

Exemplarisches Langzeitreporting von Netzverfügbarkeiten

Uwe Hillmer
Regionales Rechenzentrum Erlangen (RRZE)
Martensstrasse 1, 91058 Erlangen
uwe.hillmer@rrze.uni-erlangen.de

Zusammenfassung: So wie das Datennetzwerk (ISO/OSI-Ebenen 1-3) zur Abwicklung IT-gestützter Kommunikationsvorgänge von fundamentaler Bedeutung ist, stellt dessen Verfügbarkeit einen bedeutenden Parameter der Dienstqualität dar. Dies gilt insbesondere im Umfeld eines Universitätsklinikums, das nicht mehr "nur" durch Verwaltungsvorgänge geprägt ist, sondern längst auch Elemente unmittelbarer Patientenversorgung enthält (z.B. "Vernetzte Medizinprodukte"). Allerdings lässt sich die Netzverfügbarkeit auf Grund von Vielschichtigkeit (Netzkomponenten, Schnittstellen, Pfade, usw.) und unterschiedlichen Sichtweisen (Netzbetreiber, Systembetreuer, Endnutzer) schwer allgemeingültig fassen, entsprechend ermitteln und kompakt darstellen. Das RRZE (Regionales Rechenzentrum Erlangen) hat dazu als langjähriger Betreiber des Datennetzes des Universitätsklinikums (UK-Erlangen) einen pragmatischen Ansatz gewählt, danach Netzverfügbarkeiten bestimmt und den Nutzern zur Ansicht bereitgestellt. In diesem Kontext werden allgemeine Problematik, angewandte Methodik und Reporting behandelt, sowie Resultate im Gesamtverlauf von 10 Jahren betrachtet.

1 Einleitung

Je mehr die Datennetze von Institutionen, wie dem Universitätsklinikum Erlangen, die Rolle einer generellen Kommunikationsinfrastruktur einnehmen, desto bedeutender für das Unternehmen sind stabil funktionierender Betrieb und dessen Beleg. Grundlage eines zuverlässigen Betriebes bilden Netzwerkdesign und konkrete Gestaltung gemäß den lokal spezifischen Anforderungen und Gegebenheiten. Für ein medizinisches Umfeld hat der Hersteller Cisco (Marktführer im Bereich Netzwerkkomponenten) Konzepte und Richtlinien beschrieben, die eine allgemeingültige Orientierung auf aktuellem technologischem Stand darstellen, auch wenn sie sich in konkreten Umsetzungen hauptsächlich auf eigene Produkte beziehen („Medical Grade Network“, [MGN]). Zum Thema Verfügbarkeit werden vor allem redundante Konstrukte behandelt, so wie Verfahren erläutert, die für besonders kritische Anwendungen (Datacenter) automatische Problemerkennung und unterbrechungsfreies Umschalten ermöglichen sollen. Durchdachte Architekturen und besondere Vorkehrungen sind zwar

Voraussetzungen zur Erlangung „hoher“ Verfügbarkeiten, lösen aber nicht die Problematik begrifflicher Definition und praktischer Verifikation.

Zur allgemeinen Beschreibung von Verfügbarkeit in Netzen und deren Bestimmung findet man in der Literatur verschiedene Ansätze. Für Hersteller von Netzkomponenten und Hardware bedeutet Netzverfügbarkeit im Allgemeinen die Verfügbarkeit von Hardware, d.h. die Netzverfügbarkeit ist dann gegeben, wenn die Geräte ohne Ausfall ihre Funktionen erfüllen. Bei dieser Betrachtungsweise von Netzverfügbarkeit sind daher meist die Metriken Mittlerer Fehlerabstand (MTBF: „Mean Time Between Failure“, und Mittlere Reparaturzeit (MTTR: „Mean Time to Repair“) ausschlaggebend. Für eine einzelne Netzkomponente lässt sich damit die Verfügbarkeit gemäss unten angeführter Formel (I) definieren. Daraus kann eine Netzverfügbarkeit abgeleitet werden, in dem sie als Produkt der Einzelverfügbarkeiten berechnet wird [NTR, CIS]. Dies impliziert allerdings, dass das Netz nur dann als verfügbar gilt, wenn alle seine Komponenten verfügbar und Einzelausfälle statistisch voneinander unabhängig sind. Diese Betrachtungsweise lässt zudem ausser Acht, dass ein Netz auch dann nicht verfügbar sein kann, wenn etwa durch Ausfall einer Leitung Verbindungen zwischen den Komponenten gestört sind. Für den User stellt sich ein Netzausfall dar, egal ob dieser Ausfall an einem z.B. durch einen Bagger verursachten Kabelbruch oder an einer Fehlfunktion an einem Switch liegt, d.h. es muss auch die Verfügbarkeit der Verbindungen mit in die Betrachtung einfließen [ZAH, GRE]. Darüber hinaus gibt es weitere Möglichkeiten, die Verfügbarkeit bzw. Die Nicht-Verfügbarkeit eines Netzes zu definieren: Zahemszky et al. lassen z.B. in ihre Definition mit einfließen, dass nicht alle Netzverbindungen gleich wichtig sind und untersuchen gewichtete Verfügbarkeiten der Verbindungen. Gleichzeitig ziehen sie weitere Faktoren wie Prozentsatz der betroffenen Nutzer, Dauer der Störung und Paketverlust mit ein. So gilt in ihrem Fall ein Netz als nicht verfügbar, wenn mindestens 20% Nutzer betroffen sind, die Störung 10s oder länger dauert und mindestens 5% der IP Pakete verloren gegangen sind bzw. keine Verbindung möglich ist. In [CIS], [GRE] und [ZOU] werden diese Ansätze gleichermaßen diskutiert, allerdings fließen hier noch zusätzlich Redundanzbetrachtungen in die Netzverfügbarkeitsbeschreibung mit ein.

