

# Analytisches Kostenmodell für das Breitbandnetz 2010

Autoren:  
K. Hackbarth, Universität von Kantabrien, Santander, Spanien  
G. Kulenkampff, WIK-Consult  
T. Plückebaum, WIK-Consult

WIK-Consult GmbH  
Rhöndorfer Str. 68  
53604 Bad Honnef  
Deutschland

Bad Honnef, 19. Mai 2010



## Executive Summary

Das vorliegende Dokument beschreibt ein bottom-up Kostenmodell für ein diensteintegriertes Breitbandnetz basierend auf dem von der ITU definierten NGN Konzept und wird zur Kommentierung veröffentlicht. Das Dokument hat zum Ziel, aufbauend auf einer durch den Kommentierungsprozess abgesicherten Modellierungsweise, dem Regulierer eine unabhängige Basis zur Durchführung von Kostenanalysen in Next Generation Networks bereitzustellen. Anwendungsfelder der Kostenmodellierung sind neben der Generierung eines umfassenden Verständnisses der Kostenzusammenhänge in Breitbandnetzen, die Ableitung effizienter Zusammenschaltungsstrukturen, die Evaluierung von Kostennachweisen sowie u.a. die Bestimmung von KeL oder der Nachweis von Preis-Kosten- und Kosten-Kosten-Scheren.

Methodisch beschreibt das Dokument ein analytisches Kostenmodell, dessen Ableitung von Mengen-, Investitions- und Kostengrößen auf einer nachfragegetriebenen bottom-up Netzdimensionierung beruht. Dabei kommt ein elementorientierter Ansatz zur Anwendung (Total Element), der es ermöglicht, eine differenzierte Kostenbetrachtung nach Wertschöpfungsstufen vorzunehmen.

Das im vorliegenden Dokument beschriebene Modell baut auf den Spezifikationen des Analytischen Kostenmodells für das Breitbandnetz, welches 2005 von der Regierungsbehörde für Telekommunikation und Post zur Konsultation gestellt wurde sowie den damals eingegangenen Kommentierungen auf. Darüber hinaus berücksichtigt es die seit dem sich vollziehenden Entwicklungen im Anschlussnetz (zunehmender Einsatz von Glasfasertechnologien, FTTx), im Konzentrationsnetz sowie im Kernnetz vor allem unter Berücksichtigung der Übertragungstechnologien und dem Multiserviceansatz unter differenzierten Qualitätsanforderungen einschließlich der Integration von Sprachdiensten.

### *Umfang der Kostenmodellierung*

Der Umfang der Kostenmodellierung umfasst das NGN Verbindungsnetz mit den Netzsegmenten

- Konzentrationsnetz (basierend auf Layer 2 Technologie) sowie
- IP-Kernnetz (basierend auf Layer 3 Technologie).

und damit nicht das Next Generation Anschlussnetz (NGA). In jedem der beiden Netzsegmente beschreibt das Modell sowohl die logische Netzschicht, bestehend aus den Layer 2 bzw. Layer 3 Einrichtungen sowie die Struktur und die Bandbreiten der sie verbindenden Leitungen als auch das physikalische Netz, welches die Bandbreitenanforderungen der Leitungsstruktur der logischen Netze mittels einer Infrastruktur aus Glasfaserverbindungen (Topologie) und zugehörigen Multiplexer und Übertragungseinrichtungen realisiert.

Das NGA und die sich in diesem Netzsegment vollziehenden technologischen Veränderungen fließen allerdings indirekt in das hier vorgestellte Modell des NGN Breitbandnetzes ein, was durch zwei Faktoren beschrieben wird:

- Anslusstechologie als Bestimmungsfaktor für die Endkundennachfrage: die vorliegenden und von den Endkunden genutzten breitbandigen Anschlussleitungen begrenzen die Kapazität und damit das von den Endkunden induzierte Verkehrsvolumen in unterschiedlicher Höhe
- Grenzziehung zwischen NGA und Konzentrationsnetz in Abhängigkeit der Technologie des NGA, zur Bestimmung der untersten Netzebene im Konzentrationsnetz

