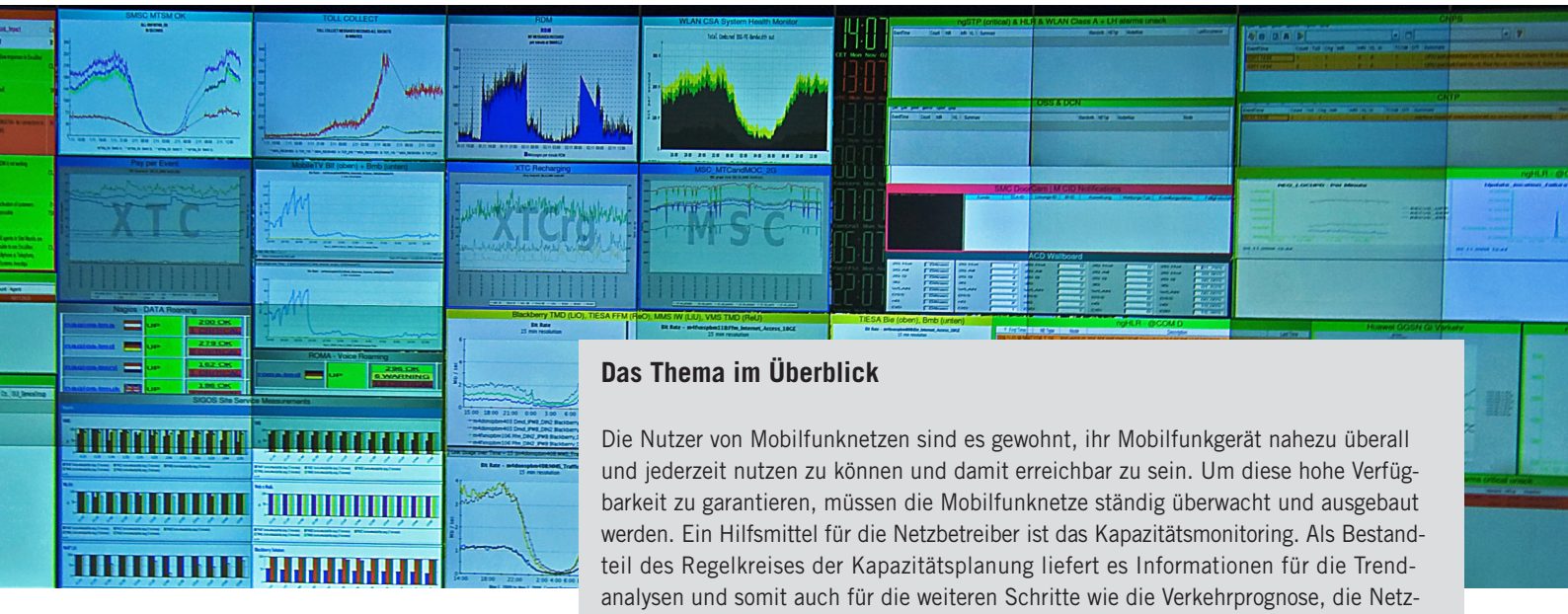


Das Thema im Überblick

Die Nutzer von Mobilfunknetzen sind es gewohnt, ihr Mobilfunkgerät nahezu überall und jederzeit nutzen zu können und damit erreichbar zu sein. Um diese hohe Verfügbarkeit zu garantieren, müssen die Mobilfunknetze ständig überwacht und ausgebaut werden. Ein Hilfsmittel für die Netzbetreiber ist das Kapazitätsmonitoring. Als Bestandteil des Regelkreises der Kapazitätsplanung liefert es Informationen für die Trendanalysen und somit auch für die weiteren Schritte wie die Verkehrprognose, die Netzsimulation und die Ausbauplanung von Mobilfunknetzen.

Kapazitätsmonitoring im Rahmen der Netzplanung für Telekommunikationsnetze

Telekommunikationsnetze bilden das Rückgrat der modernen Informationsgesellschaft. Daher ist es wichtig, dass sie jederzeit alle Dienste für die Kunden bereitstellen können. Sie müssen daher so geplant, aufgebaut und weiterentwickelt werden, dass sie den prognostizierten Datenverkehr immer zuverlässig transportieren können. Mit dem Kapazitätsmonitoring als Teil des Kapazitätsplanungsprozesses lässt sich die tatsächliche Auslastung der Netze messen und mit der ursprünglichen Verkehrsprognose vergleichen. Dieser Beitrag baut auf dem Beitrag „Planung, Aufbau und Betrieb moderner Telekommunikationsnetze“, WissenHeute Nr. 11/2009, auf.