Vor dem Hintergrund des hier zunächst im prinzipiellen Aufbau skizzierten Netzwerkes des Universitätsklinikums Erlangen (2 Netzwerk) wird die Verfügbarkeitsproblematik genauer erläutert (3 Netzverfügbarkeit). Als Beschreibung konkreter Praxis des Netzbetreibers RRZE werden angewandte Methodik (4 Messverfahren und Reporting) beschrieben, sowie zusammenfassende Messdaten über Verläufe von 10 Jahren dargestellt und besprochen (5 Langzeitverlauf). Schliesslich regen verschiedene Punkte zur Weiterentwicklung an, nach denen Netzverfügbarkeiten noch genauer und zielgerichteter bestimmt werden könnten (6 Ausblick).

2 Netzwerk

Das hier betrachtete Datennetz des Universitätsklinikums Erlangen bildet die Infrastruktur IT-gestützter Kommunikation, also die Grundlage zum Transfer von Daten zwischen angeschlossenen Endsystemen (Server, Workstations, Drucker, Spezialgeräte, usw.). Es behandelt die untersten drei Ebenen des ISO/OSI-Referenzmodelles, die sich in der Umsetzung durch die Begriffe „Strukturierte Verkabelung“ (physikalische Ebene 1), „Virtuelle Ethernet-LANs“ (Link-Ebene 2) und „Internet-Protokoll“ (Netzprotokoll Ebene 3) beschreiben lassen. In der Realisierung besteht das Netzwerk aus untereinander über die Verkabelung verbundenen Switchen/Routern (IP-Vermittlung, LAN-Switching) und LAN-Switchen (LAN-Switching, Anschlussports). Die Architektur des Netzes folgt einem hierarchischen Modell, das in Core (Vermittlung zwischen Bereichen), Distribution (Bereichsversorgung) und Access (Zugangspunkte für Endsysteme) gegliedert ist. Core- und Distribution Komponenten sind doppelt ausgelegt (Redundanz). Abbildung 1 stellt die Netzstruktur im prinzipiellen Aufbau schematisch dar.

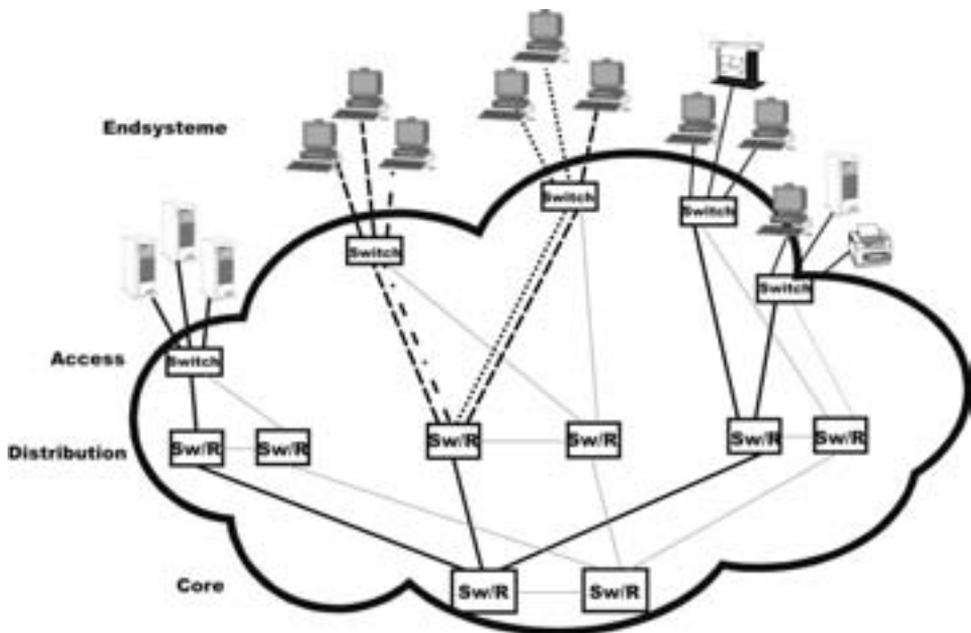


Abbildung 1: Aufbau des Netzwerkes mit hierarchischer Struktur

Entsprechend dem inneren Aufbau des Netzwerkes gliedern sich auch die Schnittstellen zu den Endsystemen in die drei unteren ISO/OSI-Ebenen, grob skizziert durch die Verbindung des betreffenden Endgerätes zum Zugangsport eines Access-Switches (Ebene 1, Link, einschließlich zuführender Verkabelung), dem zugehörigen lokalen Netz (Ebene 2, VLAN) und einer IP-Schnittstelle für LAN-übergreifende Kommunikation (Ebene 3, IP-Defaultroute). Auch wenn das Netzwerk „einfach“ strukturiert und bezüglich seiner Art aus „wenigen“ Grundkomponenten zusammengesetzt ist, stellt es ein komplexes, vielschichtiges und umfangreiches Gebilde dar, dessen Verhalten und Eigenschaften in Gesamtsicht allenfalls näherungsweise zu fassen und numerisch auszudrücken sind.

