



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 23 530 T2** 2008.11.27

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 393 193 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 23 530.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US02/17689**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 744 222.7**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/100023**

(86) PCT-Anmeldetag: **04.06.2002**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **12.12.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **03.03.2004**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **14.11.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.11.2008**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G06F 15/16** (2006.01)  
**H04L 12/56** (2006.01)

(30) Unionspriorität:

**295943 P**      **05.06.2001**      **US**

**296238 P**      **06.06.2001**      **US**

(73) Patentinhaber:

**Cetacean Networks, Inc., Portsmouth, N.H., US**

(74) Vertreter:

**Betten & Resch, 80333 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(72) Erfinder:

**ROGERS, Steven A., Alton, NH 03809, US; BALL,  
Scott, Newmarket, NH 03857, US; GREENWALD,  
Joseph, Madbury, NH 03820, US**

(54) Bezeichnung: **ECHTZEIT-NETZWERK PAKETROUTINGSYSTEM MIT ABLAUFPLANUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung**

## VERWANDTE ANMELDUNGEN

**[0001]** Diese Anmeldung beansprucht die Priorität der vorläufigen US-Anmeldung Nr. 60/295.943, eingereicht am 5. Juni 2001, und der vorläufigen US-Anmeldung Nr. 60/296.238, eingereicht am 6. Juni 2001.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0002]** Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf ein Software- und Hardware-System, das die zeitlich geplante Lieferung von Internetprotokoll-Datenpaketen über ein Netz in der Weise sicherstellt, dass sie nicht durch andere Pakete, die dasselbe Netz nutzen, unterbrochen werden. Außerdem stellt das vorliegende offenbarte System die Sendung, die Leitweglenkung und den Empfang von IP-Datenpaketen über ein Computernetz in der Weise sicher, dass die Paketlieferung die strengen Verzögerungs- und Bandbreitenanforderungen von Echtzeit- und Nahezu-Echtzeit-Anwendungsverwendungen für das Internet, für die Telephonie und für andere Arten von Computernetzen erfüllen kann.

**[0003]** Die vorliegende Offenbarung stellt einen Fortschritt im Stand der Technik für Echtzeit-Datenpaket-Vermittlungsnetze dar, die Endpunkte wie etwa Telephone, Personal-Computer-Systeme, Großunternehmens-Server, Internetgeräte oder irgendeine andere allgemeine oder spezielle Datenspeicherungs- oder Datenerhebungsvorrichtung verwenden.

**[0004]** Viele Organisationen haben seit Langem den Wunsch, Echtzeitanwendungen von teuren hersteller-spezifischen Systemen und Netzen auf die sich schnell erweiternden internetpaketgestützten Technologien (IP-Technologien) umzustellen. Beispiele solcher Anwendungen sind die Fabrikautomatisierung, die Industrieprozesssteuerung, die Datenerfassung für Radarsysteme mit synthetischer Apertur (SAR), Instrumentierungs- und Überwachungssysteme. Außerdem unterstützt die offenbarte Erfindung alle Anwendungsbereiche, die die Internettelephonie (VoIP) und den Videoabruf nutzen. Da beide Anwendungstypen inakzeptable Qualitätsniveaus liefern, wenn die Echtzeitanforderungen nicht erfüllt werden können, legen diese Anwendungen hohen Wert auf die Echtzeitpaketlieferung, Echtzeitanwendungen gehören zu zwei Hauptgruppen: Jene, die in "harter" Echtzeit reagieren, und die anderen, die in "weicher" Echtzeit reagieren. Dies sind Anwendungen mit weniger strengen Anforderungen. Es liegt im Allgemeinen Wesen eines solchen Systems, einen Prozess auf der Grundlage der Messungen von diesem Prozess zu ändern. Dies hat ernste Auswirkungen sowohl auf das Betriebssystem als auch auf das Netz, das zum Erheben und Verteilen von Daten verwendet wird. Ein hartes Echtzeit-Betriebssystem muss innerhalb eines spezifizierten und genauen Zeitfensters auf eine Art eines Ereignisses eine Antwort geben. Diese Antwort muss vorhersagbar und unabhängig von anderen von dem Betriebssystem unternommenen Aktivitäten sein. Die Bereitstellung dieser Antwort bedeutet, dass Systemaufrufe eine spezifizierte, gemessene Latenzzeit haben. Harte Echtzeitsysteme nutzen häufig spezifische Hardware-Vorrichtungen mit speziellen Vorrichtungstreibern. Die IEEE-Instrumentierungsbusse sind ein Beispiel. Obgleich der IEEE-Bus die Echtzeitbeschränkungen für die meisten, wenn nicht für alle Anwendungen erfüllen kann, ist er hinsichtlich der Länge und der Entfernung zwischen den Vorrichtungen, die an den Bus angeschlossen werden können, beschränkt. Es kann beobachtet werden, dass das Datennetz (oder der Datenbus) unabhängig von der Ansprechempfindlichkeit des Betriebssystems Daten für das Betriebssystem innerhalb derselben Echtzeitbeschränkungen empfangen oder senden können muss. Standard-IP-Netze können die harten Echtzeitanforderungen der meisten harten Echtzeitanwendungen nicht erfüllen.

**[0005]** Im Gegensatz dazu ist ein weiches Echtzeitbetriebssystem eines, das weniger strenge Beschränkungen an die "Verspätung" hat, aber immer noch innerhalb recht gleichbleibender Zeitbeschränkungen schnell arbeiten muss. Das heißt, es muss gut genug sein, um Ereignisse so zu bedienen, dass die Antwort im Mittel erfüllt sein sollte. Die meisten gebrauchsfertigen Industriestandard-Betriebssysteme erfüllen diese Definition. IP-Netze können diese Beschränkung je nach der Anwendung gelegentlich erfüllen, sind aber ohne spezielle Dienstqualitätsmerkmale und vielleicht über Bereitstellung des Netzes hinsichtlich der Leistungsfähigkeit nicht vorhersagbar. Üblicherweise wird verstanden, dass das "nächste" IP-Datenpaket verursacht, dass das Netz hinsichtlich Reaktionszeit und Gesamtleistungsfähigkeit nicht deterministisch wird, sobald die Bandbreite eines solchen Netzes vollständig gesättigt ist.

**[0006]** Es ist zu sehen, dass es sowohl innerhalb harter als auch weicher Echtzeitsysteme für computergestützte Echtzeit- und Nahezu-Echtzeit-Systeme zwei Grundanforderungen gibt. Zunächst muss die Betriebssystem-Software des Computers ausreichend reaktionsschnell sein, um Software-Anwendungen zu unterstützen, die Tasks gegenüber einem genauen Zeitplan ausführen müssen. Zweitens muss das Netz, das üblicher-

weise eine Anzahl unterstützender Peripherieuntersysteme miteinander verbindet, Datenpakete in ausreichend rechtzeitiger Weise zu und von der Software-Anwendung liefern können, um nicht die der Anwendung implizit oder explizit auferlegten Echtzeit- oder Nahezu-Echtzeit-Beschränkungen zu verletzen.