Der erste Aspekt wird im Zuge der Nachfragemodellierung aufgegriffen. Hinsichtlich der Grenzziehung zwischen NGA und Konzentrationsnetz wird auf die NGA Draft Recommendation der EU<sup>1</sup> zurückgegriffen, die den Metropolitan Point of Presence (MPoP) als Grenze zwischen NGA und dem übergeordneten NGN Verbindungsnetz definiert. Letztlich gilt für den MPoP im Falle zweier Architekturen (FTTEx sowie FTTH P2P), dass an diesem Standort die dedizierte Anschlussleitung endet. Darüber hinaus kann netzseitig festgestellt werden, dass dort aus heutiger Sicht uneingeschränkt (d.h., für jede NGA Architektur) Ethernet als Layer-2-Technologie zum Einsatz kommt, was letztlich das charakterisierende Element für dieses Netzsegment darstellt. Diese Vorgehensweise, den MPoP als unterste Netzebene zu definieren, erlaubt eine flexible Anpassung des Breitbandnetzmodells an die verschiedenen (in unterschiedlichem Umfang) glasfasergestützten Anslusstechologien, wobei die Kosten unterhalb des MPoP mit Hilfe eines Anschlussnetzmodells bestimmt werden können. Die hier gewählte Vorgehensweise stellt einen pragmatischen Ansatz dar, der das hier vorliegende Modell durch ein zusätzliches NGA-Modul ergänzbar macht, ohne eine regulatorische Grenzziehung zwischen NGA und NGN zu präjudizieren.

### *Anforderungen an die Kostenmodellierung*

Anders als bei den analytischen Kostenmodellen des WIK für das Teilnehmeranschlussnetz sowie das nationale Verbindungsnetz, bei denen die LRIC basierte Bestimmung von Vorleistungsentgelten bereits bei der Modellentwicklung im Mittelpunkt stand, wird das Anwendungsfeld des hier vorliegenden Breitbandnetz Kostenmodells sehr viel breiter definiert. Dies ergibt sich unter anderem aus dem gegenwärtigen Entwicklungsstadium der Netze, Technologien und Nachfrage breitbandiger Dienste und einer daraus resultierenden Vielzahl von Unbestimmtheiten, nicht zuletzt auch in Bezug auf Vorleistungsprodukte. Insofern ist die vom Modell abzudeckende Flexibilität sowohl hinsichtlich nachfrageseitiger als auch technologischer Entwicklungen von zentraler Bedeutung. In der Modellspezifikation werden diese Aspekte durch eine bottom-up Mo-

---

<sup>1</sup> [EU Kommission-09]: Draft recommendation on regulated access to Next Generation Access Networks (NGA); Brussels, [Draft 12 June 2009 for 2<sup>nd</sup> public consultation] C(2009); p. 12.

dellierung (d.h. nachfragegetriebene Netzdimensionierung) sowie einen modularen Modellcharakter sichergestellt. Letzterer wird durch die Trennung von Netzdimensionierung (im Wesentlichen ausgedrückt durch den zentralen Kostentreiber Bandbreite) auf der einen und Investitionswert- bzw. Kostenbestimmung auf der anderen Seite realisiert. Im Modul der Investitionswert- und Kostenbestimmung werden die Technologien hinsichtlich ihrer Kapazitäten und ihren Kosten in Form von Inputparametern berücksichtigt und sind damit an die jeweils zu berücksichtigende Technologie anpassbar. In Abhängigkeit von der Technologie und der zugehörigen Leistungsfähigkeit werden dann unter Berücksichtigung der Preise für die Produktionsfaktoren die Investitionswerte bestimmt.

Das Modell gestattet das zu betrachtende Dienstespektrum – sowohl auf der Endkunden- als auch auf der Vorleistungsseite – in Form von Dienstekategorien flexibel zu definieren und damit eine Anpassung an die Dienste- und zugehörige Verkehrsentwicklung zu ermöglichen. Damit kann die Vielzahl der zu erwartenden Dienste einer begrenzten Menge von Dienstekategorien zugewiesen werden und als gemeinsame Grundlage wird die Modellierung eines Multiservicenetzes auf Basis von IP Technologie angenommen. Das Modell gestattet es verschiedene Qualitätsklassen für die sich aus den Dienstekategorien resultierenden Verkehre zu berücksichtigen. Damit werden die Eigenschaften von paketbasierten Netzen, die auf Warteschlangensystemen beruhen, flexibel einbezogen. Das Modell gestattet damit eine Qualitätsdifferenzierung zur Abdeckung eines breiten Spektrums von best effort Diensten bis hin zu realtime Diensten.