Im Ausbaustand 2010 bestand das Netz aus 14 Switchen/Routern („Sw/R“), 350 LAN Switchen („Switch“) mit 18300 Anschlussports zur Versorgung von 14000 registrierten Endsystemen in 380 Subnetzen (siehe dazu auch [HILL]).

3 Netzverfügbarkeit

Ein Datennetz kann als verfügbar bezeichnet werden, wenn alle seine Komponenten im Betrieb ordnungsgemäß funktionieren und die Kommunikationsanforderungen seiner Teilnehmer erfolgreich vermittelt und abgewickelt werden. Mit dieser allgemeinen Formulierung ist allerdings die Verfügbarkeit in Bezug auf ein gegebenes Netzwerk nur ansatzweise beschrieben. Für den Anwendungsfall sind u.a. konkret zu beschreiben, welche Art von Aussagen gewonnen werden sollen (Zweck, Zielvorstellung), worauf sich Aussagen genau beziehen sollen (Komponenten, Netzebenen), wie Funktionalitäten zu prüfen sind (Messmethodik) oder Ergebnisse kompakt darzustellen sind (Verfügbarkeitszahl).

Die damit verbundene vielschichtige und mehrdimensionale Problematik wird in folgenden Punkten kurz skizziert:

- **Herangehensweise (Netzbetreiber, Endnutzer)**
Während der Netzbetreiber sich der Verfügbarkeit eher über die Betriebsbereitschaft der Geräte nähert, interessiert den Endnutzer vorrangig, ob er die gewünschten Kommunikationsbeziehungen aufbauen kann, z.B. von seiner Arbeitsplatzstation zu zentralen Servern.
- **Zu prüfende Objekte, Objektklassen, Operationen**
Potentielle Testobjekte sind z.B. einzelne, „reale“ Geräte (z.B. Router, Switches), ihre Interfaces, Links (Verbindungen untereinander), aber auch „virtuelle“ Objekte und Schnittstellen (VLANs, Defaultroutes), so wie Funktionen im Zusammenwirken (Routing, Kommunikationspfade).
- **Einzel- und summarische Aussagen (Bewertung, Zusammenfassung)**
Sowohl für komplexe Objekte (z.B. Router), als auch erst recht für ein gesamtes Netzwerk stellt sich die Frage, welche Bedeutung ermittelte Verfügbarkeiten

einzelner Elemente oder Teilbereiche für das jeweils übergeordnete Gebilde haben.

- **Definition und Bestimmung von Verfügbarkeiten bzw. Ausfällen**

Je komplexer einzelne Objekte oder Funktionen sind, desto erforderlicher ist es festzulegen, wann sie als verfügbar bzw. ausgefallen (nichtverfügbar) gelten und mit welchen Methoden dies zu ermitteln ist.

- **Definition von Betriebszeiten (100%), Berücksichtigung von Ausfallursachen**

Am nächsten liegt der pauschale Ansatz für die Betriebszeit (Sollzeit der Verfügbarkeit, 100%-Bezug) von 24 Stunden an allen Tagen. Er könnte aber z.B. für einzelne Netzteile oder Komponenten individuell modifiziert werden, wenn sie vorübergehend gezielt aus dem Betrieb genommen werden (geplante Unterbrechungen, Umbau/Wartung). In diesen Fällen wäre es auch vertretbar, entsprechende Ausfälle nicht als solche zu bewerten, also zur Beurteilung von Verfügbarkeit nicht zu berücksichtigen. Dies gilt für einen Netzbetreiber in gewissem Masse auch für Ausfälle, deren Ursachen außerhalb seines Einflussbereiches liegen (externe Ursachen, Stromausfälle, Störungen durch Nutzerfehlverhalten).

- **Zielsetzung, Aufwand, Werkzeuge**

Ausgerichtet an Zielvorstellungen sind im konkreten Fall Begriffe, Parameter und Methodik zu definieren. Dabei sind erforderlicher Aufwand, verwendbare Werkzeuge, sowie personelle und technische Möglichkeiten zu berücksichtigen, d.h. unter Gesichtspunkten von Kosten/Nutzen zu bewerten.

Zur Berechnung von Verfügbarkeitszahlen gibt es verschiedene formale Ansätze. So orientiert sich zum Beispiel Formel (I) an einem Modell, in dem Betriebsstörungen als Fehler einzelner Komponenten (Geräte) erkannt, identifiziert, behoben werden und darüber entsprechend Buch geführt wird.

