

Abbildung 1: Zusammenarbeit zwischen SDN und NFV

## NETWORK FUNCTIONS VIRTUALIZATION (NFV) UND SOFTWARE DEFINED NETWORKING (SDN)

# Teil 1: Forschungsfragen und Anwendungsfälle

Telekommunikation über Netzwerkfunktionsvirtualisierung (NFV) und Software Defined Networking (SDN) verändern die Telekommunikationslandschaft. Im ersten Teil stehen Forschungsfragen und Anwendungsfälle im Fokus.

In heutigen Kommunikationsnetzen sind Netzfunktionen wie Firewalls oder Gateways fest mit dedizierter Hardware verbunden. Dies führt nicht nur zu hohen Anschaffungskosten der spezifischen Komponenten, sondern auch zu einer starren, unflexiblen

so eine Flexibilisierung der gesamten Netzarchitektur erreicht werden. Das Konzept NFV hat zum Ziel, dass zum Beispiel Geräte wie eine Set-Top-Box zum Fernseh- und Videoempfang nicht mehr als Hardware neben dem Fernseher stehen müssen.

geführt, wird entsprechend zusätzliche Hardware benötigt, was sich in hohen Anschaffungskosten für den Netzbetreiber widerspiegelt. Virtualisierungstechniken für Serverplattformen haben zu einer flexibleren und effizienteren Ausnutzung der

Autorenversion

# Network Functions Virtualization und Software Defined Networking: Forschungsfragen und Anwendungsfälle

**Andreas Blenk, Arsany Basta, Wolfgang Kellerer**

*Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, Technische Universität München*

**Thomas Zinner, Florian Wamser, Phuoc Tran-Gia**

*Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, Universität Würzburg*

# Network Functions Virtualization und Software Defined Networking: Forschungsfragen und Anwendungsfälle

**Andreas Blenk, Arsany Basta, Wolfgang Kellerer**

*Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, Technische Universität München*

**Thomas Zinner, Florian Wamser, Phuoc Tran-Gia**

*Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, Universität Würzburg*

In heutigen Kommunikationsnetzen sind Netzfunktionen wie Firewalls oder Gateways fest mit dedizierter Hardware verbunden. Dies führt nicht nur zu hohen Anschaffungskosten der spezifischen Komponenten, sondern auch zu einer starren, unflexiblen Netzarchitektur. Dies soll durch das Konzept der Virtualisierung von Netzfunktionen (Network Function Virtualization, NFV) geändert werden. NFV realisiert Netzfunktionen in Software und ermöglicht dadurch diese auf Standardhardware, beispielsweise in Datenzentren, auszulagern. Zusammen mit Software Defined Networking (SDN), das die Netzsteuerung in einer logisch zentralisierten Einheit ebenfalls in Software realisiert (siehe auch ITG News 3/2013), kann so eine Flexibilisierung der gesamten Netzarchitektur erreicht werden.

Das Konzept NFV hat zum Ziel, dass z.B. Geräte, wie eine Set-Top-Box zum Fernseh- und Videoempfang, nicht mehr als Hardware neben dem Fernseher stehen müssen. Vielmehr soll die benötigte Funktionalität dem Nutzer zusätzlich durch das Netz bereitgestellt werden. Dies führt durch die Einsparung zusätzlicher Hardware zu Kostensenkungen und erleichtert gleichzeitig die Verwaltung des Dienstes.

Bisher laufen derartige anwendungsspezifische Funktionen des Netzes (z.B. Set-Top-Box, Mobilitätsmanagement im Mobilfunk, Firewall) auf dedizierter, proprietärer Hardware. Werden neue Dienste eingeführt wird entsprechend zusätzliche Hardware benötigt, was sich in hohen Anschaffungskosten für den Netzbetreiber widerspiegelt.