Mit Blick auf Vorleistungsprodukte erlaubt das Modell Interconnection-Punkte auf allen Netzebenen flexibel abzubilden und damit im Bedarfsfall für Modellrechnungen anzuwenden.

Ein weiterer zentraler Aspekt ist die Anwendung eines elementorientierten Ansatzes (Total Element). Dieser besagt, dass die Dimensionierung von Netzelementen nach Maßgabe der sie gemeinsam in Anspruch nehmenden Dienste und den daraus resultierenden Verkehren zu bestimmen ist und dass diese Information für die Kostenzurechnung verwertbar gemacht werden soll. Daraus folgt letztlich die Notwendigkeit, sämtliche über das Konzentrations- und IP-Kernnetz realisierten Dienste für die Dimensionierung zu berücksichtigen – sowohl auf der logischen als auch auf der physikalischen Schicht.

In Analogie zu bereits bestehenden Modellen basiert auch das hier vorliegende Kostenmodell auf einem scorched node Ansatz. Ein solcher Ansatz erlaubt auf der einen Seite die Berücksichtigung bestehender Netzstandorte für die Modellierung. Auf der anderen Seite ist es dem Modellanwender frei gestellt, mit Hilfe exogener Informationen oder Instrumenten eine abweichende Auswahl von Standorten in das Modell einzupflegen. Dieser Aspekt ist insbesondere vor dem Hintergrund der sich verändernden Anschlussnetze und dem beobachteten Glasfaserausbau von Bedeutung, da damit ggf. eine Veränderung in der Anzahl und/oder Lage der MPoP (unterste Netzebene im Konzentrationsnetz) verbunden ist.

Da es sich um ein bottom-up Modell handelt, wird sowohl das abgeleitete Mengengerüst, als auch die Netzhierarchie aus vorzugebenden Eingangsparametern endogen bestimmt. Der Modellrahmen sieht dabei vor, dass – neben den Standorten – die Anzahl der Netzebenen vorzugeben ist. Um auch hier eine gewisse Flexibilität zu gewährleisten, können für das Konzentrationsnetz zwei bzw. drei Netzebenen modelliert werden. Für das IP-Kernnetz wird zusätzlich die Möglichkeit eines flachen, Ein-Ebenen Kernnetzes vorgesehen. Diese Variationsmöglichkeiten gestatten eine ausreichende Basis für Vergleichsrechnungen und erlauben es, effiziente Zusammenschaltungsstrukturen zu identifizieren. Letztlich ermöglicht dieser Modellansatz auch eine Anwendung für unterschiedlich große Versorgungsbereiche und -dichten.

Für das physikalische Netz gestattet das Modell eine parametergesteuerte endogene Ableitung von Netztopologien (typischerweise basierend auf Ring- bzw. vermaschten Topologien). Die Spezifikation des Breitbandnetz Kostenmodells 2005 sah noch getrennte logische Netzstrukturen für Schmal- und Breitbanddienste vor. Das vorliegende Modell betrachtet dagegen eine vollständige Integration aller Dienste schon in der logischen Schicht in Form eines Multiservicenetzes. Es erlaubt darüber hinaus, Layer 1 Dienste (Mietleitungen) bei der Dimensionierung der physikalischen Netzschicht einzu beziehen.