Die Autoren

Dipl.-Ing. Stefanus Römer studierte Allgemeine Elektrotechnik an der RWTH Aachen und arbeitet seit über 15 Jahren in verschiedenen Positionen innerhalb der Deutschen Telekom. Aktuell ist er als Teamleiter in der zentralen Netzplanung bei T-Mobile Deutschland tätig.

Dipl.-Ing. Rainer Larres studierte Nachrichtentechnik an der FH Köln und ist zurzeit in der zentralen Netzplanung bei T-Mobile Deutschland tätig.

Einleitung

Das Kapazitätsmonitoring ist ein wesentlicher Teil der Kapazitätsplanung und ermöglicht es, die Ausbauplanung anhand der tatsächlichen Netzauslastung regelmäßig zu prüfen. Dadurch kann sichergestellt werden, dass der stark wachsende Datenverkehr in den TK-Netzen jederzeit zuverlässig transportiert werden kann und zudem keine Überkapazitäten entstehen.

Kapazitätsplanung

Die Kapazitätsplanung hat die Aufgabe, im gesamten Telekommunikationsnetz bedarfsgerecht und mit minimalem Aufwand die benötigten Netzkapazitäten zur Verfügung zu stellen. Das bedeutet, dass es in keiner Netzkomponente zu Verarbeitungsengpässen kommen darf. Weiterhin dürfen keine Kapazitäten aufgebaut werden, die über die notwendigen Reserven für Redundanzen[1] und einen weiteren Verkehrsanstieg hinausgehen.

Kapazitätsplanungsprozess

In Bild 1 ist der gesamte Kapazitätsplanungsprozess als geschlossener Regelkreis dargestellt, der die folgenden Teilschritte umfasst:

- Marketingprognose erstellen
- Verkehrsprognose erstellen
- Netzsimulation durchführen
- Ausbauplanung durchführen
- Implementierung der Ausbauplanungs-Maßnahmen
- Kapazitätsmonitoring durchführen und Trendanalyse erstellen

[1] **Redundanz:** Mehrfaches Vorhandensein einer Komponente um Ausfälle im Netz zu kompensieren.

Bild 1 Kapazitätsplanungsprozess

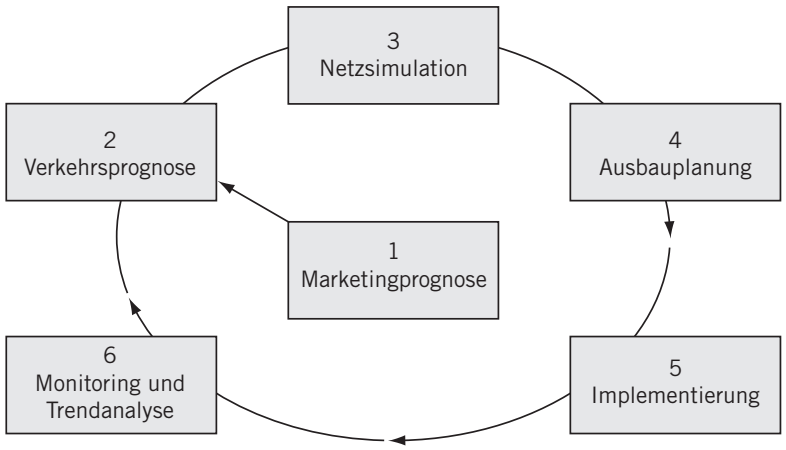


Bild 2 Netzsimulation

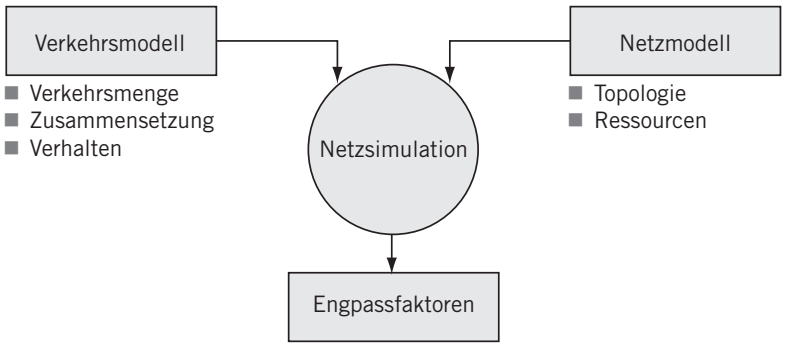
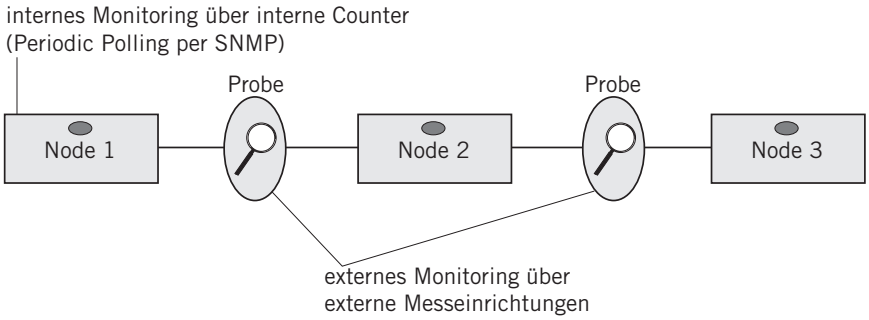