**[0007]** Zum Beispiel muss das Netz für eine SAR-Einheit das gegenwärtige Radarbild an einen Signalverarbeitungscomputer senden können, wo es analysiert wird. Obgleich diese Operation für dieses Beispiel stark vereinfacht ist, muss sie abgeschlossen werden, bevor das SAR ein weiteres Bild zur Verarbeitung übergibt. Für den Fachmann auf dem Gebiet ist selbstverständlich, dass wichtige Daten, die in der nächsten SAR-Abtastung enthalten sind, unabhängig von der Leistungsfähigkeit des Computersystems verlorengehen, falls das Netz die SAR-Daten nicht schnell genug überträgt, damit die Analyse abgeschlossen wird, oder umgekehrt.

**[0008]** In vielen harten Echtzeitsystemen kann ein Spezial-Echtzeitbetriebssystem (Spezial-RTOS) genutzt werden. Ein RTOS ist ein spezielles Multitasking-Steuersystem, das speziell so entworfen ist, dass es die Ausführung eines Software-Programms in einem programmierbaren, aber sehr spezifischen Zeitplan sicherstellt. Außerdem muss ein RTOS sehr reaktionsschnell auf Daten sein, die auf zeitlich geplanter oder nicht geplanter Grundlage zur Verarbeitung an das System übergeben werden können. Somit ist es zwingend, dass das zum Erheben und Verteilen von Daten von einem RTOS verwendete Netz die Fähigkeit hat, ebenso reaktionsschnell und vorhersagbar zu sein. Selbstverständlich sind Ethernet- und IP-Paketvermittlungssysteme hinsichtlich ihrer zeitlich geplanten Lieferung von Datenpaketen üblicherweise tatsächlich nicht ausreichend reaktionsschnell oder vorhersagbar. Trotz wesentlicher Vorteile in Bezug auf die gelieferte Bandbreite leiden diese Klassen von Vermittlungen wegen Paketkollisionen und veränderlichen Paketverzögerungen an einer Nichtvorhersagbarkeit.

**[0009]** Zum Beispiel entstehen nahezu mit Sicherheit Probleme, wenn mehrere Anwendungen oder sogar mehrere Threads innerhalb einer einzelnen Anwendung auf momentaner Grundlage um die Betriebsmittel eines einzelnen Ports konkurrieren. Am wahrscheinlichsten stören diese Anwendungen und Threads einander, was veranlasst, dass bei der Sendung oder beim Empfang eines oder mehrerer Pakete veränderliche Verzögerungen auftreten. Einige Systemkonstrukteure haben dieses Problem durch den Einbau mehrerer Netzschnittstellenarten in den Host-Computer (Multi-Homing genannt) zu mildern versucht. Diese Technik verringert im Vergleich zu einer einzelnen Netzschnittstellenkarte Paketkollisionen und veränderliche Paketverzögerungen, während Bandbreitenprobleme schließlich wieder auftauchen, wenn die schnellen Netzschnittstellenkarten die verfügbare Bandbreite des E/A-Busses des Hosts aufbrauchen.

**[0010]** Üblicherweise kann herkömmliche Netzvermittlungsausrüstung die Echtzeitbeschränkungen, die eine Echtzeit- oder Nahezu-Echtzeit-Anwendung definieren, nicht erfüllen.

**[0011]** In vorhandenen Systemen sind Versuche unternommen worden, diese Probleme durch Zuweisen von Prioritäten zu Paketen verschiedener Typen zu behandeln. In diesen vorhandenen Techniken kann Paketen mit Echtzeitanforderungen eine verhältnismäßig höhere Priorität zugewiesen werden, sodass sie vor Paketen niedrigerer Priorität verarbeitet werden, die keine Echtzeitlieferung benötigen. Leider verbessert die priorisierte Paketverarbeitung nicht die Leistungsfähigkeit, falls alle Pakete äquivalente Prioritäten haben. Ein Beispiel einer Anwendung, in der dieses Szenarium auftritt, ist die Sprachtelephonie. Im Allgemeinen können an einer einzelnen Portverbindung viele gleichzeitige Telephonanrufe übermittelt werden. Üblicherweise ist nicht bekannt, ob die Pakete, die Daten für diese Telephonanrufe übermitteln, wenn überhaupt, eine höhere Priorität erhalten sollten. Wenn Sprachpakete mit mehreren Prioritäten in einem einzelnen Kanal gemischt werden, können sich eine nichtdeterministische Paketstauung und -verzögerung ergeben, die einen Telephonanruf unterbrechen.

**[0012]** Die vorliegende offenbarte Erfindung ist nicht mit dem Echtzeitprotokoll (RTP) zu verwechseln, das üblicherweise in IP-Netzen verwendet wird. Das RTP stellt für Anwendungen wie etwa für die zuvor aufgeführten Ende-Ende-Lieferdienste bereit. RTP-Dienste enthalten die Nutzinformationsidentifizierung, die Sequenznummerierung, die Zeitstempelung und die Lieferungsüberwachung. Außerdem unterstützt das RTP Datenübertragungen zu mehreren Zielen unter Verwendung einer Mehrpunktverteilungsverteilung, falls sie durch das zugrundeliegende Netz bereitgestellt wird. Obgleich dieser Typ eines Rundsendemechanismus die effektive gegenwärtige Leistungsfähigkeit des Netzes wesentlich erhöhen kann, schafft die Mehrpunktverbindung sehr beschränkten bis gar keinen Nutzen in Punkt-zu-Punkt-Anwendungen wie etwa jenen, die in der Telekommunikation zu finden sind. Es wird angemerkt, dass das RTP selbst keinen Mechanismus zur Sicherstellung der pünktlichen Lieferung oder zur Bereitstellung weiterer Dienstqualitätsgarantien bereitstellt und bereitstellen kann. Das RTP stützt sich hierfür auf Dienste einer unteren Schicht. Außerdem stellt es nicht die Pakettlieferung sicher und verhindert keine Pakettlieferung außer der Reihe. Das RTP macht keine Annahme, dass das zu-

grundlegende Netz zuverlässig ist oder Pakete der Reihe nach liefert. Die im RTP enthaltenen Paketfolgennummern sind vielleicht nützlich für die Rekonstruktion der Paketfolge des Senders oder um, z. B. bei der Videodecodierung, ohne notwendige Decodierung der Pakete der Reihe nach den richtigen Ort eines Pakets zu bestimmen.

**[0013]** Obgleich die für das RTP formulierten Merkmale eine Effizienz der Verarbeitung von Paketen nach der Lieferung zulassen, gewähren sie keine Garantien, dass die Paketlieferung innerhalb der Beschränkungen eines harten Echtzeitsystems bleibt.