Virtualisierungstechniken für Serverplattformen haben zu einer flexibleren und effizienteren Ausnutzung der physikalischen Ressourcen, und damit zu einer Kosteneinsparung in Datenzentren geführt. Die Virtualisierung von Netzfunktionen (Network Functions Virtualization, NFV) überträgt dieses Konzept auf Kommunikationsnetze. Spezifische Funktionen, welche auf dedizierter Hardware im Daten- oder Signalisierungspfad des Kommunikationsnetzes laufen, werden in Software realisiert und mittels Virtualisierung auf handelsübliche Server und Switches transferiert. Durch das Einsparen dedizierter Hardware ergibt sich folglich eine Verringerung der Anschaffungskosten.

Zusätzlich erwartet man durch die Zentralisierung der Funktionen eine Reduktion der Betriebskosten durch geringeren Administrationsaufwand und eine effizientere Nutzung der Ressourcen. Des Weiteren ermöglicht die Virtualisierung ein flexibles vertikales und horizontales Skalieren der spezifischen Funktionen und so eine feingranulare Anpassung

an den aktuellen Bedarf. Das Konzept NFV wird aktuell von Netzbetreibern und Hersteller in der ETSI [1] standardisiert.

Die dynamische Instanziierung und das Migrieren von Netzfunktionen stellen aber auch neue Anforderungen an die Netze. Sie setzen voraus, dass Datenflüsse und Pakete flexibel an die zugehörigen Netzfunktionen weitergeleitet werden können. Software Defined Networking (SDN) wird hier als eine Schlüsseltechnologie angesehen, um die benötigte Steuerung der Netzflüsse zu übernehmen, d.h. um Datenflüsse den ausgelagerten, neu skalierten Netzanwendungen dynamisch und flexibel zuzuführen.

Bisherige Netzkomponenten wie Router und Switches übernehmen neben der Weiterleitung der Daten die Steuerung des Datenflusses. Hier setzt SDN an. Sämtliche Steuerungsfunktionen werden aus der Hardware herausgelöst und in Software auf eine logisch zentrale Einheit, die SDN-Steuerungseinheit, transferiert. Diese Komponente verfügt über offene Schnittstellen und ermöglicht so die freie Programmierbarkeit des Netzes, und damit eine bisher nicht vorhandene Flexibilität. Die Kommunikation zwischen der Steuerungseinheit und den Netzkomponenten erfolgt dabei über ein standardisiertes Protokoll, z.B. OpenFlow [2]. Neben dieser Schnittstelle zur Netzsteuerung (Southbound API) nimmt die Schnittstelle zu Anwendungen (Northbound API), wie z.B. virtualisierten Netzfunktionen, eine wichtige Rolle ein. Es sei hier darauf hingewiesen, dass zu diesem sogenannten Northbound Interface, im Vergleich zum Southbound Interface, derzeit noch wenige generelle Ansätze für die Realisierung vorliegen. Weitere Schnittstellentypen zur Interaktion mit anderen Steuerungseinheiten, z.B. zwischen unterschiedlichen autonomen Systemen, werden in [3] definiert.

Basierend auf den Anforderungen der Netzprovider laufen die virtualisierten Netzfunktionen auf einer Infrastruktur, welche aus einzelnen Rechnern, einem Datenzentrum oder sogar mehreren Datenzentren bestehen kann. Um eine dynamische Verteilung der Funktionen zu ermöglichen, müssen die Netzsteuerung und die Steuerung der Infrastruktur zusammenarbeiten. Dies wird in Abbildung 1 dargestellt. Durch die Zusammenarbeit zwischen der Netzsteuerung und der NFV-Steuerung können die Datenflüsse flexibel an spezifische Netzfunktionen weitergeleitet werden.