Bild 3 Internes und externes Monitoring



SNMP Simple Network Management Protocol

Die Marketing-Abteilung eines Netzbetreibers erstellt in regelmäßigen Abständen eine **Marketingprognose**, die die jeweilige Marktentwicklung, die technischen Neuerungen oder besondere Verkaufsaktionen aufzeigt. Die Marketingprognose ist der Ausgangspunkt des Regelkreises zur Kapazitätsplanung.

Eine **Verkehrsprognose** liefert Angaben zur Entwicklung der kritischen Kenngrößen aus dem Verkehrsmodell und wird in regelmäßigen Abständen auf der Grundlage der aktuellen Messdaten aus dem Kapazitätsmonitoring und der Marketingprognose angepasst. Zusammen mit der Verkehrsprognose bilden das Verkehrs- und das Netzmodell die Grundlage der Netzsimulation, sind jedoch nicht Bestandteil des Regelkreises zur Kapazitätsplanung. Daher sind sie in Bild 2 als Ergänzung zu Bild 1 einzeln dargestellt: Das Verkehrsmodell beschreibt anhand der Datennetz-Kenngrößen die Menge und Zusammensetzung des Verkehrs sowie das Verkehrsverhalten über die einzelnen Netzverbindungen und Einzelkomponenten der verschiedenen Netzknoten. Das Netzmodell beschreibt das TK-Netz anhand des ursprünglichen Netzplans (Design) und der aktuellen Netzkonfiguration mit ihrer Topologie (Netzarchitektur), den Übertragungs- und Netzknotenressourcen (Prozessoren und Speicher) und der Verkehrsverteilung.

Das Netz- und Verkehrsmodell bilden zusammen mit der Verkehrsprognose die Grundlage für die **Netzsimulation**, die die kritischen **Engpassfaktoren** wie Übertragungswege, CPU-Last oder Speicherausnutzung ermittelt (s. Bild 2). Aus der Netzsimulation ergeben sich zusätzlich die Kapazitätsgrenzen der einzelnen Komponenten, aus denen zusammen mit der prognostizierten Verkehrsentwicklung die **Ausbauplanung** erstellt wird (s. Bild 1). Die sich daraus ergebenden konkreten Ausbaumaßnahmen werden bei der nachfolgenden **Implementierung** im TK-Netz umgesetzt.

Am Ende jedes Zyklus werden das **Kapazitätsmonitoring** und die **Trendanalyse** durchgeführt. Das Kapazitätsmonitoring liefert kontinuierlich Messdaten (Istwerte), mit denen die Verkehrsprognose als Eingangsgröße (Sollwert) verglichen wird. Werden Abweichungen zwischen Soll- und Istwerten festgestellt, wird die Ausbauplanung angepasst.

Verkehrsverteilung

Die tatsächliche Verkehrsverteilung hat einen großen Einfluss auf die Bestimmung der maximalen Verkehrslast im gesamten TK-Netz. In der Regel wird bei der Netzsimulation eine ideale Gleichverteilung des Verkehrs über alle Systemressourcen vorausgesetzt. Dieser Zustand lässt sich in Netzen jedoch nur näherungsweise erzielen. Weil

sich zudem das Nutzerverhalten und die Netzkonfiguration ständig ändern, ist die Verkehrsverteilung nie konstant. Um im laufenden Netzbetrieb eine gleichmäßige Verteilung des Verkehrs zu erreichen, muss die Verkehrsverteilung auf der Grundlage des Kapazitätsmonitorings regelmäßig überwacht und durch gezielte Umschaltemaßnahmen optimiert werden. Hiermit soll verhindert werden, dass einzelne Netzressourcen an ihre Auslastungsgrenzen stoßen, wenn andere gleichwertige Netzkomponenten hingegen noch ungenutzte Kapazitäten aufweisen.