Sie lautet

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{\text{Mittlerer Fehlerabstand}}{(\text{Mittlerer Fehlerabstand} + \text{Mittlere Reparaturzeit})} \quad (I)$$

Dabei stehen der mittlere Fehlerabstand (englisch: Mean Time Between Failures) für Zeiten ohne Fehler und die mittlere Reparaturzeit (englisch: Mean Time To Repair) für Ausfallzeiten. Es wird also ausfallfreie Zeit in Bezug zur Summe aus ausfallfreier und Ausfallzeit gesetzt (Prozentwert ergibt sich aus Multiplikation des Quotienten mit 100).

Das gilt auch für einen etwas „offeneren“ Ansatz, bei dem Betriebs- und Ausfallzeiten direkt in die Berechnung eingehen, also z.B. ohne vorherige Mittelung:

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{(\text{Betriebszeit} - \text{Ausfallzeit})}{\text{Betriebszeit}} \quad (II)$$

(Ausfallzeit steht für die Summe aller Ausfälle eines betrachteten Zeitraums).

Beide Ansätze führen bei entsprechender Interpretation zu gleichen Resultaten, lassen aber für die Anwendung offen, auf welche Objekte oder Objektmengen sich die Formeln genau beziehen und wie die eingehenden Parameter konkret definiert und ermittelbar sind. Dies ist in Bearbeitung oben beschriebener Problematik in der Praxis spezifisch festzulegen. Daraus ergibt sich auch, dass resultierende Angaben, Auswertungen und Darstellungen immer im jeweiligen Kontext zu betrachten und nur sehr bedingt allgemein vergleichbar sind. So erfordern z.B. „garantierte“ Jahresverfügbarkeiten von 99,999 % und höher (max. 5 Min. Ausfall im Jahr) nicht nur gezielte Maßnahmen der Gestaltung von Betrieb und Netzwerk, sondern auch spezifische Methoden für ihren Nachweis, abgesehen davon, dass ein solcher Wert zwar generell anzustreben, aber allenfalls in sehr speziellem Kontext tatsächlich sinnvoll anzufordern ist.

4 Messverfahren und Reporting

Das RRZE verwendet zur Gewinnung von Aussagen über Netzverfügbarkeiten einen pragmatischen, ohne großen dedizierten Aufwand umzusetzenden Ansatz mit dem zentralen Netzwerkmanagement (NMS) bzw. seiner Statusüberwachung als Ausgangsbasis. Er lässt sich wie folgt beschreiben:

- **Zweck**
Ermittlung, Reporting und Dokumentation von Verfügbarkeitsdaten für Netzbetreiber und Nutzer(gruppen) als ein wesentlicher Aspekt der Dienstgüte.
- **Beobachtete Objekte**
Die behandelten Objekte gliedern sich in zwei Gruppen:
 - „reale“ Netzgeräte (Router und Switche) und
 - „virtuelle“ Netzschnittstellen (IP-Defaulttrouten von Subnetzen).
- **Einzelverfügbarkeit**
Verfügbarkeit wird in Prozent pro Objekt berechnet nach der Formel

$$Verfügbarkeit_{obj} = \left(\frac{Betriebszeit - Ausfallzeit_{obj}}{Betriebszeit} \right) * 100 \quad (III)$$

Diese Formel, die dem oben beschriebenen Ansatz (II) entspricht, dient der monatlichen und jährlichen Berechnung prozentualer Verfügbarkeiten.

- **Parameter Betriebszeit**
Als Betriebszeit gelten pauschal für alle Objekte 24 Stunden an allen Tagen eines Monats bzw. Jahres.
- **Parameter Ausfallzeit**
Ausfallzeiten werden pro Objekt über die zentrale Statusüberwachung bestimmt, sie sind jeweils als die Summe aller Abschnitte zwischen „down“ und „up“ definiert.
- **Statusermittlung**
Ein Objekt hat den Status „up“, wenn es vom zentralen Management (NMS) erfolgreich angesprochen werden kann (über Protokolle SNMP, Ping), den

Status „down“, wenn dies nicht der Fall ist. Die Abfragezyklen liegen in der Regel zwischen 60 und 180 Sekunden.

- **Statusbedeutung**

Der Status beurteilt neben der Funktionsfähigkeit eines Objektes auch den jeweiligen Kommunikationspfad durch das Netz (vom NMS zum Objekt) und damit auch allgemeine Grundfunktionalitäten des Netzes.

- **Anmerkung**

Ausfallzeiten gehen unabhängig von ihren Ursachen (extern/intern, geplant/ungeplant) in die Berechnung ein. (Dagegen rechnen manche Netzprovider wie der DFN angekündigte geplante Unterbrechungen aus den Ausfallzeiten heraus).

- **Reporting**

Die monatlich/jährlich ermittelten Einzelverfügbarkeiten werden für die Nutzer aufbereitet und über ein WEB-Interface („WEB-NMS“) zur Ansicht bereitgestellt (Reporting). Dabei sind zu jeder (der beiden) Gruppen die Objekte aufsteigend nach Verfügbarkeitswerten gelistet und „längere“ Ausfallzeiten in Kommentaren textlich erläutert und bewertet (Ursachen, Auswirkungen, Behebungen, u.s.w.)

- **Summarische Verfügbarkeit**

In den zusammenfassenden Auswertungen werden Durchschnitts- und Minimalwerte betrachtet.

