Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafenbetriebe

Band: 72 (1994)

Heft: 9

Artikel: Verfügbarkeit und Überlebensfähigkeit von SDH-Netzen

Autor: Baudron, Jacques / Khadr, Amr / Kocsis, Ferenc

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-874729

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Verfügbarkeit und Überlebensfähigkeit von SDH-Netzen

Jacques BAUDRON, Amr KHADR, Nozay, und Ferenc KOCSIS, Stuttgart

Zusammenfassung

Verfügbarkeit und Überlebensfähigkeit von SDH-Netzen

Die steigende Abhängigkeit der Gesellschaft von der Telekommunikation ergibt die Notwendigkeit einer hohen Dienstverfügbarkeit und Überlebensfähigkeit moderner Telekommunikationsnetze, um mögliche Ausfälle im Glasfasernetz abzufangen. Mit der hohen Integrationsdichte der Funktionen steigt auch die Ausfallwahrscheinlichkeit von Knoteneinrichtungen. In diesem Beitrag werden nach einer Problembeschreibung die in einem SDH-Netz möglichen Lösungen erörtert.

Résumé

Disponibilité et viabilité de réseaux SDH

Notre société dépendant de plus en plus de la télécommunication, les réseaux modernes qui en acheminent les services doivent être hautement disponibles et viables pour pallier d'éventuelles pannes des réseaux à fibres optiques. Vu le haut degré d'intégration des fonctions, les probabilités de défaillance des nœuds de commutation augmentent. Le présent article suggère d'éventuelles solutions à un problème qui s'est présenté dans un réseau SDH.

Riassunto

Disponibilità e affidabilità di reti SDH

Dato che la società è sempre più dipendente dalle telecomunicazioni, le reti moderne devono garantire una disponibilità elevata e il funzionamento delle telecomunicazioni anche in caso di interruzioni nella rete in fibra ottica. Con l'aumento della densità di integrazione delle funzioni crescono anche le probabilità di interruzione di dispositivi nodali. Dopo aver descritto il problema, gli autori discutono le soluzioni previste in una rete SDH.

Summary

Availability and Survival Capability of SDH Networks

Due to the increasing dependence on telecommunications of the society, a high availability and a good survival capability are mandatory for modern telecommunications networks, in order to avoid possible outages. With the high integration density of functions, the outage probability for node equipment increases. In this article, the problems are described and possible solutions for SDH networks are discussed.

1 Einführung

Moderne Industriegesellschaften werden immer abhängiger von der Telekommunikation. Längere Dienstausfälle, verursacht durch menschliches Versagen oder durch Bauelementefehler, können für grosse Teile der Gesellschaft kostspielige Störungen mit sich bringen. Die Dienstverfügbarkeit auch unter Fehlerbedingungen ist daher ein vorrangiges Ziel geworden. Die Überlebensfähigkeit des Übertragungsnetzes gegen Kabelbruch und Gerätefehler ist heute eine übliche Anforderung, während die allmähliche Wiederherstellung nach einem schweren Fehler eine wichtige Betriebs- und Planungsaufgabe für die Netzbetreiber ist. SDH (Synchrone Digitale Hierarchie) bietet eine Anzahl genormter, autonomer Überlebensmechanismen gegen die meisten physikalischen Fehler der unteren Ebene, während die Flexibilität der Verwaltung eines gut geplanten SDH-Netzes die Grundfunktionen für die Unterstützung einer effektiven Dienst-Wiederherstellung über weite Bereiche bereitstellt.

2 Verfügbarkeit in SDH-Netzen

Die Verfügbarkeit A einer Ressource über eine bestimmte Zeit ist definiert als das Verhältnis der Zeit, während der die Ressource verfügbar ist, zur Gesamtzeit. Messungen oder Berechnungen über eine sehr lange Zeit oder über eine statistisch bedeutende Zahl von Beispielen ergeben die asymptotische Verfügbarkeit, die als allgemeines Mass für Vergleichszwecke verwendet wird. Die Nichtverfügbarkeit U ist das Komplement der Verfügbarkeit A, also $U = 1 - A$. Nimmt man an, dass der mittlere Ausfallabstand (MTBF, Mean Time Between Failures, $= 1/\lambda$, wenn λ = Ausfallrate) und die mittlere Reparaturdauer (MTTR, Mean Time to Repair, $= 1/\mu$, wenn μ = Reparaturrate) zeitlich konstant sind und λ viel kleiner als μ ist, dann ist U näherungsweise durch das Verhältnis λ/μ gegeben.

Ein SDH-Pfad oder eine Teilnetzverbindung weist eine Nichtverfügbarkeit U auf, die die *Summe* der Nichtverfügbarkeiten der einzelnen Verbindungen U_l und der Teilnetzverbindungen U_m ist:

$$U = \Sigma U_l + \Sigma U_m$$

Ein System wird als selbstheilend bezeichnet, wenn es über redundante Ressourcen verfügt, die bei Erkennung eines Fehlers als Ersatz für ausgefallene solche dienen können. Unter der Voraussetzung, dass die zum Erkennungs- und Ersatzmechanismus gehö-

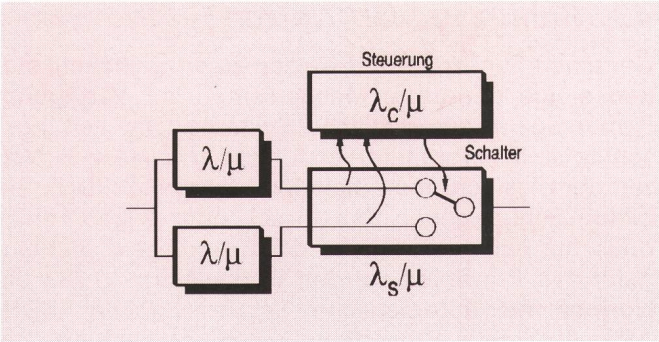


Fig. 1 *Nichtverfügbarkeit* λ/μ allein und mit Schutzfunktionen
Die Schutzfunktion wird durch einen Schalter (Nichtverfügbarkeit λ_s/μ) ermöglicht, der durch eine Steuerung (Nichtverfügbarkeit λ_c/μ) betätigt wird. Die Nichtverfügbarkeit des Systems ist abhängig von der Nichtverfügbarkeit des Schalters

rende Fehlerrate λ_0 viel besser ist als die des Betriebsmittels selbst und die Fehlerrate λ des Betriebsmittels so gering ist, dass λ^2 viel kleiner als λ wird, kann eine bedeutende Verbesserung der Verfügbarkeit erreicht werden *(Fig. 1)*. Das Prinzip wird zum Schutz von SDH-Einrichtungen verwendet, wo die Ressourcen auswechselbare Einheiten innerhalb einer Einrichtung sind, und auch zum Schutz von SDH-Netzen, wo die Ressourcen Übertragungseinheiten sind, wie Verbindungen, Pfade oder Abschnitte.