In einem NGN basierten Multiservicenetze ist die sog. Kontrollschicht von größerer Bedeutung als in klassischen Netzen. Diese Kontrollschicht übernimmt die Funktionen der Signalisierung sowie des Betriebs und der Überwachung der Einrichtungen und Verbindungen sowohl in der logischen als auch physikalischen Netzschicht. Das hier vorliegende Kostenmodell bestimmt die Kosten durch ein zugehöriges Modul. Da auch hier hinsichtlich der mittelfristig zu realisierenden Strategien der Netzbetreiber und den entsprechenden Einrichtungen relativ große Freiheitsgrade bestehen, können im Modell zusätzlich Netzelemente, wie sie unter anderem in einer NGN/IMS Architektur, aber auch bei der Erweiterung des best effort Internets zu einem QoS differenzierten NGN zu finden sind, berücksichtigt werden. Dazu erfasst das Modell die zugehörigen Kostentreiber, womit auch für die Einrichtungen der Kontrollplattform eine nachfragegetriebene Dimensionierung vorgenommen werden kann.

### *Nachfragemodellierung*

Die nachfragegetriebene Dimensionierung des Netzes ist konstitutives Element der bottom-up Kostenmodellierung. Entsprechend kommt diesem Aspekt im hier vorliegenden Modell eine zentrale Bedeutung zu. Um den vorne beschriebenen Anforderungen an die Modellanwendung nachzukommen, gestattet das Modell sowohl reale Nachfragegrößen, die von den zu betrachtenden Netzbetreibern bereitgestellt werden, zu berücksichtigen, als auch unabhängig davon auf Basis von Nachfrageschätzungen Informationen zu generieren und die Kostenmodellierung auf diese abzustützen.

In Erweiterung gegenüber dem Kostenmodell für das nationale Verbindungsnetz, welches vermittelte Minuten zwischen zwei Endkunden (sog. Client-Client Verkehrsrelationen) zum Gegenstand hatte, berücksichtigt das hier vorliegende Modell die im Breitbandnetz zusätzlich erforderlichen Client-Server Verbindungen, ebenfalls in Verbindung mit den zugehörigen Zusammenschaltungspunkten mit Netzen Dritter. Als weitere Besonderheit gestattet das Modell die Kontrolle über die Auswahl der Standorte und Anzahl der Server – wieder mittels zugehöriger Eingabeparameter. Ferner ist es in dem Modell möglich, Verteildienste wie z.B. IPTV in die Nachfragemodellierung einzubeziehen, ebenfalls unter Einschluss der Zusammenschaltungspunkte.

Das hier vorliegende Modell sieht vor, dass die Nachfrage der Nutzer auf die MPoP-Standorte, an die sie mit ihrer FTTx-Anschlusstechnologie angeschlossen sind, zu projizieren und dort zu aggregieren. Dabei wird bei der Verkehrsnachfrage für sämtliche IP-basierten Dienste nach up- und downstream unterschieden. Eine Ausnahmestellung haben Multicast-Dienste. Da das bei der Netzdimensionierung zu berücksichtigende Verkehrsvolumen nicht mit der Anzahl der Nutzer dieses Dienstes ansteigt (sondern gerade wegen des Multicast-Charakters in den höheren Netzebenen nur einmal übertragen werden muss), werden Multicast-Verkehre gesondert berücksichtigt.

Um der Zielsetzung des elementorientierten Ansatzes folgend, die Nachfrage sämtlicher Dienste je Netzelement abbilden zu können, wird vom Modell, auf Basis der Spezifikation einer Verkehrsmatrix die Verkehrsführung innerhalb des Netzes nachgebildet. Dazu werden Verkehrsverteilungsfunktionen (die nach Maßgabe gemeinsamer Verkehrsziele und Verkehrsklassen zusammenzufassen sind) abgeleitet. Auf diese Weise kann für jedes Netzelement (Knoten und Kanten) die individuelle Nachfrage – gemessen in Bandbreite und Paketrate bestimmt werden.

### *Konzentrationsnetz*

Die Spezifikation des Modells sieht ein Layer 2-basiertes Konzentrationsnetz vor, welches die zentrale Aufgabe eines Zugangsnetzes erfüllt. Wie aus der Bezeichnung „Konzentrationsnetz“ bereits hervorgeht, ist für die IP basierten Dienste von einer streng hierarchischen Verkehrsführung auszugehen: Die in dem Anschlussnetz induzierten Verkehre werden am MPoP gebündelt und in das Konzentrationsnetz übergeben, welches diese auf dem Weg zum IP-PoP weiter konzentriert. Der Umfang der Konzentrationsstufen kann entweder zwei oder drei Netzebenen umfassen, wobei der Modellanwender sowohl die Zahl der Netzebenen als auch die Zahl der Netzknoten je Ebene steuern kann.