**[0014]** Ein Beispiel eines bekannten Steuersystems für die Behandlung der Sendung und des Empfangs von Daten ist in US 5.761.430 offenbart. Dieses lehrt spezifisch Betrachtungen, die auf einen isochrone Daten genannten Datentyp angewendet werden sollten und wie Kollisionen während der Übertragung dieser Daten zu verhindern sind. Ein Beispiel eines Systems, das eine Bestimmung optimaler Puffergrößen schafft, um eine stauungsfreie Leitweglenkung sicherzustellen, ist in LI C-S u. a.: "Pseudo-isochronous cell forwarding", COMPUTER NETWORKS AND ISDN SYSTEMS, NORTH HOLLAND PUBLISHING, AMSTERDAM NL: Bd. 30, Nr. 24, XP004150561, ISSN: 0169-7552, offenbart.

#### KURZZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0015]** Dementsprechend schafft die Erfindung ein Verfahren nach Anspruch 1, wobei in den abhängigen Ansprüchen vorteilhafte Ausführungsformen gegeben werden. Außerdem wird ein System gemäß Anspruch 14 geschaffen.

**[0016]** In Übereinstimmung mit den Prinzipien der Erfindung wird hier ein Echtzeit-Paketvermittlungssystem offenbart, das jeder von mehreren Echtzeitanwendungen oder jedem von mehreren Echtzeitanwendungs-Verarbeitungs-Threads in einem Multitasking-Betriebssystem in der Weise Bandbreite zuweisen kann, dass die Paketverzögerung gesteuert wird und eine gewährleistete Paketlieferung sichergestellt wird. Das offenbarte System schafft eine gewährleistete Bandbreitenzuweisung, die die durch die Bandbreitenkonkurrenz verursachten Übertragungsprobleme mildert. Das offenbarte System weist Bandbreite zur Verwendung während jeweiliger Echtzeitkommunikationssitzungen zu. Mit Ausnahme des Umfangs, in dem die verfügbare Bandbreite an den betreffenden Ports verringert wird, verschlechtert der Betrieb des offenbarten Bandbreitenzuweisungssystems nicht die Paketvermittlungsleistungsfähigkeit des anderen Paketverkehrs.

**[0017]** Die vorliegende Offenbarung enthält ein Zeitplanungssystem, das zu einer herkömmlichen Paketvermittlungsarchitektur hinzugefügt werden kann. Das offenbarte Paketzeitplanungssystem schafft Software-Schnittstellen, um zu ermöglichen, dass eine Anwendung einen zeitlich geplanten Weg anfordert, und um zu veranlassen, dass die Zeitplanungs-Software und die Vermittlungs-Hardware dynamisch konstruiert werden und einen zeitlich geplanten Weg einhalten. Diese Zeitplanung wird auf die Sende- und Empfangsfunktionen innerhalb jedes Ports einer Vermittlung getrennt angewendet. Das offenbarte Echtzeit-Paketzeitplanungssystem kann in Übereinstimmung mit den Echtzeit- sowie mit den Nicht-Echtzeit-Anforderungen von Kern- und Anwendernebenenoperationen innerhalb irgendeines Mehranwender-Multitasking-Spezial- oder -Echtzeit-Software-Betriebssystems oder irgendeiner Software-Anwendung hinsichtlich gewährleisteter Bandbreite und gesteuerter Verzögerung arbeiten. Außerdem kann die vorliegende Offenbarung auf irgendein IP-gestütztes Kommunikationsmedium einschließlich eines drahtlosen angewendet werden.

**[0018]** Für die vorliegenden Zwecke bezieht sich der Begriff Echtzeit-Paketvermittlungssystem auf eine Menge einzigartiger Hardware- und Software-Module, die, wenn sie mit zeitplankompatiblen Endpunkten (SEPs) arbeiten, die hier auch als "SEDs", zeitplankompatible Endvorrichtungen, bezeichnet werden, zulassen, dass zwei oder mehr dieser Endpunkte mit Echtzeiteigenschaften so über ein IP-Netz kommunizieren, dass die Bandbreite sichergestellt wird und dass Netzverzögerungen gesteuert und deterministisch sind. Ein SEP kann irgendeine Vorrichtung sein, die Pakete in einem zeitlich geplanten Ablaufplan, wie er durch einen Zeitplaner berechnet und vorgeschrieben wird, senden und empfangen kann. Einige Beispiele von SEPs sind IP-Telephone, Industriestandard-Server, Desktop-PC-Clients, Netzspeichersysteme und verschiedene Netze.

**[0019]** Es wird angemerkt, dass das hier beschriebene System gemäß der Erfindung auf den Begriff der Bewegung von IP-Datenpaketen von einem Endpunkt zu einem oder zu mehreren anderen Endpunkten verallgemeinert ist. Im Allgemeinen ist es nicht wichtig für das System, hinsichtlich welcher Arten von Endpunkten es konfiguriert ist. Solange die Endpunkte die Grundspezifikationen für die Sendung und für den Empfang zeitlich geplanter IP-Pakete einhalten, transportiert das System Pakete mit maximaler Bandbreite mit gesteuerten Verzögerungen, bis alle Betriebsmittel verwendet werden. Außerdem ist das hier beschriebene System nicht emp-

findlich für verschiedene IP-Überlagerungstechnologien wie etwa Internet-Telephonie (VoIP) oder Internet-Video (DVoIP).

**[0020]** Für die vorliegenden Zwecke wird zur Bezugnahme auf jene Pakete, die einer spezifischen Anwendung zugeordnet sind, der Begriff "Paketfluss" verwendet. Ferner wird ein Paketfluss hier als Bezugnahme auf einen unidirektionalen Fluss von Paketen zwischen einem sendenden Host und einem empfangenden Host, der einer Anwendung zugeordnet ist, betrachtet. Das offenbarte Zeitplanungssystem beruht auf dem Auftreten von Zeitplänen innerhalb jeder Vermittlung. Zeitpläne sind erwartete Zeitdauern, während denen Paketsendungen und/oder -empfänge für eines oder mehrere Pakete fließen.

**[0021]** Zeitpläne werden bei jeder Übertragungsstrecke innerhalb jeder Vermittlung innerhalb des Netzes unabhängig bereitgestellt. Ein gegebener Zeitplan kann unabhängig auf die Sende- und Empfangsfunktionen aller Übertragungsstrecken oder einer Teilmenge von Übertragungsstrecken innerhalb einer Vermittlung oder auf eine Teilmenge der Sende- und/oder Empfangsfunktionen einer oder mehrerer Übertragungsstrecken innerhalb einer Vermittlung angewendet werden. Dementsprechend kann eine gegebene Übertragungsstrecke auf der Grundlage eines einzelnen Zeitplans oder mehrerer Zeitpläne arbeiten. Zeitpläne können einmal arbeiten oder ununterbrochen wiederholt werden. Alternativ kann jeder Zeitplan explizit in Reaktion auf ein Ereignis ausgelöst werden.