Der Begriff «Schutz» (Protection) wird im allgemeinen verwendet, wenn die redundanten Betriebsmittel fest sind und eine bestimmte, vorgegebene Schutzfunktion ausführen, während der Begriff «Wiederherstellung» (Restoration) verwendet wird, wenn die redundante Kapazität nicht im voraus festgelegt ist, sondern durch Intelligenz im Netz «entdeckt» werden muss.

3 Auswirkungen von Fehlern im Übertragungsnetz auf die Dienste

Der Einfluss von Fehlern im Übertragungsnetz auf die Dienste hängt natürlich vom Umfang des Fehlers ab, ist jedoch nicht für alle Dienste gleich. Der Fernsprechdienst kann zum Beispiel noch zufriedenstellend arbeiten, wenn ziemlich schwere Fehler im Übertragungsnetz vorliegen, da Fernsprechnetze normalerweise so geplant werden, dass unterschiedliche Übertragungswege zwischen Knoten des öffentlichen Fernsprechnetzes (PSTN, Public Switched Telephone Network) vorhanden sind. Bestehende Verbindungen über die fehlerhafte Einrichtung werden unterbrochen, und die Teilnehmer müssen das Gespräch mit verbleibenden Einrichtungen neu aufbauen. Wenn dies nicht zu oft geschieht, werden diese Unbequemlichkeiten als gering und annehmbar angesehen. Wenn bei nicht ausreichender Reservekapazität durch die Wahlwiederholungen Blockierungen auftreten, kann es sein, dass der Einfluss auf den Dienst nicht mehr akzeptierbar ist.

In der Datenkommunikation gibt es sowohl bei den verwendeten Datenraten und den Protokollen als auch bei den unterstützten Diensten mehr Unterschiede. Die Datenarchivierung in verteilten Rechnersystemen oder beispielsweise Hochleistungs-Arbeitsstationen in einer verteilten Arbeitsumgebung weisen verschiedene Empfindlichkeits- bzw. Beeinflussungsstufen auf.

Mietleitungen sind im allgemeinen anfällig auf Fehler. Heute ist es üblich, dass Mietleitungsbenützer auch Ersatzkapazitäten mieten. Viele Netzbetreiber können jedoch die Umschaltung der Arbeits- und Ersatzleitungen nicht garantieren. Der Totalausfall dieser Übertragungskapazität für eine unbestimmte Zeit kann für manche kommerziellen Anwender katastrophale Folgen haben.

Wo Schutz- oder Wiederherstellungsmechanismen eingesetzt werden, hat die Reaktionszeit einen Einfluss auf den Umfang der Störung. Sprache wird durch eine kurze Unterbrechung (etwa 50 ms) nicht stark beeinflusst, wenn dabei keine Verbindungen unterbrochen werden. Dauert die Unterbrechung jedoch lange genug, um viele laufende Verbindungen zu stören, so kann durch die darauffolgenden Wahlwiederholungen im öffentlichen Telefonnetz eine zeitweise Signalisierungs-Überlast entstehen. Der Schutz von Teilnetzen auf Pfadebene kann im allgemeinen entsprechend der Priorität des Dienstes aktiviert werden oder auch nicht, was eine gewisse Flexibilität bietet. Wiederherstellungssysteme auf der Grundlage einer netzweiten Neuoptimierung können im allgemeinen die Betriebsmittel entsprechend der Priorität der Dienste vergeben.

Selbstheilungsmechanismen können auf der Grundlage eines Kompromisses zwischen drei Parametern miteinander verglichen werden:

1. Komplexität, gemessen an der Informationsmenge und der erforderlichen Verarbeitung
2. Kosten, gemessen an der Zahl redundanter Einrichtungen, die eingeplant werden müssen
3. Reaktionszeit, die für eine Neuoptimierung des Netzes nach einem schweren Fehler erforderlich ist, gemessen in Millisekunden, Sekunden oder einer längeren Zeit

4 Schutzmechanismen für Einrichtungen und Netze

Netzfehler werden durch genormte Prozeduren umgangen, die auf Leitungsabschnitten oder auf Teilnetzverbindungen angewendet werden. Die Verfügbarkeit einer Einrichtung kann mit einem lokalen Schutz verbessert werden. Viele allgemeine Funktionen, wie Energieversorgung, Takterzeugung und Schaltmatrixfunktionen sowie bestimmte elektrische Nebenfunktionen, werden typischerweise auf diesem Weg geschützt.

Jedes elementare elektronische Bauelement hat eine assoziierte Fehlerrate (λ), aus der die Fehlerrate der Leiterplatte unter Verwendung der Reparaturrate μ berechnet wird. Darüber hinaus sind Software-Komponenten heute so komplex, dass auch die Möglichkeit eines Software-Fehlers in Betracht gezogen wer-

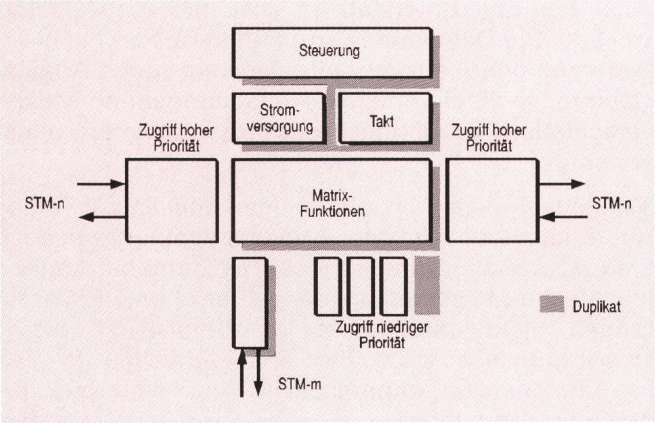


Fig. 2 Anordnung zum Schutz eines Geräts

den muss. Aus diesen Daten wird die Verfügbarkeit der Einrichtung bestimmt.

Sie kann durch eine geeignete Auslegung verbessert werden, was manchmal auch als «passiver» Schutz bezeichnet wird. Die Architektur einer Einrichtung wird zum Beispiel so gewählt, dass die Übertragung eines Dienstes durch einen Fehler der Steuerfunktionen nicht beeinflusst wird.

41 Hardware-Redundanz

In Geräten von *Alcatel* wird der 1:n-Schutz bei bestimmten Klassen von Multiplex- und Zugangskoppleranschlüssen eingesetzt. Sie erhöhen die Zuverlässigkeit der Funktionen dieser Netzelemente, sind aber nicht Teil der genormten Mechanismen zum Netzschutz. Bei bestimmten wichtigen Teilsystemen, wie Koppelfelder, Stromversorgungen und Taktgeneratoren, bei denen ein Fehler grosse Verkehrsmengen beeinflussen würde oder — was noch wichtiger ist — die Fähigkeit des Netzelements (NE) zum Netzschutz gefährden würde, wird auch der 1:1-Schutz eingesetzt *(Fig. 2)*.