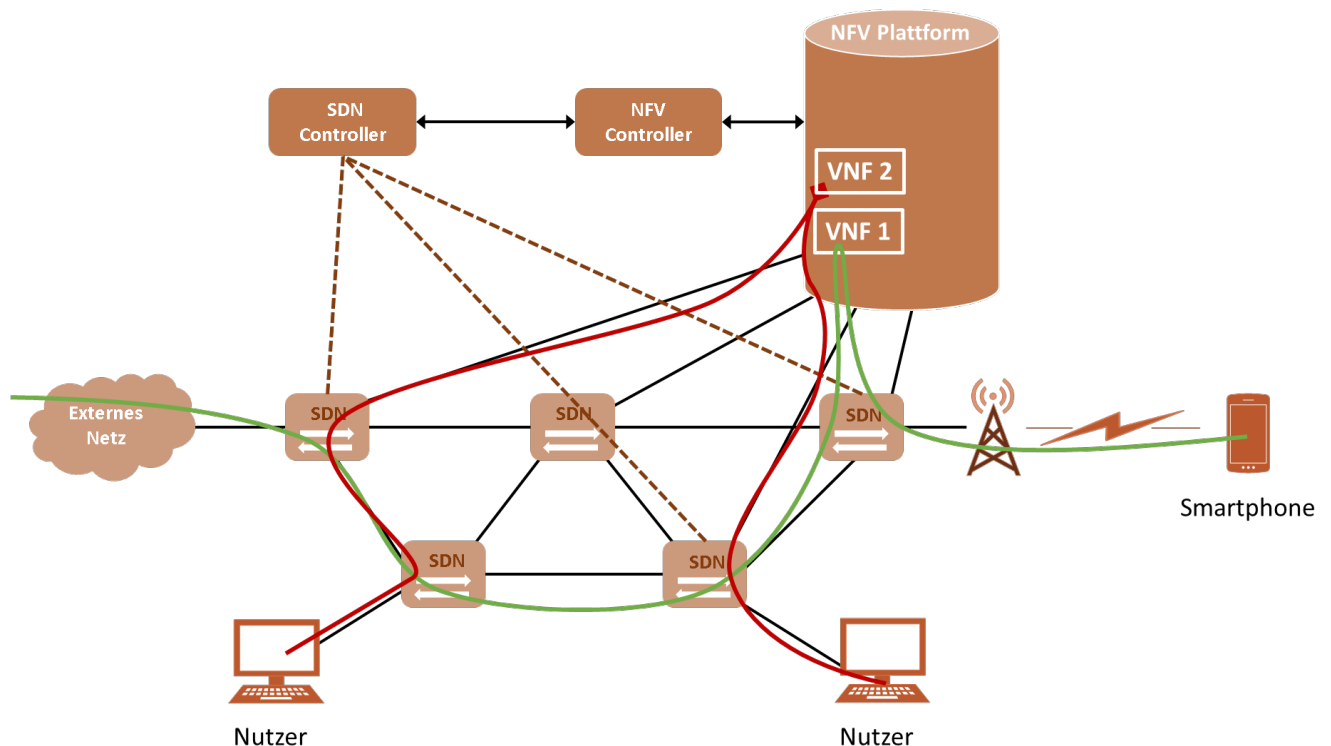


Abbildung 1 Zusammenarbeit zwischen SDN und NFV

Im Folgenden wollen wir auf allgemeine Forschungsfragen und Problemstellungen eingehen, die sich durch die Einführung von virtualisierten Netzfunktionen in Kombination mit SDN ergeben. Eine detaillierte Beschreibung von Anwendungsfällen und Herausforderungen für SDN findet sich in [3] und in den ITG News 3/2013.

## Aktuelle Forschungsfragen und Problemstellungen

### Analyse und Konzeption virtueller Netzfunktionen

Aktuelle Kommunikationsnetze haben Anforderungen an Netzfunktionen, z.B. an den Durchsatz einer Funktion, an deren Ausfallsicherheit, die maximale Anzahl der zu bedienenden Netzflüsse, oder die erlaubte maximale Verzögerungszeit, welche durch das Bearbeiten der Pakete eines Datenflusses hervorgerufen wird. Die Realisierung des NFV Konzepts für heutige Kommunikationsnetze bedarf damit zuerst einer grundlegenden Analyse der aktuellen Anforderungen an die anwendungsspezifischen Netzfunktionen. Virtualisierte Netzfunktionen müssen dann gemäß dieser Anforderungen konzipiert und realisiert werden. Dabei muss der zusätzliche Mehraufwand, welcher beispielsweise durch die Virtualisierung der Hardware entsteht, ebenfalls beachtet werden. Während spezifische Netzfunktionen durch dedizierte Hardware unterstützt werden, gilt es bei der Realisierung einer virtuellen Netzfunktion die möglicherweise unterschiedlichen Leistungsfähigkeiten verschiedener Techniken der Virtualisierung zu beachten. Zusätzlich bestehen weitere Optimierungsmöglichkeiten durch Anpassungen der Standardprodukte, zum Beispiel mittels Hardwarebeschleunigung.