Verkehrsmonitoring

Das Verkehrsmonitoring umfasst alle Techniken, die zur Verkehrsmessung, Verkehrsaufzeichnung oder zur Erstellung von Verkehrsstatistiken dienen. Der Begriff „Monitoring" bezieht sich auf alle lokalen komponenten- oder verbindungsbezogenen Messgeräte (Probes) und Systeme, mit denen die Messdaten untereinander oder mit anderen Daten in Zusammenhang gebracht, verdichtet und angezeigt werden können.

Das Verkehrsmonitoring erfüllt nicht nur die Anforderungen der Kapazitätsplanung, sondern dient auch während der Betriebsphase zur lokalen Fehlereingrenzung und der Qualitätssicherung der Dienste in der Ende-zu-Ende-Kette. Das Verkehrsmonitoring umfasst die folgenden Teilbereiche:

- Kapazitätsmonitoring
- Fault-Monitoring
- Performance-Monitoring

Das **Kapazitätsmonitoring** liefert verdichtete Messdaten, die den Prognosewerten möglichst genau entsprechen sollten und einen Vergleich von Soll und Ist ermöglichen. Bei der Kapazitätsplanung werden ausschließlich statistische Messgrößen wie Häufigkeiten, Mittelwerte oder Streuungen sowie bestimmte Korrelationen[2] zwischen den einzelnen statistischen Messgrößen benötigt. Detaillierte und kurzzeitige Verkehrsaufzeichnungen (Traces) an einzelnen Komponenten oder Verbindungen, wie sie im **Fault-Monitoring** benötigt werden, sind bei der Kapazitätsplanung nicht verwertbar. Ebenso sind korrelierte Daten aus dem Bereich des **Performance-Monitorings**, die sich auf die Qualität der Ende-zu-Ende-Kette eines Dienstes wie z.B. dem Web-Surfing beziehen, nur bedingt verwertbar.

Bild 4 Aktives und passives Monitoring

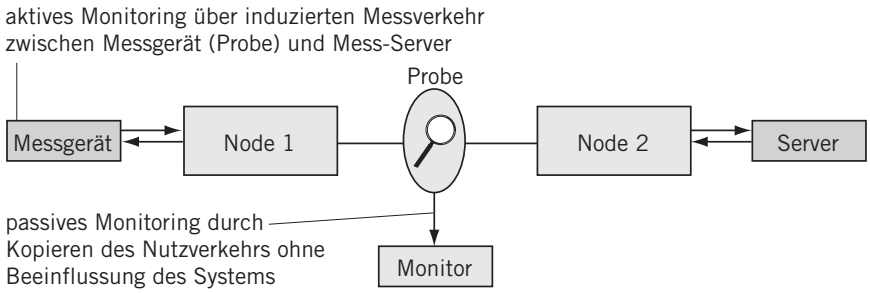
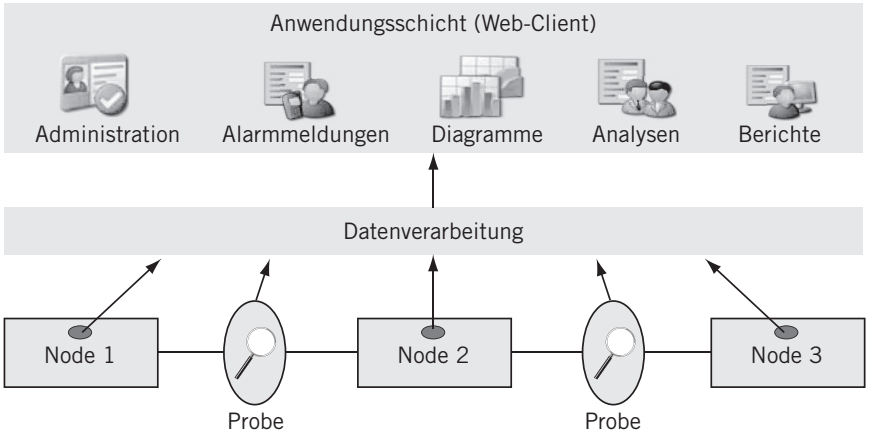