42 Software-Schutz

Software-Fehler können entweder durch einen Selbsttest oder durch die Überprüfung der Leistungsfähigkeit im Betrieb erkannt werden. Die Mechanismen, die einen Schutz gegen derartige Fehler liefern, werden oft Abwehrmechanismen genannt. Der erste Schritt in der Abwehrprozedur ist die Isolation der fehlerhaften Komponente, so dass sich Fehler nicht ausbreiten können. Dies kann entsprechend der Fehlerkriterien vor oder nach der Beendigung des aktuellen Prozesses geschehen. Dann kann eine Rekonfiguration ausgelöst werden, wodurch die von der fehlerhaften Komponente beeinflussten Funktionen auf andere Ressourcen des Geräts verteilt werden, um die Last zu teilen. Der Start der neuen Komponente kann entweder im laufenden Betrieb ohne Kontextüberprüfung (oder am letzten Kontrollpunkt) oder mit neuem Kontext erfolgen. Neben der autonomen Wiederherstellung nach Fehlern bieten diese Mechanismen wichtige Wartungsfunktionen, da es mit ihnen möglich ist, Hardware- oder Software-Ressourcen im laufenden Betrieb zu ändern oder zu erweitern.

43 Schutz in SDH-Netzen

Um einen Schutz in SDH-Netzen zu ermöglichen, stehen einige genormte Mechanismen zur Verfügung. Firmeneigene automatische Systeme zum Leitungsschutz sind verbreitete Leistungsmerkmale von Netzen der plesiochronen digitalen Hierarchie (PDH). Sie bieten Schutz gegen Kabelbruch oder gegen Fehler optischer Bauelemente. Auf der Grundlage dieser eingeführten Prinzipien werden in der Norm G.783 die Normen für automatische Schutzschaltung (SDH-APS, Automatic Protection Switching) definiert. Die Wirksamkeit solcher Systeme wird natürlich noch erhöht, wenn die Betriebs- und die Ersatzkabel auf unterschiedlichen Wegen verlegt werden, und dies noch wirksamer in Ringstrukturen mit Add/Drop-Multiplexern (Einfüge-Abzweig-Multiplexer, ADM). Diese sind erst im SDH-Umfeld wirklich einsatzfähig geworden.

44 Schutz von Multiplex-Abschnitten

Der Schutz von Multiplex-Abschnitten (MSP, Multiplex Section Protection) ist durch eine Schutz-Unterebene gekennzeichnet, die aus den Nutzinformationen von n Arbeitsabschnitten und m Schutzabschnitten besteht. Die Schutzumschaltung wird durch eine Fehleranzeige des aktiven Leitungsabschnitts ausgelöst, der dann durch einen redundanten Leitungsabschnitt ersetzt wird.

- Für lange Übertragungsleitungssysteme ohne Zwischenverstärker, bei denen die Kosten eines geeigneten Schutzes zu hoch sind, werden im allgemeinen m:n- und 1:n-Systeme verwendet. Wird am Empfänger ein Fehler erkannt, muss dies dem Sender gemeldet werden, damit der Verkehr auf den Schutzkanal umgeschaltet werden kann. Dieser Signalisierungskanal wird mit den Bytes des Abschnittsrahmenkopfes bereitgestellt.
- 1:1-Systeme werden für Leitungen mit geringeren Übertragungskapazitäten oder für kurze Leitungen verwendet, bei denen die Kosten einer 100 %igen Redundanz nicht zu gross sind. Alle diese Systeme können auf den Schutzkanälen Verkehr geringer Priorität übertragen; sie sind normalerweise zweiseitig angeschlossen und umkehrbar.
- 1+1-Systeme arbeiten im unsymmetrischen Einrichtungsbetrieb, wobei der Sender ständig überbrückt ist und die Schutzumschaltung autonom am Empfänger erfolgt, ohne dass eine Rückwärtssignalisierung erforderlich ist.

5 Ringnetze

Ringstrukturen sind besonders interessant, da sie die kürzestmögliche Verbindung zwischen mehreren Knoten darstellen, mit denen noch zwei unterschiedliche Verbindungen zwischen einem beliebigen Knotenpaar sichergestellt sind. Mehrere Mechanismen wurden normiert oder werden für eine Normierung in Betracht gezogen. Ringstrukturen können nach zwei Haupteigenschaften unterschieden werden: nach dem vermittelten Dienstelement und nach der Ursa-

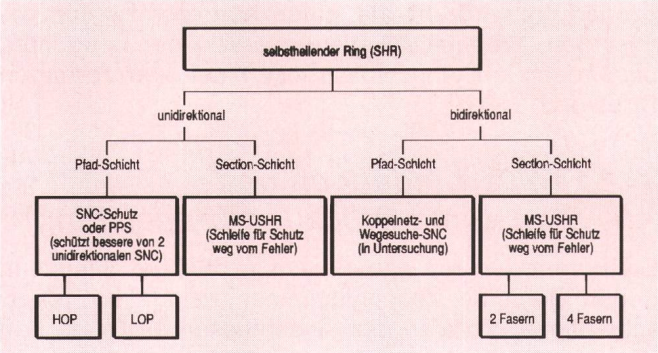


Fig. 3 Wichtige Schutzmechanismen für Ringnetze

che der Auslösung der Schutzumschaltung. Die wichtigsten Schutzmechanismen für Ringnetze sind in *Figur 3* aufgezeigt.

In *unidirektionalen selbstheilenden Ringnetzen* (MS-USHR, Unidirectional Multiplex Section Self Healing Rings) werden bidirektionale aktive Leitungsverbindungen hergestellt, indem die Sende- und Empfangskomponenten einem Paar unidirektionaler Verbindungen in einer Glasfaser in Senderichtung bzw. einer in Rückrichtung zugeordnet werden, so dass die Information von beiden Komponenten in dieselbe Richtung fliesst. Unidirektionale Schutzverbindungen (redundante Leitungsverbindungen) stehen auf dem Ringnetz zur Verfügung, das in Gegenrichtung verläuft und durch die verbleibenden Glasfasern in Sende- und in Gegenrichtung gebildet wird. Bei einem Fehler wird die unterbrochene unidirektionale Verbindung auf den Schutzring geschaltet *(Fig. 4)*.

Der Schutz einer Teilnetzverbindung durch ein unidirektionales Ringnetz mit Pfadumschaltung im Fehlerfall umfasst die Überbrückung am Knoten, an dem die Verbindung in das Ringnetz gelangt, so dass das Signal gleichzeitig in beide Richtungen durch das Ringnetz übertragen wird. Am Abgangsknoten wird die beste der beiden Verbindungen nach den normalen Kriterien für Verbindungsfehler (Alarmanzeigesignal AIS, Alarm Indication Signal — oder Pfad tieferer Ordnung LOP, Lower Order Path) ausgewählt *(Fig. 5)*.

Dieser Mechanismus ist nicht auf Ringnetze beschränkt, sondern kann in jedem Teilnetz eingesetzt werden, das zwei getrennte Leitungsführungen zwischen Knotenpaaren aufweist.