Neben der Leistungsfähigkeit muss die durch NFV gewonnene Skalierbarkeit schon während der Konzeption einer Netzfunktion einbezogen werden. Hier gilt es, die in Frage kommenden Mechanismen zu evaluieren, und mögliche Beeinträchtigungen zu identifizieren. Werden die richtigen Schnittstellen geschaffen, so kann eine softwarebasierte Netzfunktion eine dynamischere und flexiblere Verwaltung der vorhandenen

Kapazitäten in Abhängigkeit von den aktuellen Anforderungen ermöglichen. Beeinträchtigungen, die analysiert werden müssen, sind zum einen Verzögerungen, die entstehen, wenn neue Softwareinstanzen in das bestehende System integriert werden sollen, zum anderen aber auch der zusätzliche Mehraufwand durch die benötigte Signalisierung. Die Überwachung der benötigten Ressourcen sowie die Einhaltung von Garantien liegen hierbei in der Verantwortung der NFV-Plattform.

### **Zerlegung virtueller Netzfunktionen**

Netzfunktionen können als Ganzes in Software übersetzt und betrieben werden. Jedoch bieten sich durch die Realisierung einer Netzfunktion in Software weitere Möglichkeiten. So kann man eine Netzfunktion in elementare Blöcke zerlegen, welche als Ganzes die ursprüngliche Netzfunktion nachbilden. Um die eigentliche Aufgabe weiterhin erledigen zu können, müssen geeignete Schnittstellen zwischen den Funktionsblöcken definiert werden. Ein Beispiel für eine Zerlegung wäre, wie in SDN, die Aufspaltung in Steuerungs- und Weiterleitungsfunktion des Datenpfades. Die Schnittstelle zwischen den Funktionen kann hier wieder durch ein eigenes Protokoll, wie im Beispiel OpenFlow, realisiert werden.

Unterschiedliche Netzfunktionen können sich außerdem gemeinsame Blöcke teilen. Dies führt zu einer weiteren Effizienzsteigerung durch die Bündelung der vorhandenen Ressourcen. Diese müssen dann nicht mehr für einzelne Funktionen als Ganzes reserviert werden, sondern können den Funktionsblöcken individuell zugeteilt werden. So ermöglicht die Zerlegung von Netzfunktionen in Blöcke eine noch feinere Ressourcenverteilung, und somit eine effizientere Nutzung der Ressourcen einer NFV-Plattform.

### **Orchestrierung virtueller Netzfunktionen**

Grundlegende Eigenschaften einer NFV-Plattform sind die Überwachung der zur Verfügung stehenden Ressourcen, die Realisierung der Schnittstellen zwischen heterogenen Ressourcen, sowie Algorithmen zur effizienten Verwaltung der verfügbaren Ressourcen. Die für NFV und SDN relevanten Forschungsfragen in Bezug auf die Orchestrierung können von den Zielen, welche für NFV in [1] definiert werden, abgeleitet werden.

Die effiziente Verwaltung der Ressourcen, welche für virtualisierte Netzfunktionen zur Verfügung stehen, und die Automatisierung dieser Verwaltung bedürfen einer grundlegenden Analyse. NFV ermöglicht im Allgemeinen eine flexiblere Platzierung der Netzfunktionen in der vorhandenen Infrastruktur. Sind mehrere Datenzentren an unterschiedlichen Standorten verfügbar, so sollte eine virtualisierte Netzfunktion stets dort platziert werden, wo es am kostengünstigsten ist.