Bild 5 Verarbeitung von Monitoringdaten



Anforderungen an das Monitoring

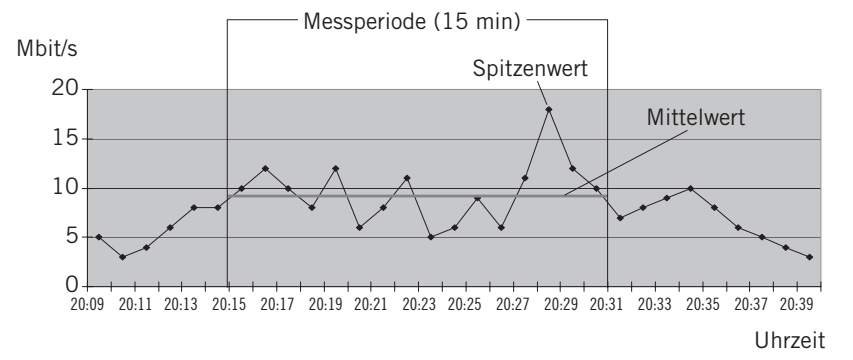
Die Teilbereiche Kapazitätsplanung, Service-Management und Fault-Management stellen jeweils unterschiedliche Anforderungen an das Monitoring. Im Rahmen der Kapazitätsplanung wird ein Kapazitätsmonitoring benötigt, das sich am jeweiligen Verkehrsmodell orientiert und die Eingangsgrößen der Verkehrssimulation möglichst vollständig wiedergibt.

Das Service-Management hat die Aufgabe, die Netzqualität aus Kundensicht zu messen und zu überwachen, indem die sogenannten KPI mit Hilfe von externem Monitoring entlang der gesamten Übertragungskette gemessen werden. Die KPI wurden in verschiedenen internationalen Standardisierungsgremien definiert. Die wichtigsten KPI sind: Delay, Jitter und Paketverlust. Einzelverbindungen, Einzelkomponenten oder Messwerte von unteren OSI-Schichten haben hierbei keine Bedeutung.

Das Fault-Management benötigt demgegenüber in der Regel detaillierte komponenten- oder verbindungsbezogene Verkehrsaufzeichnungen (Traces) der Protokolle auf verschiedenen OSI-Schichten, um bedarfsweise konkrete Fehlerfälle analysieren und eingrenzen zu können. Dazu werden mit dem Fault-Monitoring Fehler an bestimmten

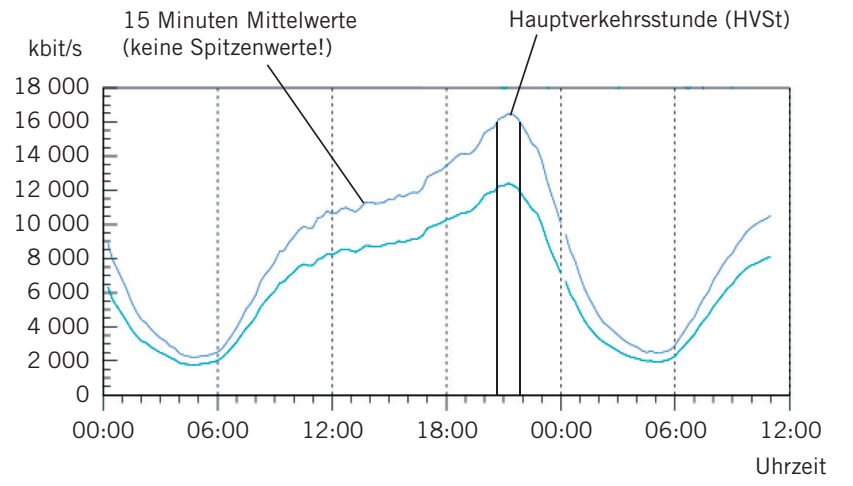
[2] **Korrelation:** Sie beschreibt den Zusammenhang zwischen zwei oder mehreren statistischen Variablen.

Bild 6 **Messintervall mit Mittel- und Spitzenwert**



HVSt Hauptverkehrsstunde

Bild 7 **Tagesgang**



Schnittstellen oder Einzelkomponenten eingegrenzt. Hierzu müssen häufig detaillierte Verkehrsaufzeichnungen vorgenommen werden, mit denen einzelne Protokollnachrichten auf verschiedenen OSI-Schichten geprüft werden.

Verwendete Abkürzungen

CPU	Central Processing Unit
HVSt	Hauptverkehrsstunde
KPI	Key Performance Indicator
OSI	Open Systems Interconnection
SNMP	Simple Network Management Protocol
SPAN	Switch Port Analyser

Monitoring-Konzepte

Das Monitoring wird in die folgenden beiden Konzepte unterteilt, die in Bild 3 und Bild 4 dargestellt sind:

- externes und internes Monitoring
- aktives und passives Monitoring

Beim **externen Monitoring** wird ein zusätzliches Monitoring-Gerät (Probe) in den Verbindungsweg zwischen zwei Nodes eingeschleift, um den Verkehr für einen kurzen Zeitraum vollständig aufzuzeichnen oder auch, um kontinuierliche Verkehrsmessungen vorzunehmen. Das **interne Monitoring** greift auf die internen Zählerstände einer Netzkomponente zu. Die Zählerstände werden periodisch, z.B. über SNMP, ausgelesen und im Anschluss daran einer externen Verarbeitung zugeführt.