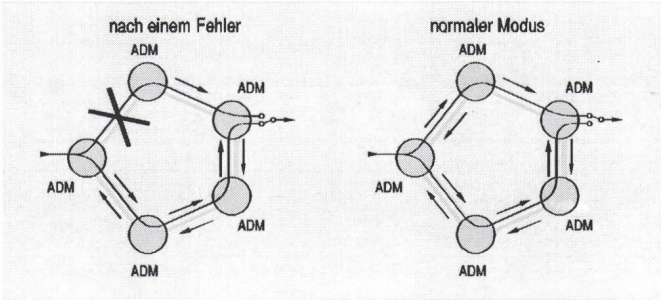


Fig. 5 Pfadschutz

Es werden Ringnetze mit zwei Glasfasern definiert, bei denen jeder Knoten einen bidirektionalen optischen Anschluss nach Osten und einen nach Westen aufweist. Die Hälfte der Verbindungen in jedem Leitungsabschnitt wird als Arbeitsgruppe und die andere Hälfte als Schutzgruppe vergeben. Bei einem Fehler werden die bidirektionalen Arbeitskanäle auf die Schutzkanäle umgeschaltet.

Es werden Ringnetze mit vier Glasfasern definiert, bei denen jeder Knoten zwei bidirektionale Anschlüsse in jede Richtung aufweist. Alle Verbindungen in einem Leitungsabschnitt werden als Arbeitsgruppe und die im anderen Leitungsabschnitt als Schutzgruppe vergeben. Die Schutzumschaltung geschieht bei einem Kabel- oder Knotenfehler wie im Fall der zwei Glasfasern; bei einem Fehler einer einzigen Verbindung wird jedoch wie beim herkömmlichen 1:1- bzw. Punkt-zu-Punkt-Schutzschalter umgeschaltet.

Bidirektionale selbstheilende Ringnetze (MS-BSHR, Bidirectional Multiplex Section Self Healing Ring) sind für die Versionen mit zwei und vier Glasfasern gleich *(Fig. 6)*. Eine Erweiterung des für lineare automatische Schutzschaltungen eingesetzten K-Byte-Protokolls wird dazu verwendet, eine Überbrückungsanforderung auf dem langen Pfad entlang des Ringnetzes zur Sendeseite des fehlerhaften Abschnitts zu senden. Es muss ausserdem sichergestellt werden, dass alle Durchgangsknoten auf Durchschaltung gestellt sind.

Es wurde ein bidirektionaler Ringnetz-Schutz in der Pfadebene vorgeschlagen, um die durch den Schutzpfad hervorgerufene zusätzliche Leitungslänge zu vermeiden, was in physikalisch sehr ausgedehnten Ringnetzen (z. B. in Transatlantik-Systemen) wichtig ist

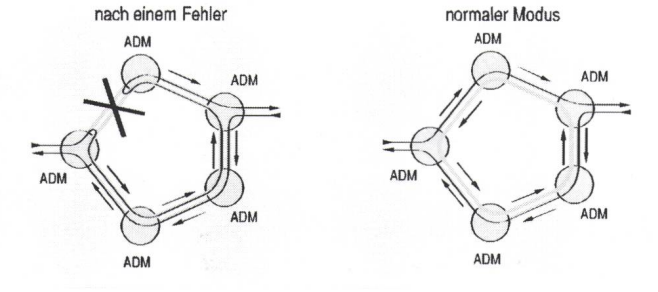


Fig. 4 Unidirektionales selbstheilendes Ringnetz (MS-USHR)

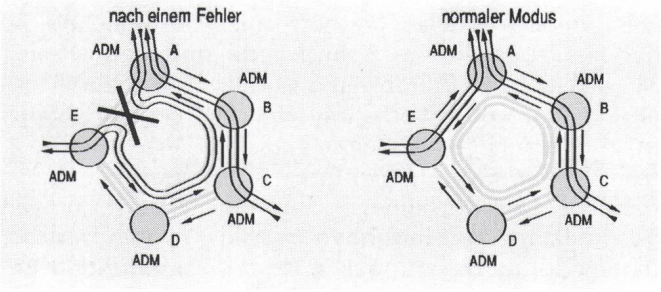


Fig. 6 Bidirektionales selbstheilendes Ringnetz (MS-BSHR)

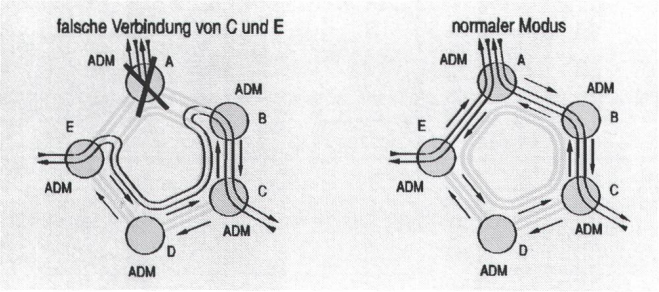


Fig. 7 Bidirektionales selbstheilendes Ringnetz mit Fehlverbindungen

Zurzeit steht jedoch kein normierter Mechanismus zur Verfügung.

6 Kapazitätsvergabe und Bandbreiten-Wiederverwendung

Die unterschiedlichen Eigenschaften jedes Typs von Ringnetzen haben Auswirkungen auf die Regeln zur Kapazitätsvergabe in den Anwenderschichten. Die geschützte Verbindung in einem unidirektionalen selbstheilenden Ringnetz belegt definitionsgemäss auf dem gesamten Ringnetz den Zeitschlitz *eines* Kanals. Eine ähnlich geschützte Verbindung in einem bidirektionalen solchen Netz belegt den Zeitschlitz eines Kanals auf der ausgewählten Route und hält denselben Kanal/Zeitschlitz für die Übertragung weiteren Verkehrs zwischen anderen Knoten des Ringnetzes verfügbar. Diese Fähigkeit der Bandbreiten-Wiederverwendung erlaubt eine grössere Effektivität, wenn die Quellen und Senken des Verkehrs gleichmässig im Netz verteilt sind. Es ist jedoch kein Kapazitätsvorteil gegenüber dem unidirektionalen Fall, wenn der Verkehr überwiegend ungleichmässig ist.

Eine ähnliche Fähigkeit zur gemeinsamen Nutzung von Kapazitäten kann auch im unidirektionalen selbstheilenden Ringnetz erreicht werden, wenn unterschiedliche Regeln zur Kapazitätsvergabe verwendet werden, so dass die beiden unidirektionalen Verbindungen unabhängig voneinander unter Verwendung der Zeitschlitze unterschiedlicher Kanäle auf dem kürzesten Weg geschaltet werden.

Die Fähigkeit, Schutzkapazität gemeinsam zu nutzen oder nicht, führt zu einer weiteren Unterscheidung zwischen *gemeinsam genutzten* und *fest zugeordneten* Schutzmechanismen. Diese Terminologie wird ebenfalls häufig verwendet.

