalieren. Begrenzungen durch die Verwendung der Mehrkernfaser sind hierbei nicht zu erwarten.

2 Vergleich des Vorhabensstands mit der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung

Das Teilvorhaben hat bezüglich der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung weitestgehend alle Ziele erreicht. Alle Meilensteine 1.1 und 1.2 wurde entsprechend der Planungen abgeschlossen. Da es im Arbeitspaket T2.1 bei der Fertigung der VCSEL Arrays zu einer Verzögerung kam wurde eine Projektverlängerung um 4 Monate erforderlich. Aufgrund dieser Verzögerung wurden die Arbeitspakete 4.1 und 4.2 entgegen des ursprünglichen Terminplanes mit einer Verspätung von 4 Monaten abgeschlossen. Grundsätzlich ist das Ergebnis des Projektes als sehr positiv einzuschätzen

3 Patente und Publikationen

Im Berichtszeitraum wurden keine Patente angemeldet. Die erarbeiten Ergebnisse wurden auf der VDE/ITD Kabeltagung „Kommunikationskabelnetze“ in Köln (29. + 30.11.2022) erstmalig veröffentlicht und vorgetragen:

M. Straub *et al*., "SAMOA-Net project: Multicore fiber based PON architectures," *Communication Cable Networks; 29th ITG Symposium*, Cologne, Germany, 2022, pp. 1-6.