Die Bezeichnung aktiv oder passiv kennzeichnet, wie die Monitoring-Daten im Netz abgegriffen werden. Beim **passiven Monitoring** werden die Daten innerhalb des IP-Netzes vom Server oder System passiv mitgeschnitten und im Bedarfsfall an ein externes System zur Auswertung gesendet. Optische Signale können beispielsweise über sogenannte Splitter oder SPANs abgegriffen werden, ohne das ursprüngliche Signal zu beeinflussen. Die Messdaten des passiven Monitorings werden periodisch von einem externen Verarbeitungssystem ausgelesen und vordefinierter Berichtsdefinitionen entsprechend aufbereitet (Bild 5).

Beim **aktiven Monitoring** werden Übertragungen und Anwendungen im IP-Netz oder in einer Service-Area (Service-Umgebung) simuliert. Mithilfe von speziellen Messautomaten werden die Qualitätsparameter des Verkehrs zwischen Messgerät (Probe) und Mess-Server auf Anwendungsebene (Layer 7) der gesamten Ende-zu-Ende-Kette gemessen. Zu den Qualitätsparametern zählen z.B. Delay, Jitter, Paketverlust, Paketwiederholungen oder Durchsatz. Diese periodischen Messungen dienen der Überwachung der Service-Level und der Performance aus Kundensicht.

Wichtige Messgröße HVSt

Telekommunikationsnetze werden stets auf den Verkehrsspitzenwert in der sogenannten HVSt dimensioniert. Die **HVSt** ist das zusammenhängende Stundenintervall innerhalb einer Woche mit den vier höchsten aufeinanderfolgenden Viertelstundenmittelwerten. In der Regel sind die täglichen Verkehrsverläufe sehr ähnlich zueinander und wiederholen sich im Wochenrhythmus. Der Grund hierfür liegt in den festen Gewohnheiten der Nutzer. Daher bleibt die HVSt über eine lange Zeit nahezu unverändert. Die HVSt bezieht sich auf eine einzelne Komponente, eine einzelne Verbindung, ein beliebiges Teilnetz oder auf das gesamte TK-Netz. Sie unterscheidet sich zudem nach der

jeweiligen Verkehrsart wie z.B. dem Signalisierungs- oder Nutzverkehr. Die HVSt einzelner Netzelemente weichen häufig nur geringfügig voneinander ab.

Eine Messgröße wie der Datendurchsatz wird von den internen oder externen Probes jeweils in diskreten Zeitabständen aufgezeichnet. Hierbei werden die Zählerstände über eine Messperiode von meistens 15 Minuten inkrementiert[3] und am Ende der Messperiode ausgelesen. Hieraus berechnet sich ein Mittelwert über die jeweilige Messperiode. Der tatsächliche Spitzenwert liegt immer höher als der ermittelte Messwert (Bild 6). Er lässt sich nur näherungsweise bestimmen, indem die Messperiode weiter verkürzt wird. Hierdurch steigt jedoch die Datenmenge und der Verarbeitungsaufwand. Es entsteht daher immer ein Kompromiss zwischen der Anforderung der notwendigen Messgenauigkeit und dem dazu notwendigen vertretbaren Aufwand. Die Kapazitätsplanung kompensiert die Messungenauigkeiten dadurch, dass zwischen der Kapazitätsgrenze und der tatsächlicher Auslastung ein Sicherheitsabstand eingehalten wird.