**[0022]** Innerhalb eines Zeitplanintervalls definieren Paketflussversätze die Anfänge von Paketen oder Paketgruppen, die Paketflüssen zugeordnet sind. Diese Versätze werden auch Belegungen genannt. Falls ein Paketflussversatz der Sendefunktion einer Übertragungsstrecke zugeordnet ist, definiert dieser Paketflussversatz eine Zeit in einem Zeitplanintervall, zu der die Sendung eines oder mehrerer Pakete für den zugeordneten Paketfluss begonnen werden kann. Falls ein Paketflussversatz einer Empfangsfunktion einer Übertragungsstrecke zugeordnet ist, definiert dieser Paketflussversatz einen Zeitpunkt in einem Zeitplanintervall, zu dem der Empfang eines oder mehrerer Pakete für den zugeordneten Paketfluss erwartet werden kann. Für einen gegebenen Paketfluss werden für jede Übertragungsstrecke längs des Wegs zwischen den Endpunkten verschiedene Paketflussversätze festgesetzt. Der Satz der Versatzwerte, die einem Paketfluss für alle Übertragungsstrecken längs eines solchen Wegs zugeordnet sind, definiert den Zeitplan für diesen Paketfluss (auch als "Paketflusszeitplan" bezeichnet).

**[0023]** Ein Paketflusszeitplan kann außerdem eine Zeitplanintervalldauer und eine Paketlänge enthalten. Eine Zeitperiode innerhalb des einem gegebenen Paketflusszeitplan zugeordneten Zeitplanintervalls wird als die Paketfluss-Zeitplanperiode bezeichnet. Einzelne Paketflusszeitpläne werden anhand der Notwendigkeiten der dem Paketfluss zugeordneten Anwendung und eines berechneten besten Durchgangswegs durch das Netz bestimmt. Paketflusszeitpläne können irgendeiner Anwendung bis zu den Bandbreitenbeschränkungen des relevanten Kommunikationskanals gewährt werden. Ein Paketflusszeitplan, der einer Anwendung zugeordnet ist, stellt für diese Anwendung Zeit sicher, während der sie eines oder mehrere Pakete in einem Übertragungsweg anordnen kann. Paketflusszeitpläne können irgendeiner Anwendung in irgendeiner Reihenfolge oder Folge zugewiesen werden, bis die gesamte Übertragungszeit für den Kanal zugewiesen worden ist. Irgendwelche nicht zugewiesenen Übertragungsmöglichkeiten können für den Transport von herkömmlichem Paketverkehr verwendet werden, der wie in vorhandenen Systemen vermittelt und weitergeleitet werden kann.

**[0024]** Wenn ein Paketfluss festgesetzt wird, wird der zugeordnete Paketflusszeitplan zwischen den Übertragungsstrecken längs des Wegs zwischen den Endpunkten für diesen Paketfluss koordiniert. Anhand dieses Paketflusszeitplans kann eine gegebene Übertragungsstrecke auf der Grundlage des Paketflusszeitplans ein Paket gewährleisteter Bandbreite für den Paketfluss längs des Wegs zu dem empfangenden Host senden. Außerdem erwartet die nächste Übertragungsstrecke anhand dieses Paketflusszeitplans die Ankunft des Pakets gewährleisteter Bandbreite zu einer durch den Paketflusszeitplan angegebenen Zeit. Auf diese Weise wird anhand der Bildung des Paketflusszeitplans über die Übertragungsstrecken innerhalb des Wegs zwischen zwei beliebigen gegebenen Sätzen von Endpunkten eine bestimmte Bandbreite bereitgestellt.

**[0025]** Dementsprechend wird dann, wenn eine Übertragungsstrecke ein Paket anhand des Paketflusszeitplans weiterleitet (sendet), das Paket automatisch ohne Verzögerung zum Empfänger der nächsten Übertragungsstrecke gesendet. Für irgendeine gegebene Übertragungsstrecke ist ein gegebener Paketflusszeitplan für diese Übertragungsstrecke über die Vermittlung nur in einer Richtung aktiv. Somit kann jede Übertragungsstrecke zwei bestimmte Zeitplanintervalle, eines für die Sendefunktion und eines für die Empfangsfunktion, aufweisen. Damit die Echtzeitsitzung aufgebaut wird, stimmen die den Sendepaketen zugeordneten Paketflussversätze und die den Empfangspaketen zugeordneten Paketflussversätze über jede Übertragungsstrecke längs des Wegs überein. Der Satz der einem ebenen Paketfluss über den Satz der Vermittlungen längs des

Wegs für diesen Paketfluss zugeordneten Paketflussversätze wird hier manchmal die "Paketroute" für diesen Paketfluss genannt.

**[0026]** Pakete gewährleisteter Bandbreite, die unter Verwendung des offenbarten Zeitplanungssystems übertragen werden, werden als "zeitlich geplante" Pakete bezeichnet. In der Berechnung von Flusszeitplänen sind Verzögerungen enthalten, die dem Übertragungsweg und den Vermittlungssystemen in den Vermittlungen selbst zugeordnet sind. Das offenbarte System erfordert, dass ein Endpunktsender seine Sendungen mit allen Übertragungsstrecken längs des Wegs zu dem Endpunktempfänger koordinieren kann. Jede Übertragungsstrecke, die ein zeitlich geplantes Paket übermittelt, muss mit der nächsten Übertragungsstrecke längs des Wegs zu dem Endpunktempfänger für den zugeordneten Paketfluss bezüglich des Zeitplans koordiniert werden.

**[0027]** Die Abstimmung oder Koordinierung mit der letzten Übertragungsstrecke in dem Weg ist für den Endpunktempfänger nicht erforderlich. Die letzte Übertragungsstrecke in dem Weg sendet dem Endpunktempfänger nur Pakete gemäß den Paketflusszeitplänen, die diesem Endpunkt zugeordnet sind. Da der Endpunktempfänger alle seine Pakete von der letzten Übertragungsstrecke in dem Weg empfängt, steuert dieselbe Übertragungsstrecke die Lieferung aller Pakete zu diesem Empfänger. Somit braucht der Endpunktempfänger im Allgemeinen keine Zeitplaninformationen zu koordinieren. Der Endpunktempfänger empfängt Pakete gewährleisteter Bandbreite immer zum richtigen Zeitpunkt.

**[0028]** Normalerweise kann der Endpunktempfänger irgendwelche Anwendungszeitgebungsinformationen, die er für die Zeitplanung des Abspielens der in den Echtzeit-Paketen enthaltenen Informationen benötigt, aus den Paketen selbst ableiten. Die Sicherstellung der Paketlieferungszeiten verringert stark die Notwendigkeit zum Unterhalten großer Paket-Jitter-Puffer, um dem Jitter oder sogar Paketkollisions- und Wiederholungsübertragungsproblemen entgegenzuwirken. Da der Endpunktempfänger das nächste Paket in der Folge immer rechtzeitig empfängt, erfordert er keine umfangreiche Jitter-Pufferung.