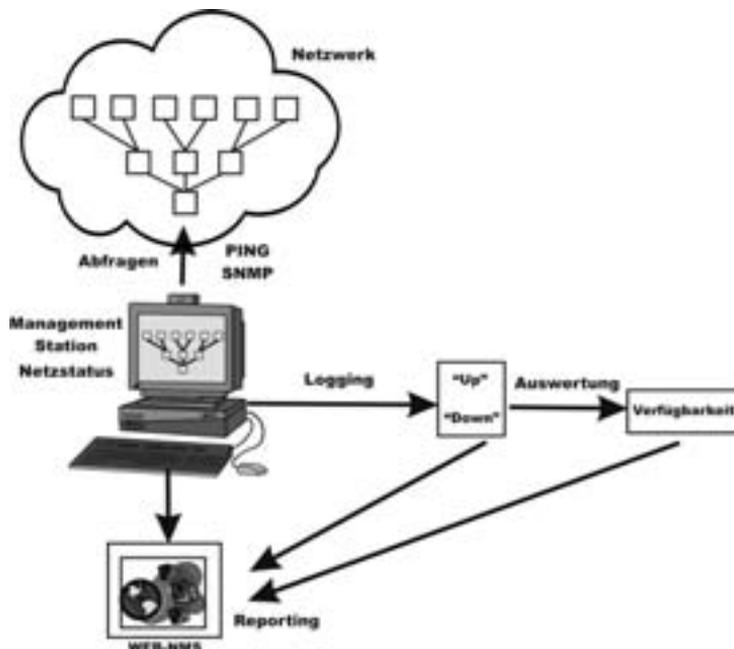


Abbildung 2: Netzwerkmanagement und Verfügbarkeitsbestimmung

In Abbildung 2 sind die Statusermittlung durch eine zentrale Managementstation, Auswertung des Loggings zur Bestimmung von Verfügbarkeiten und das Reporting der Resultate über ein für Nutzer zugängliches WEB-Interface skizziert.

5 Langzeitverlauf

Das RRZE hat nach der beschriebenen Methode ab dem Jahr 2000 Verfügbarkeiten systematisch bestimmt und dokumentiert. Bei Betrachtung und Vergleich der Resultate ist zu beachten, dass sich der Aufbau des Netzwerks im Laufe der Zeit auf Basis technologischen Fortschritts und finanzieller Möglichkeiten verändert hat und die oben beschriebene Struktur migrativ entstanden ist. Die verschiedenen Ausbau- und Entwicklungsstufen des Klinikumsnetzes sind in einem zusammenfassendem Bericht des RRZE näher beschrieben [HILL].

5.1 Verfügbarkeit von Netzgeräten (Router, Switche)

Die Verlaufsgrafik in Abbildung 3 stellt die Verfügbarkeiten aller Netzkomponenten, d.h. der Router und (zentral betreuten) LAN-Switche dar, unabhängig von ihrer Relevanz für den gesamten Klinikbetrieb. Angezeigt sind pro Jahr der jeweils minimale („Min“) und maximale („Max“) Wert, sowie der Durchschnitt („Mittel“) über alle der erfassten Geräte. In einer 2. Minima-Kurve („Min2“) sind extreme Ereignisse mit sehr geringer Bedeutung für den Gesamtbetrieb ausser Acht gelassen, wie z.B. eine von der betreffenden Nutzergruppe initiierte lokale Stromabschaltung über die Osterfeiertage (in „kleinem“ Einzelgebäude, 2008) oder Abschaltungen im Rahmen genereller, baulicher Renovierungsmassnahmen in der Rechtsmedizin (ohne unmittelbar klinische Versorgung, 2009).

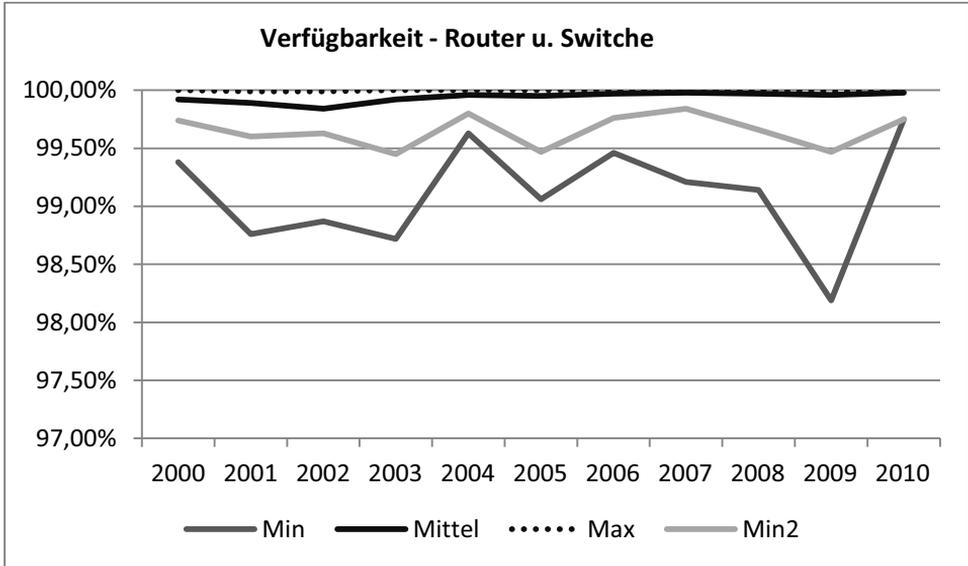


Abbildung 3: Jahresverfügbarkeiten der Netzkomponenten (Router+Switche)

Die Abstände der Verlaufskurven lassen darauf schließen, dass „relativ schlechte“ Verfügbarkeiten weitgehend Einzelfällen zuzuordnen sind. „Min2“ deutet an, wie durch genaue Betrachtung und Bewertung von Fehlersituationen ein differenzierteres Gesamtbild gezeichnet werden kann.