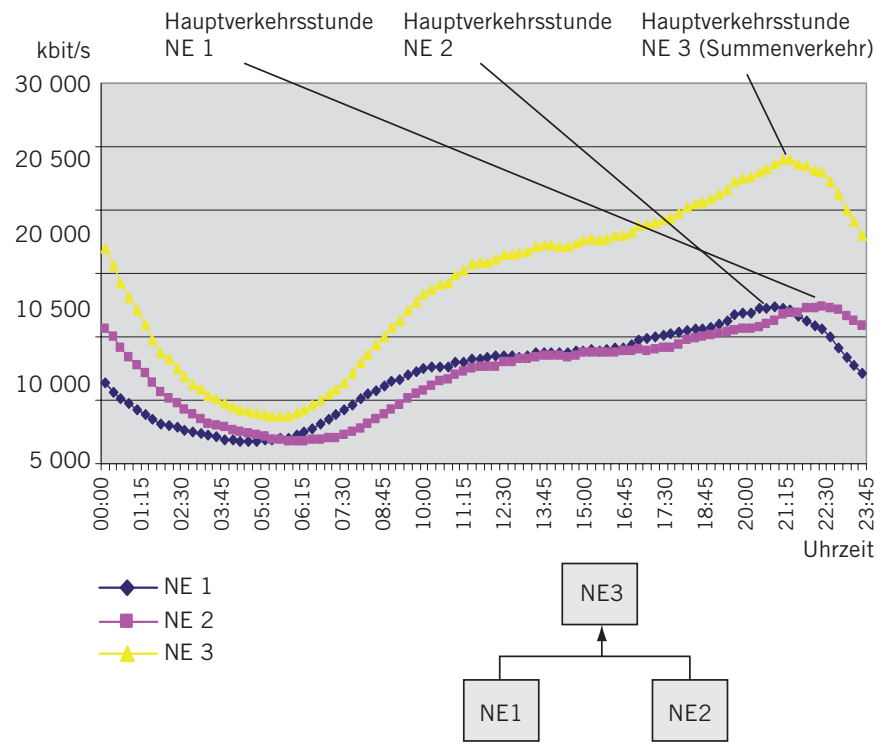
Der **Tagesgang** (Bild 7) ist eine Aufzeichnung aller Mittelwerte über einen Zeitraum von 24 Stunden und hat üblicherweise einen gleichbleibenden Verlauf mit deutlich erkennbaren Minima und Maxima. In Bild 8 sind der Tagesgang des übergeordneten Netzelements 3 und den beiden verbundenen untergeordneten Netzelementen 1 und 2 mit den jeweiligen HVStn dargestellt. Es ergeben sich in der Regel nur geringfügige Verschiebungen und somit eine andere HVSt im Wochengang. Zudem erhöht sich die statistische Sicherheit durch das Einbeziehen mehrerer Netzelemente, und die HVSt eines übergeordneten Netzelements ist immer stabiler als die HVSt der verbundenen Einzelkomponenten.

Wie in Bild 9 dargestellt, werden in der Wochengangskurve die jeweiligen Maxima der HVSt miteinander verbunden. Dadurch ergibt sich eine Einhüllende, die die Grundlage für eine Langzeitbetrachtung und die darauf aufbauende Trendanalyse bildet.

In der **Monatsgangkurve** lässt sich auf Grundlage der Einhüllenden eine Trendkurve ableiten und die Kapazitäts- und Ausbaugrenzen aus der Netzsimulation können eingetragen werden (Bild 10). Die Ausbaugrenze ergibt sich aus der Kapazitätsgrenze minus eines Sicherheitsabstands oder einer Marge, die die Modellungenauigkeiten im Kapazitätsplanungsprozess kompensieren.

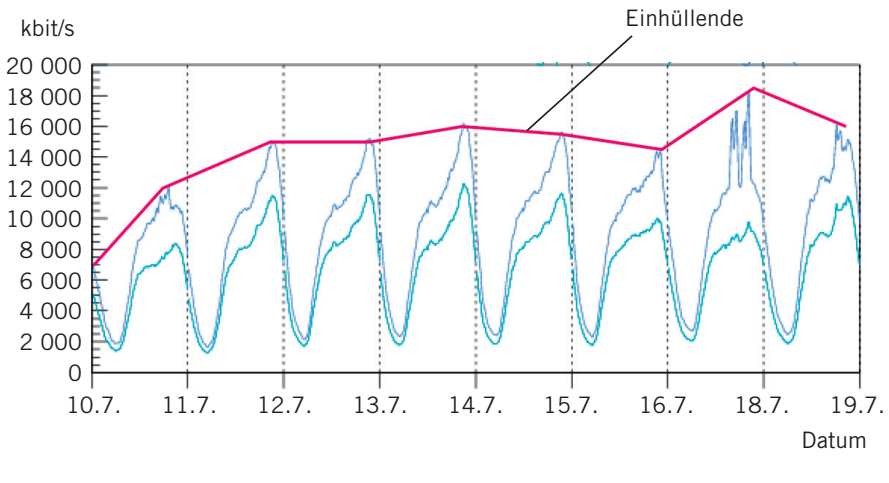
Eine langfristige Trendanalyse ist in Bild 11 dargestellt. Hierin lassen sich die Ausbaugrenzen verschiedener Ausbaustufen entsprechend der Ausbauplanung einzeichnen.