**[0029]** Echtzeit-Paketflüsse zwischen Vermittlungen werden durch Koordinieren der Zeitpläne zwischen Vermittlungen erreicht. Diese Koordinierung zwischen Vermittlungen wird mittels einer Spezialanwendung erreicht, die Zeitpläne zwischen Vermittlungen berechnet und liefert. Diese Anwendung muss Kenntnis von Zeitplanflüssen, von den Verzögerungen in den Vermittlungen und in den Übertragungsstrecken zwischen den Vermittlungen, von den Übertragungstreckengeschwindigkeiten und von der Netztopologie haben. Wenn die Zeitplananwendung eine Anforderung empfängt, kann sie somit den schnellsten Zeitplan durch das Netz der Vermittlungen für den Paketfluss berechnen.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

**[0030]** Die beigefügte Zeichnung, auf die hier Bezug genommen wird und die einen Teil davon bildet, veranschaulicht die beispielhaften Ausführungsformen des Systems und des Verfahrens für die zeitlich geplante Echtzeitnetz-Paketleitweglenkung der vorliegenden Erfindung und dient zusammen mit der Beschreibung zur Erläuterung der Prinzipien der Erfindung.

**[0031]** [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) zeigen einen höheren Blockschaftplan des offenbarten Systems zeitlich geplanter Pakete. Für ein System der zeitlich geplanten IP-Datenpaketvermittlung sind drei Untersysteme erforderlich, die wie folgt gezeigt sind:

- Ein zeitplankompatibler Endpunkt (SEP) ist irgendeine IP-kompatible Netzvorrichtung, die Datenpakete gemäß einem genau entwickelten Zeitplan senden und empfangen kann.
- Ein Zeitplanagent (SA) ist eine Software-Anwendung, die von einem Universalcomputer gehostet wird. Der SA ist verantwortlich für die Vorkonfiguration der zeitlich geplanten Vermittlungen in der Weise, dass sie für bestimmte Datenpakete gemäß einem genauen Zeitplan bestimmte Datenpakete bearbeiten.
- Die zeitlich geplanten Vermittlungen (A), (B) und (C) sind Spezial-IP-Paketvermittlungen, die eine genaue Zeitplanung für den Empfang und für die Weiterleitung von Paketen, wie sie durch den SA bestimmt wird, unterhalten können. Die zeitlich geplanten Vermittlungen sind durch ihre verschiedenen wie angegebenen Übertragungsstrecken miteinander verbunden.

**[0032]** [Fig. 2](#) zeigt einen höheren Blockschaftplan des offenbarten Paketzeitplanungssystems mit einem Zeitplanagenten, zwei zeitplankompatiblen Endpunkten (SEPs) und einem Vermittlungsnetz. Es wird angemerkt, dass diese Veranschaulichung die offenbarte Erfindung in Anwendung auf eine typische Internet-Telephonieanwendung zeigt.

[0033] [Fig. 3](#) zeigt die Konfiguration eines höheren Blockschaltplans, der ein Computerdatenpaketnetz repräsentiert. Die Konfiguration zeigt für ein Datenpaketsystem eine typische Client-Server-Architektur, bei der verschiedene Desktop-Clients durch einen Anwendungs-Server und durch einen Datei-Server bedient werden.

[0034] [Fig. 4](#) ist ein ausführlicherer Blockschaltplan, der eine einzelne Vermittlungsarchitektur zeigt, wobei stärkerer Schwerpunkt auf die Hardware-Untersysteme in der zeitlich geplanten Vermittlung gelegt ist.

[0035] [Fig. 5](#) zeigt ein typisches Sechs-Knoten-Netz zeitlich geplanter Vermittlungen. Die punktierte Linie repräsentiert das Herzschlagsignal, das dazu verwendet wird, alle Knoten so zu koordinieren, dass sie synchron zu einer gemeinsamen Zeitreferenz arbeiten können.

[0036] [Fig. 6](#) zeigt die Konstruktion eines Belegungszeitplans, der innerhalb der zeitlich geplanten Vermittlung verwendet wird. Die Veranschaulichung zeigt zwei 20-Millisekunden-Zeitpläne von Belegungen.

[0037] [Fig. 7](#) veranschaulicht die ausführliche Konstruktion einer einzelnen Belegung, die aus einem Erfassungsband, IP-, UDP- und RTP-Anfangsblöcken, einem Echtzeitdatenpaket und dem FCS und einem Zwischen-Rahmen-Zwischenraum besteht.

[0038] [Fig. 8](#) zeigt ein Basisnetz geplanter Vermittlungen jeweils mit drei Übertragungsstrecken, die zum Senden und Empfangen von Datenpaketen, während sie über das Netz fortschreiten, verwendet werden. Diese Veranschaulichung dient als ein Beispiel für eine schrittweise Beschreibung der Paketzeitplanungs-Software.

[0039] [Fig. 9](#) zeigt eine beispielhafte Vermittlungsverbindungsmatrix gemäß einer veranschaulichenden Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0040] [Fig. 10](#) zeigt eine beispielhafte zirkulär verknüpfte Datenstruktur, die einen Zuhaltungs-Algorithmus gemäß seiner veranschaulichenden Ausführungsform der vorliegenden Erfindung repräsentiert.

[0041] [Fig. 11A–E](#) veranschaulichen die Verwendung einer beispielhaften zirkulär verknüpften Datenstruktur als eines Zuhaltungs-Mechanismus zur zeitlichen Planung von Belegungen in einem besonderen Weg durch ein Netz gemäß einer veranschaulichenden Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0042] [Fig. 12](#) zeigt die beispielhafte Konfiguration von Vermittlungen mit angegebenen Übertragungsverzögerungen und Latenzverzögerungen über die Vermittlungen gemäß einer veranschaulichenden Ausführungsform der Erfindung.

[0043] [Fig. 13](#) zeigt ein Beispiel der Bewegung eines Datenpakets, das Übertragungsverzögerungen und Vermittlungsverzögerungen angibt, die auf Taktzeiten bezogen sind, die durch die Spalten dargestellt sind, während das Datenpaket einen bestimmten Weg durch ein Netz durchläuft, gemäß einer veranschaulichenden Ausführungsform der Erfindung.

[0044] [Fig. 14](#) zeigt ein Beispiel der Bewegung eines Datenpakets durch ein Netz zur Veranschaulichung der Wirkung der Neigungskompensation gemäß einer veranschaulichenden Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0045] [Fig. 15](#) zeigt einen Ablaufplan für einen Zuhaltungs-Zeitplaner-Algorithmus gemäß einer veranschaulichenden Ausführungsform der Erfindung.