Das Netz hatte bezüglich seiner Netzkomponenten in der Gesamtheit unabhängig von Störungsursachen, d.h. unter Einschluss extremer Sonderfälle, über die angezeigten 11 Jahre eine mittlere Verfügbarkeit von 99,93% und war in den letzten 5 Jahren im Mittel zu 99,97% verfügbar. Das entspricht einer durchschnittlichen Ausfallzeit von 6 bzw. 2,5 Stunden pro Jahr. Dabei sei nochmal angemerkt, dass diese Verfügbarkeiten verschiedene Funktionalitäten und Konnektivitäten der Komponenten beinhalten, also z.B. nicht auf reine (aktive) Standzeiten („SysUpTime“) der Geräte beschränkt sind.

Unter den Netzkomponenten spielen die Router als LAN-Verteiler und Vermittler zwischen verschiedenen IP-Netzen eine fundamentale Rolle. Ihre Verfügbarkeiten werden deshalb herausgehoben und in Abbildung 4 gesondert dargestellt. Im Redundanzkonzept des Netzes werden primäre („Normalbetrieb“) und sekundäre Router („Standbybetrieb“) unterschieden. In zusammenfassender Auswertung sind bezüglich aller, jeweils betriebenen Router die minimalen („R-Min“), durchschnittlichen („R-Mittel“) Jahreswerte dargestellt, ergänzt durch eine nur über die primären Router bestimmte Minimalkurve („R-Min-P“). Desweiteren enthält die Grafik drei individuelle Kurven, die die Verfügbarkeiten des primären Routers eines Bereiches darstellen. In diesem Sinne gilt dabei eine eindeutige Zuordnung, obwohl die Router je nach Entwicklungsphase des Netzes für unterschiedliche „reale“ Geräte(typen) stehen können.

Die schlechtesten Verfügbarkeiten („R-Min“: 2001, 2003) gehören zu sekundären Routern und sind daher nur mit sehr bedingtem Einfluss auf den Betrieb. Dazu ist z.B. in der originalen Jahresstatistik 2001 kommentiert („romulus“ gehört zum Bereich „sued“):

„Backup-Router romulus :

Ausfaelle auf Grund von Instabilitaeten und Tests (vornehmlich Mai und Oktober) ohne gravierende Auswirkungen auf den Betrieb.“

Der kleinste Wert eines primären Routers („R-Min-P“: 2002) fällt in die Aufbauphase eines neuen Bereiches („noz“, Neubau „Nicht Operatives Zentrum“) und steht damit für einen noch nicht voll eingeführten Regelbetrieb. Sonst liegen die Werte in jüngerer Vergangenheit tendenziell oberhalb von 99,95. In den Kurven zu den Anfangsjahren spiegelt sich wieder, wie steigende Nutzung die wenigen Router zunehmend an ihren Leistungsgrenzen belastet und zu gelegentlichen Verklemmungen geführt hat. Ihre Entlastung durch Ausbau und Einsatz von Geräten neuerer Technologie (Schnittstellen > 622 mbps statt 155 mbps, „Routing in Hardware“ statt über „CPU-Verarbeitung“) sind an jeweils deutlich verbesserten Werten abzulesen. Sie liegen ab 2004 im jeweiligen Jahresmittel oberhalb von 99,98% bzw. 1 Std. 45 Min pro Jahr.