Eine virtuelle Funktion kann in Abhängigkeit von den aktuellen Anforderungen verteilt oder, falls sie schon platziert ist, umgezogen bzw. migriert werden. Entsprechend kann die Nutzung der vorhandenen Ressourcen jederzeit an den aktuellen Zustand angepasst werden. So können Ausfälle innerhalb der Infrastruktur oder temporäre Lastspitzen kompensiert werden. Aktuelle Forschungsarbeiten beschäftigen sich mit effizienten Algorithmen zur optimalen Platzierung der Netzfunktionen in einer vorhandenen Infrastruktur. Abhängigkeiten zwischen einzelnen virtuellen Netzfunktionen müssen zusätzlich in die Optimierung mit einbezogen werden, um eine korrekte Operation des Kommunikationsnetzes zu gewährleisten. Typische Optimierungsziele sind Energieeffizienz oder eine ausgeglichene Lastverteilung [4, 5].

Durch die Flexibilisierung können vorhandene Ressourcen zwar effizienter genutzt werden, jedoch muss man auch den zusätzlichen Aufwand der dynamischen Verwaltung der Ressourcen beachten. So kann das Migrieren einer Netzfunktion zu einer Erhöhung

des Verkehrs im Netz führen und damit zu einer höheren Netzauslastung. Zusätzlich muss man den Trade-off zwischen zusätzlichem Aufwand durch das Migrieren und möglichen Einbußen der Leistungsfähigkeit, falls die Platzierung der Funktionen nicht dynamisch angepasst wird, berücksichtigen. Weitere Fragestellungen adressieren wie dynamisch Funktionen instanziiert und platziert werden können, sowie den Einfluss unterschiedlicher Designentscheidungen auf nicht-funktionale Anforderungen wie Leistungsfähigkeit oder Dynamik. Generell ist anzumerken, dass man hier einen Kreis zwischen der Analyse und Konzeption von virtuellen Netzfunktionen auf der einen Seite, und der effizienten Orchestrierung dieser auf der anderen Seite schließt. Dies war durch die langen Entwicklungszyklen von dedizierter Hardware bisher nicht gegeben. Entsprechend erhofft man sich durch kürzere Entwicklungszyklen der virtualisierten Netzfunktionen mehr Innovation und eine bessere Anpassung an die sich immer schneller ändernden Anforderungen in den Kommunikationsnetzen.

## **Orchestrierung von Funktionsblöcken virtueller Netzfunktionen**

Im Falle der weiteren Zerlegung virtueller Netzfunktionen ergeben sich für die Orchestrierung weitere Anforderungen. Einerseits ermöglicht die Aufspaltung einer Netzfunktion in einzelne Funktionsblöcke eine fein-granulare Anpassung der einzelnen Blöcke an die vorhandenen Ressourcen. Andererseits müssen bei der Orchestrierung der Funktionsblöcke zusätzlich Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Funktionsblöcken beachtet werden. So muss der Netzverkehr die Funktionsblöcke in einer bestimmten Reihenfolge durchlaufen. Außerdem muss die Orchestrierung einen zuverlässigen Austausch der Zustandsinformationen der jeweiligen Funktionsblöcke gewährleisten.

Im Folgenden wollen wir kurz auf mögliche Anwendungsfälle von NFV eingehen [6].

## **NFV Anwendungsfälle**

### **Virtualisierung des Mobilfunk Kernnetzes**

Das Kernnetz des Mobilfunks ist für den Transport des IP-basierten Verkehrs zwischen dem drahtlosen Zugangsnetz (RAN d.h. eNBs) und dem Zugangspunkt zum Internet verantwortlich. Mehrere Komponenten des Kernnetzes sind dabei durch proprietäre Hardware realisiert, welche die spezifischen Netzfunktionen betreiben. Durch die Abhängigkeit von Hardware, und damit auch von ihren Herstellern, stehen Betreiber vor mehreren Herausforderungen. Zum Beispiel kann ein bestehendes Netz wegen der langen Entwicklungszeit der Hardware nicht schnell genug an die steigenden und die sich ändernden Anforderungen angepasst werden. Zudem führt die inflexible Beschaffenheit der Hardware zu hohen Betriebskosten für den Netzbetreiber. Durch NFV verspricht man sich hier eine kürzere Zykluszeit bei der Entwicklung neuer Netzfunktionen, sowie eine bessere und dynamischere Anpassung der Funktionen an die sich ändernden Anforderungen an das mobile Kernnetz [4,5].