[0046] [Fig. 16](#) zeigt einen Ablaufplan für einen Wegaufbauprozess gemäß einer veranschaulichenden Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

#### KURZBESCHREIBUNG DER PAKETZEITPLANUNGSARCHITEKTUR

[0047] [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) zeigen die Grundarchitektur der vorliegend offenbarten Erfindung. Wie gezeigt ist, unterscheidet sich die offenbarte zeitliche geplante Paketvermittlungsarchitektur von herkömmlichen IP-Leitweglenkungssystemen und -vermittlungssystemen dadurch, dass das gesamte Netz durch eine zentralisierte Funktion, die ein Zeitplanagent (SA) genannt wird, vorkonfiguriert, gesteuert und überwacht wird. Die Hauptfunktionen des SA werden in Form eines Software-Programms offenkundig, das von einem Industriestandard-computer gehostet wird. Obgleich die Funktionen des SA in Bezug auf das Netz zentralisiert sind, kann die

SA-Funktion auf selbstständige Weise (wie gezeigt) oder geographisch über weite Entfernungen verteilt realisiert sein. Da der SA eine Software-Anwendung ist, kann er außerdem für mehr Leistung und hohe Verfügbarkeit durch Server, die als Cluster konfiguriert sind, oder für die anspruchsvollsten unternehmungswichtigen Anwendungen durch gehärtete fehlertolerante Computer gehostet werden.

**[0048]** Es gibt keine explizite Anforderung, dass der SA ein bestimmter Computer ist. Die SA-Software kann ebenfalls als eine von einer Anzahl von Anwendungen arbeiten, die innerhalb eines Multitasking- oder Multiuser-Servers ausgeführt werden. Es gibt keine Anforderung, dass der SA-Computer auf einen Computer beschränkt ist. Zu der Architektur kann irgendeine Anzahl von SAs hinzugefügt werden, um über Redundanz mehr Kapazität und frühere Verfügbarkeit bereitzustellen. Die SA-Funktion kann als eine eines verteilten Satzes von SAs arbeiten, die geographisch in mehrere Vermittlungsbereiche getrennt sein können.

**[0049]** Der SA, der vollständige Kenntnis des Zustands der Ports in jeder der Vermittlungen hat, wählt die bestmögliche Verbindung von einem Endpunkt zu einem anderen aus, reserviert sie und plant sie zeitlich. Für die Ein-Richtungs- oder Halbduplex-Kommunikation muss ein einzelner Weg aufgebaut werden. Für den Voll-duplex-Betrieb müssen für die Sende- und Empfangsfunktionen für die Endpunkte zwei Wege aufgebaut werden. Diese Vollduplex-Verbindung lässt zu, dass die Endpunkte gleichzeitig zueinander senden, was bei Verwendung in einer Sprachanwendung ein normales sich überschneidendes Gespräch zulässt. Im Fall von Sammel-sende-IP-Paketen kann gefordert werden, dass der SA viele Wege durch das Netz zuweist und zeitlich plant.

**[0050]** Obgleich der SA die höchste Steuerung des zeitlich geplanten Zustands seines zugrundeliegenden Netzes besitzt, versucht die zeitliche geplante Vermittlungshardware immer, nicht geplanten IP-Verkehr unabhängig von dem SA unter Verwendung offener (zeitlich nicht geplanter) Belegungen zu lenken. Allerdings besitzt der SA Priorität, wenn er einen zeitlich geplanten Weg aufbaut, wobei er dies auf Kosten der verfügbaren Bandbreite für zeitlich nicht geplanten Verkehr tut. Wenn ein zeitlich geplantes Paket jede Übertragungsstrecke während seiner zeitlich geplanten Belegungszeiten durchläuft, wird zeitlich nicht geplanter Verkehr in einer Warteschlange gehalten, um nur dann weitergeleitet zu werden, wenn ein offener Zeitplan verfügbar ist.

**[0051]** Es gibt vier Grundoperationen, die stattfinden müssen, um den vollen Merkmalsatz der offenbarten Erfindung zu nutzen. Die Schritte sind in [Fig. 2](#) veranschaulicht. Unter der Annahme, dass der SED(A) eine Echtzeit-IP-Sitzung mit dem SED(B) aufbauen möchte, müssen die folgenden Schritte stattfinden:

1. Der SED(A) baut als Teil des Merkmalsatzes eines zeitplankompatiblen Endpunkts eine Echtzeitsitzung mit dem SED(B) auf, indem er von dem Zeitplanagenten einen zeitlich geplanten Weg über das Netz anfordert.
2. Wenn der SA diese Anforderung empfängt, untersucht er durch Bezugnahme auf seine eigene Datenbank den Zustand des zugrundeliegenden Netzes. Falls keine Leitung verfügbar ist, die die Anforderung der Echtzeitsitzung erfüllt, wird die Aufbauanforderung vom SED(A) zurückgewiesen. Falls der SA eine Leitung planen kann,
3. sendet der SA eine Zeichenfolge von Befehlspaketen unter Verwendung des Cetacean-Zeitplanungsprotokolls zu jeder der zeitlich geplanten Vermittlungen, um bei jeder der geforderten Übertragungsstrecken eine zeitlich geplante Belegung zu reservieren. In diesem Beispiel hat der SA bestimmt, dass ein zeitlich geplanter Weg zwischen dem SED(A) und dem SED(B) über die Übertragungsstrecken (X3), (X1), (Z1), (Z@), (Y3), und (Y2) versorgt werden kann.
4. Wenn die zeitlich geplanten Vermittlungen für jede der obigen Übertragungsstrecken die richtigen Belegungen reserviert haben, können der SED(A) und der SED(B) miteinander kommunizieren, ohne dass die Bandbreite wegen anderem zeitlich geplanten oder nicht geplanten Verkehr verringert wird. Der veranschaulichte Datenweg wird durch die Hardware genau in der Weise gesteuert, dass während des der Sitzung zugewiesenen Belegungszeitplans anderer Verkehr nie über die betroffenen Übertragungsstrecken fließt.

**[0052]** [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) zeigen Grundkonfigurationen zeitlich geplanter Paketvermittlungen. Die Funktionsbeschreibung jedes Blocks ist wie folgt:

Der Zeitplanagent wie gezeigt ist wie oben beschrieben ein selbstständiger Universalcomputer. Die zeitlich geplante Vermittlung ist ausführlich in einer getrennten Offenbarung beschrieben (siehe US-Patentanmeldung lfd. Nr. 09/746.744). In dieser Veranschaulichung besitzt jede Vermittlung mehrere Übertragungsstrecken, die Verbindungswege zu anderen Vermittlungen oder Endpunkten sind.