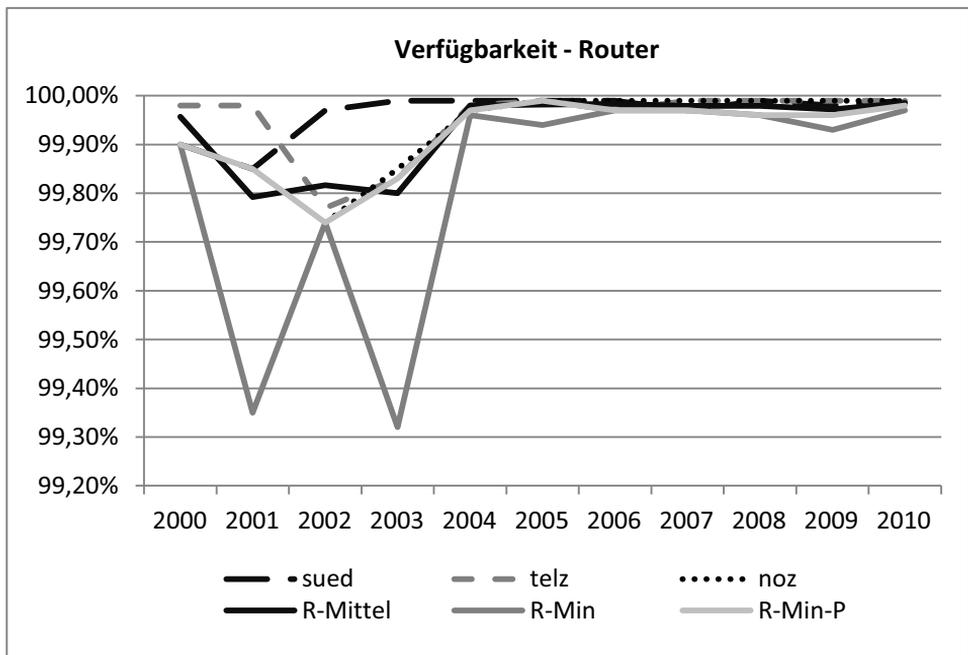


Abbildung 4: Summarische und exemplarische Jahresverfügbarkeiten der Router

5.2 Verfügbarkeit logischer Netzschnittstellen

Für Nutzer bzw. Endgeräte sind auf IP-Ebene sobezeichnete „Defaultroutes“ die nächsten Schnittstellen zur Kommunikation mit Systemen ausserhalb des eigenen VLANs bzw. IP-Subnetzes. Diese stellen sich im hier betrachteten Netzwerk als logische, virtuelle IP-Hostadressen dar, die in Redundanz jeweils einem von zwei Routern zugeordnet sind. Dabei erfüllt einer der Router die Schnittstellenfunktion im Standardbetrieb („primärer Router“), während der zweite dessen Aufgaben in Ausfallsituationen automatisch übernimmt („Standby-Router“). Dementsprechend sind in der Regel die Verfügbarkeiten der IP-Schnittstellen höher, als die einzelner Router. Es kann aber durchaus auch Ausnahmen geben, in denen der Betrieb einzelner Subnetze gestört ist, während die betreffende Router erreichbar und funktionsfähig sind. Beispiele dafür können etwa partielle Verklemmungen (unter Einschluss des Redundanzbetriebes) oder Ausfälle im Betrieb der zugehörigen virtuellen LANs sein.

In Abbildung 5 sind die Verfügbarkeiten verschiedener, als Repräsentanten (regionaler) Bereiche ausgewählter Netze, sowie Minimum („Min“) und Durchschnitt („Mittel“) bezüglich aller erfassten Subnetze dargestellt.

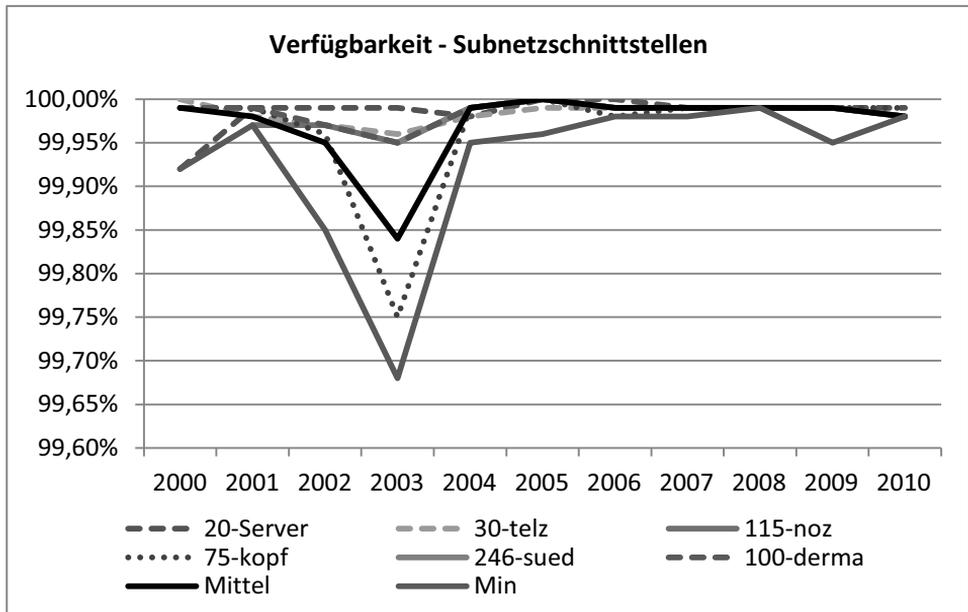


Abbildung 5: Summarische und exemplarische Jahresverfügbarkeiten von Nutzerschnittstellen (IP-Defaultroutes)

Auch hier ist der Effekt steigender Last in Bezug auf die „klassischen“, „CPU-gesteuerten“ Router zu erkennen. Über die Jahre 2004 – 2010 lag die aggregierte Verfügbarkeit über alle Subnetze bei 99,99%, d.h. die entsprechende Ausfallzeit betrug pro Jahr eine knappe Stunde (53 Min.).