Das unidirektionale Ringnetz mit Pfadumschaltung hat fest zugeordnete Schutzpfade und damit keine Möglichkeit der Bandbreiten-Wiederverwendung, unabhängig von der Verkehrsverteilung. Da der Schutzmechanismus jedoch eine einzelne Verbindung anstelle einer Gruppe schützt, ist es normalerweise möglich, eine Kombination von geschützten und ungeschützten Verbindungen auszuwählen. Darüber hinaus können die ungeschützten Verbindungen unterschiedlich geschaltet werden, damit sichergestellt ist, dass nicht mehr als die Hälfte zu einem beliebigen Zeitpunkt gleichzeitig ausfallen. Dieses gemischte Szenarium wird oft als guter Kompromiss für gemischten Wählnetz/Mietleitungs-Verkehr betrachtet, besonders am Anschlusspunkt einer sternförmigen Struktur.

7 Fehlverbindungen und Signalunterdrückung (Squelching)

Bei Ringnetzen mit gemeinsam genutztem Schutz, in denen derselbe Zeitschlitz eines Kanals für unterschiedliche Pfade zu den Anschlüssen im Osten und Westen eines einzigen Knotens genutzt wird, besteht bei einem Fehler des Knotens die Gefahr von Fehlverbindungen. Dies ist in *Figur 7* für ein bidirektionales selbstheilendes Ringnetz gezeigt.

Um Fehlverbindungen zu vermeiden, wird das K-Byte-Protokoll dazu verwendet, dass die beiden neben dem Fehler liegenden Knoten feststellen können, ob ein Knoten einen Fehler aufweist (im Gegensatz zum Fehler einer einzigen Verbindung). Diese Information wird an die Anwenderschichten dieser Knoten übergeben, die dann die Signale der im fehlerhaften Knoten unterbrochenen Verbindungen unterdrücken und durch das Alarmanzeigesignal (AIS, Alarm Indication Signal) ersetzen können. Dieser Prozess wird *Squelching* genannt. Die Schutzumschaltung ist nicht zulässig, bis das Squelching beendet ist. Trotzdem muss auf eine Schutzanforderung auch im grössten Ringnetz mit 16 Knoten innerhalb von 50 ms reagiert werden.

8 Verbindung von Teilnetzen über zwei Knoten

Um eine hohe Verfügbarkeit für einen mehrere Teilnetze durchlaufenden Pfad sicherzustellen, ist es im allgemeinen erforderlich, mindestens zwei unabhängige Verbindungen zwischen den beiden Teilnetzen vorzusehen. Die Architektur solcher Verbindungen über zwei Knoten wird von der in den Teilnetzen eingesetzten Schutzstrategie stark beeinflusst.

In *Figur 8* ist die Funktion «Drop and Continue» dargestellt, die in den Verbindungsknoten zwischen zwei Teilnetzen, in denen Teilnetzverbindungsschutz in der Pfadebene eingesetzt wird, bereitgestellt werden muss. Fehler in jedem Ringnetz werden unabhängig voneinander behoben. Alternativ können die verbundenen Ringnetze als teilweise vermaschtes Teilnetz mit an der Grenze bereitgestellten Schutzfunktionen

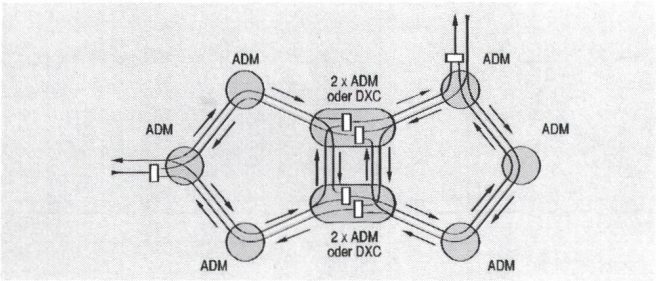


Fig. 8 Pfadschutz in Anwendungen mit mehreren Ringnetzen

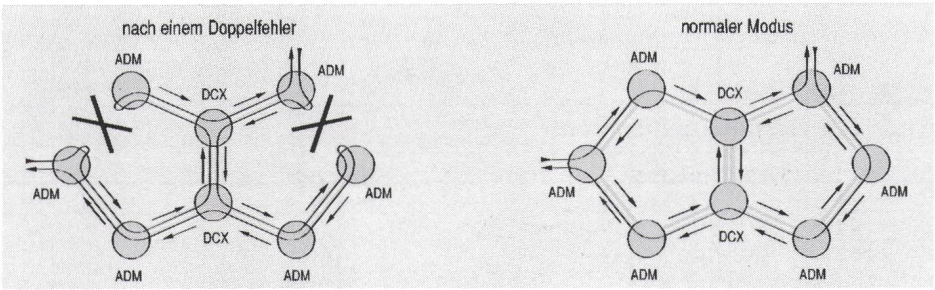


Fig. 9 Verbindung zweier unidirektionaler selbstheilender Ringnetze

betrachtet werden. In diesem Fall kann nur ein Fehler im kombinierten Teilnetz behoben werden.

In *Figur 9* ist die ziemlich einfache Architektur zur Unterstützung der Verbindung zweier unidirektionaler selbstheilender Ringnetze gezeigt. Auch hier können wieder unabhängige Fehler in den beiden getrennten Ringnetzen behoben werden.

Ein Verfahren zur Verbindung zwischen zwei bidirektionalen selbstheilenden Ringnetzen über zwei Knoten ist in *Figur 10* gezeigt. Es beruht auf dem für den Teilnetzverbindungsschutz verwendeten «Drop-and-Continue»-Prinzip auf Pfadebene.

9 Netzwiederherstellung

Wiederherstellungssysteme benützen im Fehlerfall die Netzintelligenz, um neue, mehr oder weniger optimierte alternative Wege abzuleiten, mit denen die bestehenden Anforderungen unter Berücksichtigung des Fehlers erfüllt werden. Es besteht besonderes Interesse, derartige Systeme im Kernnetz anstelle von mehr lokalisierten Schutzsystemen einzusetzen, da bei dieser Anwendung die Effektivität wesentlich grösser ist. Es werden digitale Querverbindungseinrichtungen (DCS, Digital Cross Connects) hoher Kapazität verwendet, die nicht vollständig vermascht sind. Wiederherstellungssysteme weisen unterschiedliche Architekturen, Strategien und Prozeduren auf. In *Figur 11* und *Tabelle I* werden diese Eigenschaften als Grundlage einer groben Klassifizierung verwendet.