**[0053]** Das Telefon des zeitlich geplanten Internetprotokolls, das ausführlich in der US-Patentanmeldung lfd. Nr. 09/780.685 beschrieben worden ist, ist ein Telefon mit einer Zusatzschaltungsanordnung zum Senden



und Empfangen von Sprachdatenpaketen gemäß einem genauen Zeitplan, wie er durch den Zeitplanagenten aufgestellt wird.

**[0054]** Der POTS-Ethernet-Umsetzer dient als ein Schnittstellenumsetzer, um zu ermöglichen, dass analoge Alttelephone (POTS-Ausrüstung) an einem zeitlich geplanten Netz teilnehmen. Diese Umsetzung ist notwendig, um ihre beliebigen (zeitlich nicht geplanten) Sendungen und Empfänge von Datenpaketen zeitlich so neu anzuordnen, dass sie auf zeitlich geplanter Grundlage zu und von den Vermittlungen übertragen werden können.

**[0055]** Das Softswitch ist ein kommerziell verfügbares System, das dafür verwendet wird, Anrufsteuerfunktionen und Einkünfte erzeugende Funktionen wie etwa Rechnungsstellung und Bereitstellung von Diensten bereitzustellen.

**[0056]** Das Gateway ist ein kommerziell verfügbares System, das POTS (Alttelephonausrüstung), T1-Leitungen, DS-3-Leitungen usw. über eine Schnittstelle zu einem IP-Netz verbinden soll.

#### Übersicht über den Paketzeitplanungsprozess unter Verwendung zeitlich geplanter Vermittlungen

**[0057]** Anhand von [Fig. 4](#) fordert in diesem Datenflussbeispiel ein Server (S) an, dass eine zeitlich geplante Echtzeitsitzung mit einem PC-gestützten Datenerhebungssystem (P) aufgebaut wird.

1. Der Endknoten (S) fordert durch Verbindungsaufnahme mit dem Zeitplanungsagenten (SA) an, dass zwischen ihm selbst und dem PC (P) ein zeitlich geplanter Weg aufgebaut wird.
2. Der SA berechnet für die angeforderte Sitzung den besten Leitweg (Weg durch das Netz).
3. Daraufhin versucht der SA, alle Belegungen, die bei jeder Übertragungsstrecke zum Erfüllen der Anforderung erforderlich sind, zu reservieren. Der SA sendet zu jeder Übertragungsstrecke längs des Wegs Ce-tacean-Netz-Zeitplanungsprotokoll-Belegungsreservierungspakete (CSP-Belegungsreservierungspakete). Es wird angemerkt, dass die CSP-Pakete Pakete des über das Netz fließenden zeitlich nicht geplanten Verkehrs sind. Somit werden CSP-Pakete mit allen anderen Paketen, die in einem Medium bei der Vermittlung ankommen, gemischt.
4. Der CSP-Verkehr wird durch den Fabric-Prozessor zu dem Vermittlungssteuermodul (SCM) umgeleitet. Das SCM analysiert das CSP-Paket, um den Befehlstyp und die Leitungskarte, die zur Verarbeitung dieses Befehls verwendet werden, zu bestimmen.
5. Das SCM sendet das Paket über die Mittelebenen-Ethernet-Verbindung, die zum Verbinden der SCM- und der LCM-Karte verwendet wird, zu dem Leitungssteuermodul (LCM).
6. Das LCM verarbeitet das CSP-Paket und übergibt die angeforderten Datenstücke zu dem digitalen Kommunikationsprozessor.
7. Der Netzprozessor verwendet diese Daten, um in seiner Routenliste eine Belegung festzusetzen. Falls diese Belegung versorgt werden kann, antwortet das Netz auf das LCM mit einer Quittierung (ACK). Falls diese Belegung aus irgendeinem Grund nicht versorgt werden kann, wird eine Nicht-quittiert-Meldung (NAK-)Meldung zu dem LCM zurückgesendet.
8. Das LCM erzeugt ein Antwort-CSP-Paket, das zu dem SCM zurückgesendet wird.
9. Das SCM leitet diese Antwort zu dem Fabric-Prozessor weiter.
10. Der Fabric-Prozessor vermittelt daraufhin das Paket zu dem digitalen Kommunikationsprozessor, der mit dem SA verbunden ist. Unter der Annahme, dass der SA von der mit dem SA verbundenen Vermittlung ein ACK empfangen hat, ist der Server nunmehr in der Lage, seine Datenpakete über die Vermittlung über die reservierte Paketroute zu senden, von der dann sichergestellt ist, dass sie mit voller Bandbreite läuft, da sie entweder von zeitlich nicht geplantem Verkehr oder von zeitlich geplantem Verkehr, der in einem anderen Zeitplan arbeitet, unbelastet ist.
11. Der Server (S) sendet seine Datenpakete zu dem Netzprozessor der Vermittlung. Der Netzprozessor kann sowohl zeitlich geplanten als auch zeitlich nicht geplanten Verkehr empfangen. Zeitlich geplanter Verkehr wie von (S) wird in die Warteschlange für zeitlich geplanten Verkehr eingereiht und zu der spezifizierten Zeit gesendet. Zeitlich nicht geplanter Verkehr und CSP-Verkehr wird in die Warteschlange für zeitlich nicht geplanten Verkehr eingereiht. Irgendwelcher zeitlich nicht geplanter Verkehr in der Warteschlange kann gesendet werden, wenn freie Belegungen verfügbar sind.
12. Daten von dem DCP werden zu dem Personal Computer (P) gesendet.

#### Kurzbeschreibung der prädiktiven Netzzeitplanung

**[0058]** Wie zuvor dokumentiert wurde, beschreibt die vorliegende Offenbarung eine Erfindung, die einen synchronisierten Fluss von Datenpaketen über irgendeine Anzahl von Übertragungsstrecken innerhalb irgendei-

ner Anzahl von Datenpaketvermittlungen in der Weise zeitlich vorplant, dass die Bandbreite sichergestellt wird und die Netztransportverzögerung deterministisch ist. Die Erweiterbarkeit der vorliegenden Erfindung ist nur durch die Kapazität und durch das Leistungsvermögen des SA-Computers bzw. der SA-Computer beschränkt. Somit weist der wie hier beschriebene SA, wenn ein Sendeendpunkt eine Leitung zu einem bestimmten Empfangsendpunkt anfordert, die Vermittlungen an, einen charakteristischen Weg durch die Topologie des Netzes festzusetzen.

**[0059]** Ein Weg in drei Dimensionen wird wie folgt charakterisiert: durch (1) den "besten verfügbaren" für die gegenwärtig angeforderte Sitzung, (2) durch die zeitlich geplanten Ankunftszeiten bei jeder der Übertragungstrecken für bestimmte Datenpakete und (3) durch die Zuordnung eines bestimmten Zeitplans zu einem bestimmten Paketfluss.