### **NFV im Heimnetzwerk**

Durch die Virtualisierung von Netzgeräten in den Heimnetzen der Kunden erhoffen sich Netzprovider eine signifikante Reduktion von Investitions- und Betriebskosten. So sollen Hardwaregeräte wie Zugangsroutern oder Set-Top-Boxen beim Kunden entfallen, und Funktionen wie Zugang zum Internet, Firewalling oder IPTV von Softwarefunktionen, welche auf der NFV Plattform laufen, zur Verfügung gestellt werden. Der Kunde wird hierbei über eine direkte Verbindung mit den bereitgestellten Funktionen verbunden.

Neben der bereits angesprochenen Kostensenkung erhofft man sich ein leichteres Management der nun zentralisierten Funktionen und ein Angebot von kundenfreundlicheren Mehrwertdiensten wie IPTV oder VoD.

### **Virtualisierung von Content Delivery Networks (CDN)**

Die wachsende Anzahl an unterschiedlichen Endgeräten, mit welchen Nutzer Videos in immer besserer Qualität empfangen können, führt zu einem signifikant steigenden Anteil von Videoverkehr im Internet. Die Übertragung von Inhalten, wie z.B. Videos, stellt die heutigen Netzbetreiber somit vor neue Herausforderungen. Um das Netz zu entlasten, d.h. den Netzverkehr zu verringern, wird versucht, die Server, welche die Videoinhalte zur Verfügung stellen, näher zum Nutzer zu bringen. Jedoch sind diese Server meist an die speziellen Bedürfnisse der jeweiligen Inhaltsanbieter, wie Akamai oder Limelight, angepasst. Durch NFV ergibt sich hier die Möglichkeit, dass der Netzbetreiber eine Infrastruktur zur Verfügung stellt, auf der die virtualisierten Server bzw. Netzfunktionen der Inhaltsanbieter laufen können.

### **Fazit**

Durch die Auslagerung von Netzfunktionen in Datenzentren, beschrieben durch das Konzept Network Functions Virtualization (NFV), wird eine neue Art der Flexibilisierung in Kommunikationsnetzen erreicht. Insbesondere eine Kombination mit Software Defined Networking verspricht eine dynamisch Zuordnung der Datenflüsse an die virtualisierten Netzfunktionen. Die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten und die laufende Standardisierung sind ein Zeichen für die Wichtigkeit und Aktualität dieser Konzepte für die derzeitige Entwicklung zukünftiger Kommunikationsnetze.

## **1. Literaturverzeichnis**

- [1] ETSI ISG on NFV, "Network Functions Virtualisation – Introductory White Paper", published during the SDN and OpenFlow World Congress, 2012.
- [2] N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan, G. Parulkar, L. Peterson, J. Rexford, J. Turner, "OpenFlow: Enabling Innovation in Campus Networks," ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 38(2), 2008.
- [3] Michael Jarschel, Thomas Zinner, Tobias Hoßfeld, Phuoc Tran-Gia, and Wolfgang Kellerer, "Interfaces, Attributes, and Use Cases: A Compass for SDN," IEEE Communications Magazine, 52, 2014.
- [4] A. Basta, W. Kellerer, M. Hoffmann, H. Morper, K. Hoffmann, "Applying NFV and SDN to LTE Mobile Core Gateways; The Functions Placement Problem", AllThingsCellular14, Workshop ACM SIGCOMM, Chicago, IL, USA, August 2014.
- [5] A. Basta, A. Blenk, W. Kellerer, M. Hoffmann, H. Morper, K. Hoffmann, SDN and NFV Dynamic Operation of LTE EPC Gateways for Time-varying Traffic Patterns, 6th International Conference on Mobile Networks and Management, Würzburg, Germany, September 2014.
- [6] ETSI, Network Functions Virtualisation (NFV); Use Cases, ETSI GS NFV 001 V1.1.1, Sophia Antipolis, France, Oct. 2013.