Bild 8 Tagesgangüberlagerung von drei Netzelementen



NE Netzelement

Bild 9 Wochengang



[3] **inkrementieren:** vergrößern, erhöhen.

Bild 10 Monatsgang

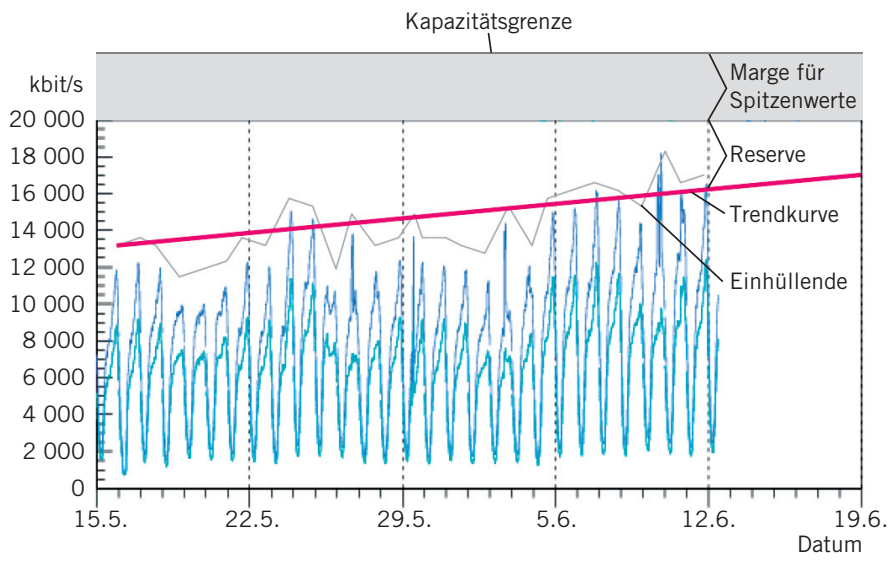
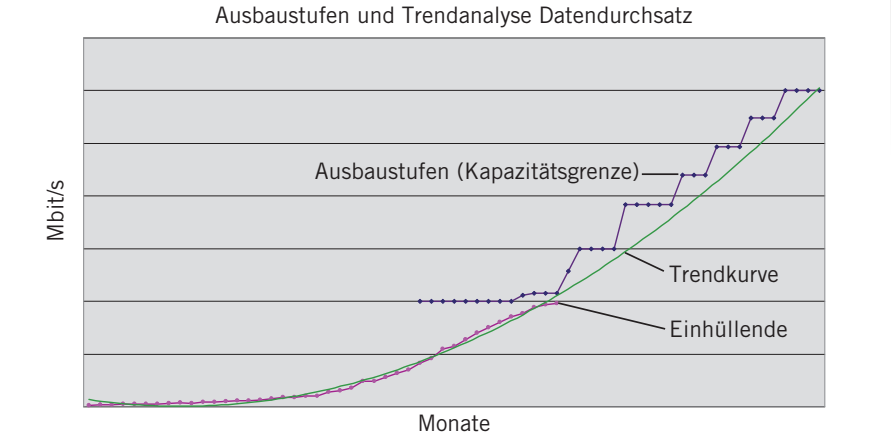


Bild 11 Langfristige Trendanalyse



Wenn die Trendkurve deutlich vom Verlauf der geplanten Ausbaugrenze abweicht, müssen die Verkehrsprognose überarbeitet und weitere Ausbaumaßnahmen geplant werden.

Modellungenauigkeiten

Der Prozess der Kapazitätsplanung baut auf Verkehrsprognosen und -modellen auf und unterliegt verschiedenen Unsicherheiten. Zu der grundsätzlichen Ungewissheit jeder Verkehrsprognose kommen folgende Faktoren hinzu, die zu den Modellungenauigkeiten führen:

- Die Annahme einer gleichmäßigen Verkehrsverteilung über die einzelnen Netzressourcen.
- Die grundsätzliche Unsicherheit einer Netzsimulation.

Es ist wichtig, diese Unsicherheiten zu berücksichtigen, indem die Planungszyklen in möglichst kurzen Abständen wiederholt werden. Weiterhin müssen ausreichende Toleranzen als Sicherheitsabstände zu den ermittelten Kapazitätsgrenzen eingehalten werden. *(GI)*

Literaturhinweise

ITU-T Recommendation Y.1540 „IP Data Transport Service – IP packet transfer performance metrics“

3GPP TS 22.105 „Services and Service Capabilities (Release 4)“