Eine homogene SDH-Infrastruktur bietet umfassende, genormte Überwachungsfunktionen, eine integrierte Kommunikation und eine einheitliche Architektur, was alles zu einer effektiveren und schnelleren Wiederherstellung beiträgt. Integrierte homogene Netze werden besonders wirksame Massnahmen zur Fehlerlokalisierung und zur Identifizierung fehlerhafter Pfade bieten. Für die meisten vorhandenen Wiederherstellungssysteme wird eine zentralisierte Architektur *(Fig. 12)* verwendet. Sie führen eine Neuoptimierung des fehlerhaften Netzes durch, indem sie eine ähnliche algorithmische Prozedur verwenden, wie sie für die erste Zuordnung der Pfade eingesetzt wird. Solche Systeme sind konzeptionell geradlinig. Der Zuverlässigkeit und der Geschwindigkeit der Datenkommunikation sowie der Effizienz der Berechnungsalgorithmen muss jedoch besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Die Fortschritte im Bereich der verteilten und dezentralisierten Systeme sowie komplexer oder sehr grosser Netze als auch zunehmend strenge Anforderungen an die Wiederherstellungszeiten und die Netzzuverlässigkeit führen dazu, dass Forscher und Netzentwickler teilweise oder vollständig dezentrale Architekturen in Betracht ziehen *(Fig. 13)*. Um die optimale Aufteilung zwischen verteilter und zentral gehaltener Information zu erreichen, müssen viele Punkte berücksichtigt werden. Für dezentrale (verteilte) Systeme wird im allgemeinen eine Unterstützung durch zusätzliche Normen erforderlich sein.

Die in Figur 13 gezeigte «Pfad-Wiederherstellung» und «Abschnitts-Wiederherstellung» sind die beiden wichtigsten Verfahren zur Netz-Wiederherstellung. Die Pfad-Wiederherstellung beruht auf dem Prinzip, dass Fehlersignale zur Erkennung der beeinflussten Pfade (oder allgemeiner ausgedrückt der Netzverbindungen) verwendet werden. Die fehlerhaften Pfade werden durch Aufschaltung alternativer Pfade wiederhergestellt, wobei die alternativen Pfade die fehlerhaften Netzteile meiden. Die Pfad-Wiederherstel-

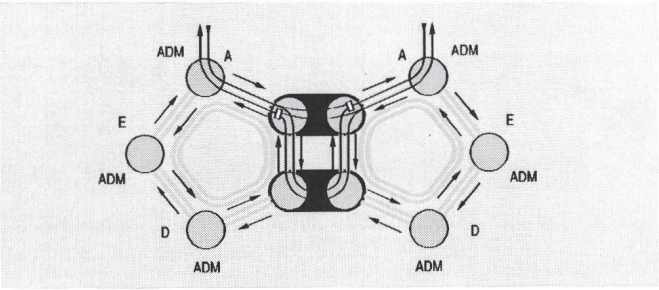


Fig. 10 Anwendung mehrerer bidirektionaler selbstheilender Ringnetze: die Lösung von Bellcore *im normalen Modus*

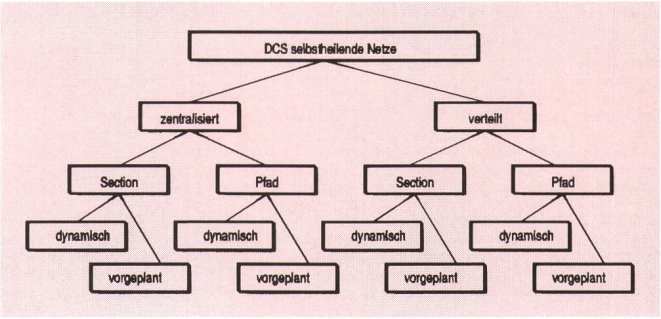


Fig. 11 Klassifizierung selbstheilender Netzarchitekturen mit digitalen Querverbindungseinheiten

Tabelle I. Vergleich von Schutz/Wiederherstellungs-Möglichkeiten in Netzen mit digitalen Querverbindungseinheiten

Steuerarchitekturen		
Attribut	zentralisiert	dezentralisiert
Komplexität des Netzes	geringer	höher
Grad der Unterstützung durch Standards	geringer	höher
Reaktionszeit	langsamer	schneller
Anfälligkeit	höher	geringer
Verwaltung	höherer Zusatzaufwand	geringerer Zusatzaufwand
Bedarf an lokalem Speicher	höher	geringer
Abschnitts- und HOP-Wiederherstellung		
Attribut	Abschnitts-Wiederherstellung	Pfad-Wiederherstellung
Geschwindigkeit	möglicherweise schneller	im allgemeinen langsamer
Komplexität der Algorithmen	geringer	höher
Effizienz der Kapazitätsausnutzung	geringer	höher
Vorhergeplante und dynamische Prozeduren		
Attribut	vorhergeplant	dynamisch
Komplexität	geringer	höher
Netzanpassung	schlecht	gut
Reaktionsgeschwindigkeit	schneller	langsamer
Zuverlässigkeit/Unempfindlichkeit	geringer	höher

lung ermöglicht die Einsparung von Ressourcen, erfordert aber verhältnismässig viele und umfangreiche Informationen. Die Abschnitts-Wiederherstellung beruht anderseits auf der Zuordnung der Fehler zu Abschnitten (oder möglicherweise zu Leitungsverbindungen), die dann durch geeignete Leitungsverbindungen ersetzt werden. Die Abschnitts-Wiederherstellung ist daher prinzipiell einfacher als die Pfad-Wiederherstellung, aber typischerweise nicht so effizient.

In einem Versuch, die Konstruktion von Wiederherstellungssystemen zu vereinfachen und die sich durch die Verarbeitung ergebenden Verzögerungen zu minimieren, haben die Konstrukteure den Begriff der teilweise oder vollständig «vorhergeplanten» Wiederherstellung eingeführt, wobei bei einem besonderen Ereignis eine vordefinierte Aktion ausgeführt wird. Um die bei einem vollständig vorhergeplanten System auftretenden Einschränkungen zu vermeiden, wird bei einem teilweise vorhergeplanten System zunächst auf vordefinierte Aktionen zurückgegriffen, und wenn diese keinen Erfolg haben, werden dynamische Prozeduren aufgerufen.

Die wesentlichen funktionalen Aspekte eines Kern-Teilnetzes sind in *Figur 14* gezeigt. Eine Verbindung zwischen zwei benachbarten Knoten bezieht sich auf eine topologische Einheit, die zu Leitungsverbindungen (oder Durchgangs-Leitungsverbindungen) gehört, die ein bestimmtes Signal zwischen den Anschlusspunkten der Verbindung übertragen. Das Kern-Teilnetz wird dazu verwendet, einen als Teilnetzverbindung bezeichneten Teil des Ende-zu-Ende-Pfads zu unterstützen, wie in Figur 8 gezeigt. Die Aufgabe des Kern-Teilnetzes ist es, geschützte Teilnetzverbindungen auf folgende Weise bereitzustellen: Wenn im Übertragungsnetz ein Fehler auftritt, der ei-

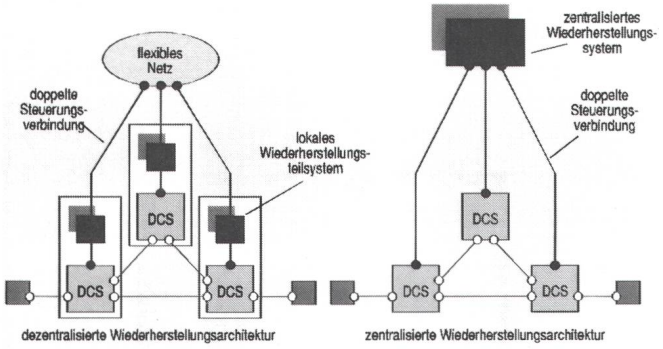


Fig. 12 Steuerstruktur selbstheilender Netzarchitekturen mit digitalen Querverbindungseinheiten