6 Ausblick

Die dargestellte Methodik zur Erfassung und Auswertung von Verfügbarkeitsdaten bietet verschiedener Ansätze zur Verbesserung und zur Erhöhung der Aussagekraft. Dazu gehören folgende Punkte:

- **Erhöhung der Genauigkeit von Erfassung und Auswertung**
Je mehr sich die Verfügbarkeitszahlen oberhalb von 99,95 % bewegen, desto stärker erscheint es angebracht, die Genauigkeit durch kürzere Abfragezeiten (kleiner 60 bzw. 180 sec) und exaktere Berechnungen (etwa auf drei Dezimalstellen) zu erhöhen.
- **Klassifizierung von Ausfallzeiten und zugeordneter Berechnungen**
Durch Einteilung von Ausfallzeiten in geplante / ungeplante oder intern / extern verursachte Unterbrechungen können entsprechend zusammengefasste Auswertungen diese Unterscheidungen auch zahlenmäßig ausdrücken (statt nur in textlich kommentierter Form).
- **Berücksichtigung der Bedeutung getesteter Objekte**
Das Netzwerk ist als Kommunikationsinfrastruktur darauf ausgelegt, möglichst gleichförmige Bedingungen zu schaffen. Dennoch gibt es aber Unterschiede einzelner Komponenten oder Standorte in der Bedeutung für den gesamten Netz- und Klinikbetrieb. Entsprechend können Störungen als mehr oder weniger gravierend beurteilt werden. Dies könnte in zusammenfassenden Berechnungen etwa durch gewichtete Durchschnittsbildung entsprechend berücksichtigt werden.
- **Ausweitung der Tests auf weitere Objekttypen**
Technisch wäre z.B. die Einbeziehung von Endsystemen in die Verfügbarkeitstest überhaupt kein Problem. Um dabei Aussagen über das Netzverhalten zu gewinnen, müssten die Endsysteme allerdings selbst eine „sehr hohe“ Verfügbarkeit aufweisen bzw. eigene Ausfälle klar diagnostizierbar und damit rausrechenbar sein. Entsprechend geeignete Testsysteme (Probes) könnten dann als Referenzen verschiedener Netzbereiche dienen.
- **DEDIZIERTE TESTSZENARIEN**
Für besonders hohe Verfügbarkeitsanforderungen etwa von zentralen Servern oder kritischen Apparaturen lassen sich spezielle Testszenarien entwickeln, die die Einhaltung von Vorgaben überprüfen. Die Systeme selbst und gezielt platzierte Probes könnten Teil solcher Szenarien sein.

Darüber hinaus gibt es natürlich auch Ansätze, die nur mit ergänzender oder alternativer Anwendung weiterer Werkzeuge zu verfolgen sind. Als Beispiel dafür seien der Einsatz mehrerer Abfragestationen und entsprechend übergreifender Auswertungen genannt, was sich etwa mit Cisco-IP-SLA (Netzkomponenten als Testquellen) oder aber mit verteilten Managementsystemen realisieren ließ.

Die vom RRZE geübte Praxis hat über einen für IT-Verhältnisse langen Zeitraum nützliche Grundaussagen über die Netzverfügbarkeit geliefert. Die Offenlegung der Resultate und deren grobe Zusammenfassungen kann bei „naiver“ Betrachtung zwar auch zu Fehlinterpretationen führen, sind aber bedeutender Bestandteil eines transparenten Netzbetriebes. Sie geben Betreibern und Nutzern Basis zur Abschätzung eines für Netzgestaltung und Anwendungen wichtigen Dienstgüteparameters. Aus dieser Sicht machen Fortführung und Weiterentwicklung unter Beachtung vertretbaren Aufwandes weiter Sinn.

Literaturverzeichnis

- [CIS] Cisco System Inc.: “Availability Measurement”, Networkers 2004, Session NMS-2201, verfügbar am 03.20.2012 unter http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/iosswrel/ps6537/ps6550/prod_presentation0900aecd80310695.pdf.
- [GRE] Green, H., Hant J., Lanzinger, D.: “Calculating Network Availability”, Aerosp. Corp., Los Angeles, CA, Aerospace conference, 2009 IEEE, verfügbar am 03.02.2012 unter <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4839386>.
- [HILL] Hillmer, U.: “Das Datennetz im Universitätsklinikum, Entwicklung von 1994 – 2011“, RRZE-IFB 8, Dezember 2011, <https://www.portal.uni-erlangen.de/get/file/1136>.
- [MGN] Cisco Medical-Grade Network (MGN) 2.0 Campus Architecture, last updated March 31, 2011, http://www.cisco.com/en/US/docs/solutions/Verticals/Healthcare/MGN_Campus.pdf.
- [NTR] N-Tron Corporation: “Network Availability”, www.n-tron.com/pdf/network_availability.pdf, verfügbar am 03.02.2012.
- [ZAH] Zahemszky, A., Tapolcai, J., Császár, A., Mihály, A.: “Novel Availability Metrics for Network Topologies”, High Speed Networks Laboratory, Budapest University of Technology and Economics, <http://hsnlab.tmit.bme.hu>, Sept. 30, 2009, verfügbar am 03.02.2012 von http://www.networks2008.org/data/upload/file/Technical/C1_3_Zahemszky_Tapolcai_Csaszar_Mihaly.pdf.
- [ZOU] Zou, W., Janic M., Kooij, R., Kuipers, F.: “On the Availability of Networks”, Broadband Europe, Antwerp, Belgien, 3.-6. Dezember 2007, verfügbar am 03.02.2012 unter <http://www.nas.ewi.tudelft.nl/publications/2007/bbeurope07.pdf>.