Entsprechend des Konzentrationscharakters wird auf der logischen Schicht für die IP-Verbindungen eine sternförmige Anbindung der Netzknoten (im 2-Ebenen-Netz) bzw. eine Anbindung im Doppelstern (im 3-Ebenen-Netz) vorgesehen.

Neben den IP-Verkehren gestattet das Modell, auch reine Layer 2-Verkehre einzubeziehen, die vornehmlich zur Vernetzung von Geschäftskundenstandorten von Bedeutung sind. In Abhängigkeit ihres Umfangs wird damit die Möglichkeit zur Vermaschung des logischen Netzes für diese reinen Layer 2 Verkehre vorgesehen. Zu diesem Zweck kann die Einrichtung von Querwegen über Eingabeparameter (Schwellwerte) gesteuert werden.

### *IP-Kernnetz*

Da im Modell IP Technologie langfristig als die zentrale Layer 3 Technologie für das Kernnetz angesehen wird, findet sich an dieser Stelle keine technologieneutrale Formulierung. Hinsichtlich der Zahl der Netzebenen wird eine weitgehende Flexibilität unterstellt, die die Variation von ein über zwei bis zu drei Netzebenen erlaubt. Die logische Netzstruktur ist dabei vermascht, wobei der Vermaschungsgrad durch Eingabeparameter in das Modell gesteuert wird.

Ebenso wie bei der Modellierung des Konzentrationsnetzes kann die Zahl der Netzknoten in jeder Ebene durch den Modellanwender gesteuert werden.

Die Standorte der Verkehrsziele, die durch Server oder Zusammenschaltungspunkte charakterisiert sind, werden im Modell parametergesteuert festgelegt. Komparativ-statische Vergleichsrechnungen ermöglichen damit Aussagen zur Effizienz dieser Standortwahl.

Systemkomponenten für die Realisierung unterschiedlicher Verkehrsklassen können über das im Modell entwickelte Kostenmodul erfasst werden. Dazu werden Strategien der Überdimensionierung, Verkehrspriorisierung aber auch Kapazitätsreservierung im Modell abgebildet

### *Redundanzen*

Sowohl im Konzentrations- als auch im IP-Kernnetz werden durch das Modell auf der logischen Schicht Redundanzen berücksichtigt. Gegenstand der Absicherung sind dabei sowohl die technischen Einrichtungen als auch die Standorte, wobei der Umfang der Redundanz über Eingabeparameter gesteuert wird.

### *Physikalisches Netz*

Unabhängig von der Anzahl der Netzebenen wird für die physikalische Schicht vom Modell eine Ring- bzw. eine vermaschte Topologie vorgesehen, um entsprechende Redundanzen sicherzustellen. Die physikalische Anbindung von Standorten in einem gemeinsamen Ring leitet sich dabei aus der logischen Struktur des Netzes ab und wird

vom Modell entsprechend über die Vorgaben bei der Spezifikation des logischen Netzes gesteuert.

Hinsichtlich der Übertragungstechnologie werden mit Hilfe des modularen Charakters im Kostenmodell möglichst viele Freiheitsgrade für die Modellanwendung beschrieben. Somit ist die Parametrisierung im Kostenmodul mit besonderen Informationsanforderungen verbunden, die die Kapazitäten und Leistungsmerkmale der jeweils zu Grunde zu legenden Multiplexer- und Übertragungstechnologie festlegen. Das Modell wird dabei so angelegt, dass die Übertragungstechnologie je Netzebene festgelegt werden kann.

Hinsichtlich der Technologien ist anzumerken, dass vom Modell ein Spektrum von Next Generation SDH (NG SDH) bis hin zu Generic Frame Procedure over Optical Transport Network (GFP over OTN) sowie Internet Protocol over Generalized Multiprotocol Label Switching (IP over GMPLS) abbildbar sein sollen.