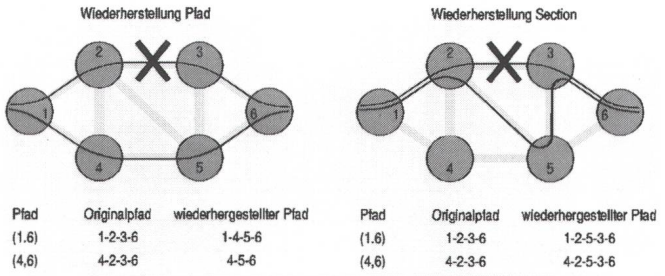


Fig. 13 Abschnitts- und Pfad-Wiederherstellung in selbstheilenden Netzen mit digitalen Querverbindungseinheiten

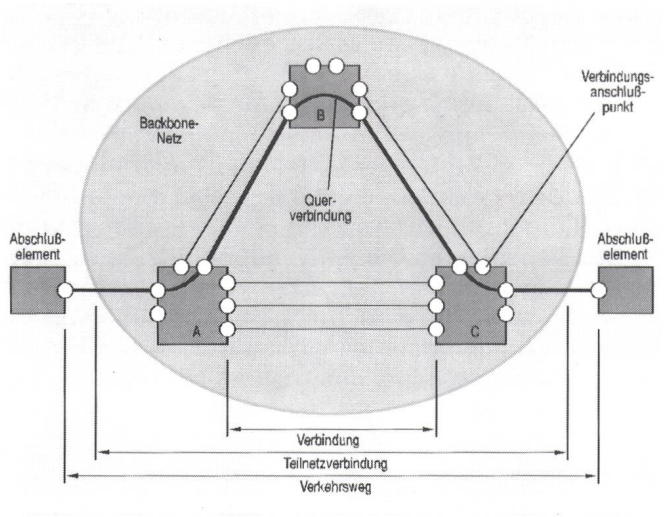


Fig. 14 Modell des Übertragungsnetzes

nen vorgegebenen Pfad (oder mehrere Pfade) beeinflusst, wird die ursprüngliche Teilnetzverbindung durch eine alternative (Schutz-)Teilnetzverbindung ersetzt, die dieselben Endpunkte verwendet wie die ursprüngliche Teilnetzverbindung. Wie oben erwähnt, kann der Schutz von Teilnetzverbindungen entweder durch Pfad- oder Abschnitts-Wiederherstellungsverfahren ermöglicht werden. In beiden Fällen wird die alternative Teilnetzverbindung durch Änderungen von Querverbindungen in einigen geeigneten Querverbindungseinrichtungen hergestellt.

10 Prinzipien der Wiederherstellung

Um wirkungsvoll arbeiten zu können, muss das Teilnetz ausreichende Ersatz-Netzkapazität enthalten, mit der die alternativen Teilnetzverbindungen hergestellt werden können. Die Optimierung der Ersatz-Netzkapazität unter Berücksichtigung des wahrscheinlichen Umfangs möglicher Fehler ist eines der Grundprobleme jeder Wiederherstellungsprozedur.

Das Schlüsselelement im Wiederherstellungsprozess sind die Ereignisse, die eine Wiederherstellungsaktivität auslösen können. Interne Fehler im Netzelement, die Querverbindungen oder Anschlusspunkte beeinflussen, ermöglichen eine leichte Erkennung der beeinflussten Verbindungen und der Lage des Fehlers.

Übertragungs-Alarmmeldungen, die von einem Netzelement erkannt werden, sind entweder durch Fehler in einem anderen Netzelement oder in der Übertragungsleitung selbst (z. B. durch einen Kabelbruch) hervorgerufen. Bei homogenen integrierten Netzen kann der Prozess der Fehlerlokalisierung direkt ablaufen. Wenn jedoch die Querverbindungseinrichtungen die hauptsächliche Quelle der Netzinformation sind, wird der Ablauf komplizierter: Alle Alarmanzeigesignale, die von den zur Netzverbindung gehörenden Netzelementen erzeugt werden, müssen analysiert werden, um die Lage des Fehlers zu bestimmen. Man beachte, dass die Fehlerlokalisierung dem Zweck dient, die Netz-Ressourcen zu bestimmen, die zur Wiederherstellung einer Netzverbindung noch verwendet werden können.

Einem Teilnetz zugeordneten Verbindungen kann auch eine *Priorität* zugeordnet werden. Dieser Parameter dient zur Bestimmung der Reihenfolge, in der eine Anzahl gleichzeitig ausgefallener Pfade wiederhergestellt werden muss. Durch diese nützliche Eigenschaft wird für Pfade höherer Priorität eine höhere Dienstgüte ermöglicht.

Die Prioritätsunterbrechung (Pre-Emption) ist eine weitere Eigenschaft, bei der die Dienstunterscheidung ausgenützt wird, um die Menge der vorgehaltenen Ersatzeinrichtungen zu verkleinern. Mit ihr besteht die Möglichkeit, einen ausgefallenen Pfad einer bestimmten Priorität unter Verwendung der Ressourcen eines anderen aktiven Pfads geringerer Priorität wiederherzustellen. Die Prioritätsunterbrechung wird nur verwendet, wenn keine anderen Ressourcen für die Wiederherstellung eines bestimmten ausgefallenen Pfads gefunden werden können.

11 Pfad-Wiederherstellungsprozess

Die Pfad-Wiederherstellung läuft typischerweise wie folgt ab:

- *Alarmerfassung:* Ausgehend von Empfang/Erkennung des ersten Netzalarms kann es erforderlich sein, eine kurze Zeit zu warten, um sicherzustellen, dass alle relevanten Meldungen empfangen wurden, bevor mit der anschliessenden Analysephase fortgefahren wird.
- *Alarmanalyse:* Nach der Erfassung der Alarmmeldungen werden die Alarmdaten analysiert, um die von den Fehlern betroffenen Dienstelemente und die auszulösenden Wiederherstellungsaktivitäten zu bestimmen.
- *Verbindungsauswahl:* Die alternative(n) Teilnetzverbindung(en) für die Wiederherstellung der (des) betroffenen Pfade(s) wird (werden) ausgewählt, unter Einsatz eines Algorithmus, mit dem die Auslastung der Netzbetriebsmittel minimiert wird.
- *Ausführung:* Die ausgewählten alternativen Teilnetzverbindungen werden ausgeführt, indem fast parallel in jeder betroffenen Querverbindungseinheit eine Anzahl von Durchschaltungen geändert wird. Dieser Schritt ist beendet, wenn zwischen den Elementen des Wiederherstellungssystems die entsprechenden Quittierungen ausgetauscht wurden.
- *Überprüfung:* In diesem letzten Schritt werden die Alarmbedingungen überprüft, um den Erfolg der Wiederherstellungsaktivität zu überprüfen.

