

Zusammenfassung Förderprojekt 5G-COMPASS

Das Projekt **5G-COMPASS** verfolgte mit seinen Arbeitspaketen das Ziel, zukünftige In-Home-Netzwerke auf Basis einer 5G-Integration zu erforschen und für praxisnahe Anwendungen vorzubereiten. Im **Arbeitspaket AP2 „Anforderungen, Systemkonzept, Schnittstellen“** standen zunächst die Definition von Anforderungen, die Entwicklung einer Referenzarchitektur sowie die Spezifikation von Schnittstellen im Mittelpunkt. Dabei wurden Anwendungsszenarien aus verschiedenen Zielmärkten der Projektpartner analysiert, technische Parameter für unterschiedliche Nutzungskontexte erfasst und zentrale Herausforderungen wie Interferenzmanagement berücksichtigt. Das Ergebnis ist eine generische Referenzarchitektur, die zeigt, wie heterogene Netzwerktechnologien – darunter Ethernet, WLAN, PLC, PON und LiFi – kombiniert werden können, um leistungsfähige und zuverlässige Kommunikationsnetze innerhalb und außerhalb von Gebäuden zu schaffen. Trends wie Fiber-to-the-Room (FttR) und LiFi wurden hierbei besonders einbezogen. Parallel dazu begleitete AP2 die Einbindung in Standardisierungsgremien, um Interoperabilität, Sicherheit und die Nutzung in medizinischen wie auch industriellen Anwendungen sicherzustellen.

Darauf aufbauend beschäftigte sich **AP3 „Übertragung/PHY“** mit der Entwicklung der physikalischen Übertragungsebene für ein hybrides 5G-Inhouse-Netzwerk. Unter Leitung der devolo solutions GmbH und in enger Zusammenarbeit mit Fraunhofer HHI, MaxLinear und der Hochschule Niederrhein wurden zentrale Technologien für LiFi, WLAN, PLC und PON erforscht, messtechnisch bewertet und für Demonstratoren vorbereitet. Am Fraunhofer HHI entstanden breitbandige LiFi-Frontends mit innovativen VCSEL-Treibern und speziell entwickelten ASICs, die Datenraten von über 10 Gbit/s im Innenraum ermöglichten. Parallel dazu entwickelten die Partner neue Verfahren für die Interferenzkoordination in WLAN-basierten Multi-AP-Szenarien. Auf Basis definierter Metriken wie Airtime-Auslastung, Signal-Rausch-Abstand oder Verzögerungszeit wurden Algorithmen für dynamische Ressourcenallokation erarbeitet, während MaxLinear MIMO-Konzepte erprobte und devolo den LCMP-Mechanismus erweiterte, um Koordinationsinformationen über PLC zu verteilen. Auch im Bereich optischer Netze wurden Fortschritte erzielt: Hardware- und Modulationskonzepte für 50/50G-PON-Systeme ermöglichten stabile Übertragungen bis 100 Gbit/s, ergänzt durch Fiber-Router und -Extender für die Integration in Gebäudenetze. Zudem untersuchte das HHI die Nutzung von PLC als Fronthaul für LiFi und WLAN. Erweiterte Firmware von devolo erlaubte Multinodebetrieb und umfassende Diagnosefunktionen, sodass LiFi-Zugangspunkte erfolgreich über PLC eingebunden werden konnten. Mit dem Meilenstein M3.2 wurde ein Koordinationsmechanismus über PLC demonstriert, der zuverlässigen Informationsaustausch zwischen G.hn-basierten Knoten ermöglicht. Die Ergebnisse von AP3 bilden eine wichtige technologische Basis für die Demonstratoren in AP6.

AP4 „Medienzugriff und MAC“ konzentrierte sich auf Protokolle und Algorithmen für den koordinierten Mehrfachzugriff in heterogenen WLAN- und LiFi-Netzen. Ziel war es, sehr hohe Zuverlässigkeit, niedrige und garantierte Latenzen, verbesserte Mobilität sowie gesteigerte Energieeffizienz zu erreichen. Hierzu wurden offene Schnittstellen zwischen zentralisierten und dezentralen PHY/MAC-Funktionen analysiert und

Koordinationsalgorithmen für WLAN und LiFi entwickelt. Grundlage bildeten Standards wie IEEE 1905.1 und IEEE 802.11be, die Multi-Link-Funktionalitäten ermöglichen. Untersucht wurden auch Signalisierungsmechanismen zur Übermittlung von Bandbreiten- und QoS-Anforderungen zwischen Netzknoten, inklusive Vorgaben für latenzkritische Anwendungen und Energiesparmechanismen. Ergänzend befasste sich AP4 mit dynamischer Bandbreitenzuweisung in PON-Netzen sowie mit koordinierter MAC-Ressourcenzuteilung basierend auf 802.11ax-Funktionen.

Im **Arbeitspaket AP5** standen Sicherheit, Vernetzung und Management im Fokus. Ziel war es, Lösungen für die sichere Einbindung von Heimnetzen in 5G-Infrastrukturen zu schaffen, Synchronisationsmechanismen zu etablieren und den Netzbetrieb durch Monitoring und intelligente Steuerung zu optimieren. In T5.1 entstand ein quantensicherer und kryptoagiler VPN-Ansatz, der das IKE-Protokoll um Post-Quanten-Algorithmen erweiterte und Effizienzgewinne durch reduzierten Overhead erreichte. T5.2 untersuchte Verfahren zur Ende-zu-Ende-Synchronisation in 5G-Heimnetzen und identifizierte die Kombination von Synchronous Ethernet (SyncE) und PTP als besonders geeignet. Parallel dazu wurde MPQUIC entwickelt, eine multipathfähige Erweiterung des QUIC-Protokolls, ergänzt durch einen Multipath-Proxy. Testszenarien wie Video-Streaming und industrielle Robotik belegten Verbesserungen in Stabilität, Latenz und Ausfallsicherheit. In T5.3 wurden Monitoring- und Steuerungsmechanismen für klinische Anwendungen mit hohen Zuverlässigkeitsanforderungen erarbeitet. Dazu gehörten Verfahren zur QoS- und QoX-Überwachung, dynamische Priorisierungsmechanismen sowie Konzepte für nahtlose Übergaben zwischen LiFi, WLAN und 5G.

Den Abschluss bildete **AP6**, dass die entwickelten Konzepte in praxisnahen Demonstratoren erprobt und bewertete. In realitätsnahen Testumgebungen konnten Leistungsfähigkeit, Flexibilität und Energieeffizienz der konvergenten Zugangsnetze nachgewiesen werden. Damit wurde gezeigt, dass 5G-COMPASS nicht nur technische Grundlagen liefert, sondern auch konkrete Mehrwerte für verschiedene Anwendungsfelder – von der Industrie über das Gesundheitswesen bis hin zur Gebäudevernetzung – bereitstellt.