#### *Netzdimensionierung*

Die aus Endkundennachfrage in der Hauptverkehrsstunde, Verkehrsmatrix und Verkehrsverteilungsfunktionen resultierende Verkehrsmenge auf den individuellen Knoten und Kanten des Netzes bildet im Modell die Grundlage für die Netzdimensionierung. In Ergänzung sind vom Modellanwender Auslastungsfaktoren für die Einrichtungen des Netzes festzulegen. Sofern Verkehrsklassen differenziert werden sollen, ist eine den zu Grunde gelegten Verkehren angepasste Parametrisierung vorzunehmen. Voraussetzung ist, dass die Verkehrsströme – wie bei der Nachfragemodellierung beschrieben – hinsichtlich ihrer Verkehrscharakteristik (z.B. Echtzeit, Semi-Elastisch, Elastisch, best effort) differenziert werden. Ausgehend von den Verkehrswerten je Verkehrsklasse (in der Hauptverkehrsstunde) wird im Modell unter Anwendung von Mark-up Faktoren eine zur Netzdimensionierung heranzuziehende äquivalente Bandbreite abgeleitet, deren Wert je nach Qualitätsanforderung oberhalb der vom Dienst erforderlichen mittleren Bandbreite liegen kann. Der Mark-up Faktor steigt dabei mit den Qualitätsanforderungen der den jeweiligen Diensten zu Grunde liegenden Verkehrscharakteristik.

In dem vorgelegten Dokument wird unter Rückgriff auf Modelle der Warteschlangentheorie beschrieben, dass unter Angabe von Qualitätswerten über die mittlere Durchlaufzeit der Datenpakete entsprechende Mark-up Faktoren berechnet werden können, um mittels der äquivalenten Bandbreite eine Obergrenze für die Netzdimensionierung abzuleiten. Das Modell gestattet es, Mark-up Faktoren für jede Verkehrsklasse individuell zu bestimmen.

### *Kontrollplattform*

Zu den Einrichtungen der Kontrollplattform zählen je nach verwendeter Architektur des NGN Breitbandnetzes Systeme wie BRAS, Radius, SIP-Server oder auch Softswitches bzw. Einrichtungen des IMS. Hinsichtlich der Signalisierungsfunktion wird im Modell die Anzahl der Verbindungsversuche je Dienst als Kostenreiber zu Grunde gelegt und für die Dimensionierung verwendet. Bezüglich der Funktionen für Betrieb und Überwachung sind pauschale Ansätze zu wählen, die aus dem gesamten Verkehrsvolumen abgeleitet werden können.

Das Modell sieht auch hier einen modularen Aufbau vor, der es in Abhängigkeit der Netzarchitektur erlaubt, die zugehörigen Netzelemente zu berücksichtigen.

### *Investitionswertermittlung*

Aufgrund des elementorientierten Ansatzes kann mit dem Modell eine vollständige Stückliste aller netztechnischen Ausrüstungskomponenten erstellt werden, die in einem nächsten Schritt mit Investitionspreisen (Modellinput) zu bewerten sind.

Investitionskomponenten, die nicht direkt in Abhängigkeit des Verkehrs erfasst werden, fließen über Zuschlagsfaktoren in die Kostenrechnung ein.

Für eine Ableitung der Kapitalkosten werden im Modell Parameter angelegt, die eine anlagenspezifische Festlegung der ökonomischen Nutzungsdauern und Preisveränderungen sowie des Zinssatzes erlauben.

Die Modellierung von Betriebskosten ist nicht Gegenstand dieses Modells. Sie kann auf Basis von Zuschlagfaktoren auf die Investitionswerte erfolgen. Diese werden dabei differenziert nach Switching-/Routingequipment und Linientechnik sowie nach Netzebenen.

Aufgrund des Total Element-Ansatzes können Routingfaktoren berechnet werden, die eine dienstespezifische Zurechnung von Kosten erlauben. Im hier vorliegenden Dokument werden jedoch keine Aussagen abgeleitet, die eine konkrete Form der Kostenzurechnung nahe legen, da diese zum gegenwärtigem Zeitpunkt noch offen ist.