In *Figur 15* wird ein vereinfachtes Blockschaltbild des Wiederherstellungsprozesses gezeigt. Im Fall dezentralisierter Architekturen werden die Funktionsblöcke natürlich durch die Elemente des Gesamt-Wiederherstellungssystems bereitgestellt. Von einem gut ausgelegten, zentralisierten, dynamischen Pfad-Wiederherstellungssystem kann erwartet werden, dass etwa 120 Pfade in ungefähr 10 s wiederhergestellt werden können.

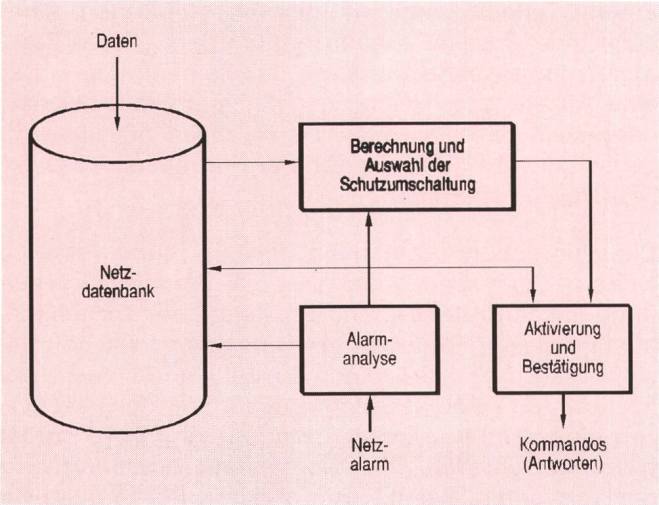


Fig. 15 Blockdiagramm der Wiederherstellungsfunktion

12 Schlussbemerkungen

Eine hohe Verfügbarkeit und Überlebensfähigkeit sind das Hauptinteresse des Betreibers beim Aufbau von SDH-Netzen. Um dies zu erreichen, stehen eine Vielzahl von firmeneigenen und genormten Mechanismen zur Verfügung. Ringnetze sind am besten geeignet für Zugriffsnetze, Stadtnetze und regionale Teilnetze, während Pfad-Wiederherstellungssysteme für Signale hoher Bandbreite sich derzeit sehr gut für Kernnetze hoher Kapazität eignen. Die Verbindungen zwischen diesen Teilnetzen erfordern Architekturen mit doppelten Knoten, in denen eine hohe Verfügbarkeit mit effizienten Strategien zum Verbindungsaufbau kombiniert werden.

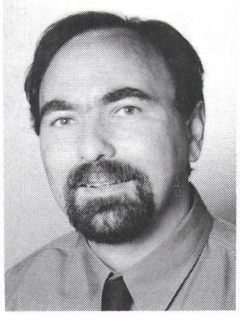
Diese Mechanismen müssen mit wenigen Ausnahmen auf lokal exklusiver Basis eingesetzt werden. Es ist beispielsweise möglich, für einen sehr wichtigen Mietleitungsnutzer eine extrem hohe Verfügbarkeit zu schaffen, indem ein Punkt-zu-Punkt-Schutz oder -Wiederherstellungsmechanismus auch dort eingesetzt wird, wo die zugeordneten Pfad-Übertragungseinrichtungen lokal auf niedrigerer Ebene geschützt sind. Es kann auch interessant sein, einen innerstädtischen Ring als Grundlage einer verteilten Querverbindungseinheit zu verwenden, die als logischer Knoten in einem übergeordneten Netz mit automatischer Wiederherstellung arbeitet. Die Verwendung der Pfadwiederherstellung im selben Teilnetz, in dem auch der Pfadschutz angewendet wird, bringt ebensowenig Vorteile wie der Versuch, den Teilnetzschutz und den Schutz des Leitungsabschnitts innerhalb desselben Ringnetzes einzusetzen.

In Zukunft werden wahrscheinlich die Prinzipien der automatischen Pfadwiederherstellung auf Transporteinheiten für Primärmultiplexsignale ausgedehnt, wo sie mit einer automatischen Beobachtung der Lastverteilung kombiniert werden, um leistungsfähigere Mechanismen zur Verbesserung des Betriebswirkungsgrades und der Dienstqualität öffentlicher Telefonwählnetze bei Spitzenlasten bereitzustellen. Fasst man die Überlebenseigenschaften und die fortschrittlichen Verwaltungsfunktionen, die in einem modernen SDH-Netz vorhanden sind, zusammen, so ergeben sich neue Standards für die Dienstverfügbarkeit und die Effektivität der Ausnutzung der Ressourcen.

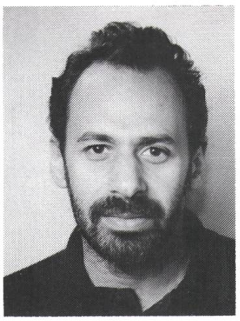
Adressen der Autoren:

J. Baudron und A. Khadr
Alcatel CIT
F-91625 Nozay
Frankreich

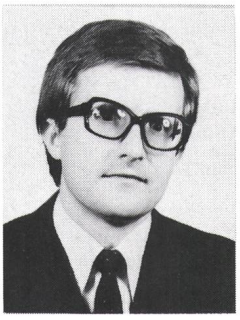
F. Kocsis
Alcatel SEL AG
Abt. US/EPN
D-70430 Stuttgart
Deutschland



Jacques Baudron wurde 1954 in Paris geboren. Er graduierte 1980 an der Ecole spéciale de mécanique et d'electricité. 1989 kam er in die Gruppe für Architektur und Systemspezifikation im Unternehmensbereich für Übertragungssysteme von Alcatel. Zurzeit arbeitet er an Netzarchitekturen und insbesondere an der Verfügbarkeit von Netzen.



Amr Khadr promovierte 1982 in Systemtechnik an der Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio, USA, und lehrte dort bis 1985. Anschliessend arbeitete er bis 1991 bei AT&T Bell Laboratories, wo er sich auf das Netzmanagement spezialisierte. Er arbeitet zurzeit bei Alcatel CIT. Dort ist er für die Verwaltung von Unterwasser-Übertragungssystemen und die Netz-Wiederherstellung in Übertragungsnetzen verantwortlich.



Ferenc Kocsis promovierte 1986 an der Technischen Universität Budapest, Ungarn, auf dem Gebiet der digitalen Signalverarbeitung. Von 1975 bis 1991 arbeitete er am Forschungsinstitut für Telekommunikation in Budapest. Während dieser Zeit hielt er sich für zwei Jahre als Stipendiat der Humboldt-Stiftung an der Ruhr-Universität in Bochum auf. Anschliessend kam er zum Unternehmensbereich für Übertragungssysteme der Alcatel SEL, wo er am Systementwurf von SDH-Ringnetzen und Anschlussnetzen und an TMN-Themen arbeitet.