**[0060]** Wenn ein Netzweg angefordert wird, untersuchen die Software-Komponenten der vorliegenden offenbaren Erfindung den gegenwärtigen Zustand der verfügbaren Leitungen zwischen den anfordernden Netzendpunkten, um die "besten" verfügbaren Leitungswege zu bestimmen, die zwischen den zwei Endpunkten aufgebaut werden können. In diesem Kontext kann die "beste Leitung" durch irgendeine Anzahl von Metriken definiert werden, die zum Treffen einer solchen Entscheidung notwendig sind. Zum Beispiel kann der SA Faktoren wie etwa die geographische Entfernung zwischen Vermittlungen, die gegenwärtige Belastung, die Übertragungstreckengeschwindigkeit, die kürzeste oder die längste Leitungsverzögerung, die Tageszeit, den Wochentag, kulturelle Feiertage oder irgendwelche weiteren Daten, die für die effektive Reservierung eines zeitlich geplanten Paketflusses wichtig sein können, betrachten.

**[0061]** Ein einzigartiger Aspekt der vorliegenden Erfindung ist, dass die Datenwege und -zeitpläne innerhalb dieser Wege so gewählt und konstruiert werden können, dass sie effizienter auf zukünftige Perioden starker Belastung reagieren können. Falls der SA z. B. gegenwärtige oder historische Daten besitzt, die angeben, dass eine Vermittlung, die sich an einem bestimmten geographischen Ort befinden, zu bestimmten Tageszeiten zu einem Engpass wird, kann sich der Zeitplanagent in Erwartung der bevorstehenden Belegt-Periode dafür entscheiden, die sofortige Verwendung der Vermittlung durch Lenken von Paketen über andere Vermittlungen zu minimieren. Somit kann sich der SA entscheiden, die gegenwärtige Wegauswahl suboptimal zu treffen, um irgendwelche Blockierungswirkungen, die durch eine nicht prädiktive Zeitplanung verursacht werden könnten, zu minimieren.

#### Ausführliche Beschreibung der Paketzeitplanungsarchitektur

**[0062]** [Fig. 5](#) veranschaulicht ein einfaches Netz. Die Vermittlungsknoten in dem Netz sind mit A, B, C, D, E und F. bezeichnet. Für ein zeitlich geplantes Netz unterhält ein digitaler Kommunikationsprozessor innerhalb jeder der Vermittlungen für jede der Übertragungstrecken in den Vermittlungen einen konstant periodischen 20-Millisekunden-Zeitplan von Zuweisungen. Jede der Zuweisungen ist ein Platzhalter für ein Datenpaket. Es wird angemerkt, dass jede der Vermittlungen mittels eines periodischen Herzschlagsignals (**200-1**) mit einem gemeinsamen Taktgebungsmechanismus synchronisiert wird. Somit durchlaufen alle Übertragungstrecken innerhalb der Vermittlungen im Lockstep zyklisch ihre Belegungszeitpläne, wobei sie alle dieselbe Belegungsnummer bearbeiten. Falls z. B. innerhalb der globalen systemweiten 20-Millisekunden-Periode der Übertragungstrecken der periodische Belegungszeitplan gegenwärtig bei der Belegung Nr. 98 ist, bearbeiten alle Übertragungstrecken innerhalb des Systems die Belegung Nr. 98.

**[0063]** Unter der Voraussetzung dieses synchronisierten Betriebs veranlasst der SA, dass die Kommunikationsprozessoren innerhalb der Vermittlungen eine bestimmte Belegung für einen bestimmten Strom künftiger Datenpakete markieren. Umgekehrt baut der SA-Computer außerdem einen bestimmten Zeitplan von Belegungen ab, wenn seine Sitzung abgeschlossen wird. Im Normalbetrieb können die verschiedenen Übertragungstrecken verschiedene Geschwindigkeiten haben, stärker als andere belastet sein oder einfach wegen Hardware-Ausfalls betriebsunfähig sein. Unter der Voraussetzung dieser Kriterien liegt es in der Verantwortung des SA, virtuelle Leitungen oder Datenwege über die Vermittlung in der Weise zu ermitteln und zuzuweisen, dass die zwei oder mehr anfordernden Endpunkte mit einer vollständigen Route zeitlich geplanter Belegungen versorgt werden. Unter der Voraussetzung, dass der Zeitplanagent für jede der Übertragungstrecken innerhalb des Netzes vollständige Kenntnis des Zustands (reserviert oder offen) jeder der Belegungszuweisungen besitzt, kann der SA das Netz analysieren, um nach einer Reihe von Belegungen zu suchen, die in der Weise reserviert werden können, dass ein Paket das Netz von Endpunkt zu Endpunkt in vollständig zeitlich geplanter und somit deterministischer Weise durchlaufen kann.

**[0064]** Es ist sofort offensichtlich, dass die Anzahl der Belegungen, die dem Zeitplanungsintervall jeder Über-

tragungsstrecke zugewiesen werden können, mit der effektiven Datenrate der zugeordneten Übertragungsstrecke direkt in Verbindung steht. Tabelle 201 führt die Anzahl der für verschiedene Medientypen verfügbaren Belegungen auf.

[0065] [Fig. 6](#) und [Fig. 7](#) veranschaulichen die ausführliche Struktur eines Belegungszeitplans.

Tabelle 201

Übertragungsstreckentyp	Volle Datenrate (Megabit)	Verwendbare Datenrate (Megabit)	Anzahl Belegungen
T-1/DS 1	1,544	1,536	15
E-1	2,048	1,920	19
T-3/DS-3	44,736	43,0	430
10Base-T	10,0	10	100
100Base-T	100,0	100	1 000
1000Base-F	1000,0	1000	10 000
Sonet/OC-1	51,840	43,0	430
OC-3	155,52	129,0	1 290
OC-12	622,08	516,1	5 160
OC-24	1 244,2	1032,2	10 322
OC-48	2 488,3	2 064,4	20 644
OC-96	4 976,6	4 128,8	21 288
OC-192	9 953,3	8 257,6	82 576
OC-256	13 271,0	11 010,0	110 100

[0066] In Tabelle 7 sind all diese Informationen zusammengestellt und gezeigt, wobei sie die Beziehung zwischen Zeit, Zeitplänen und Belegungen zeigt.

[0067] Der obere Teil der Figur zeigt zwei aufeinander folgende 20-Millisekunden-Zeitpläne. Innerhalb dieses Zeitpunkts sind N Belegungen gezeigt, die von 0 bis N-1 nummeriert sind. Falls einem Belegungsschlitz auf irgendeiner Übertragungsstrecke ein bestimmter Fluss gegeben wird, besitzt er diese Belegung für alle Zeitpläne, bis dieser Fluss abgeschlossen ist. Die Anzahl der Belegungen in einem Zeitplan von 0 bis n – 1 ist äquivalent ihren jeweiligen Übertragungsstreckeneinträgen in Tabelle 201.

[0068] [Fig. 7](#) zeigt eine erweiterte Ansicht einer einzelnen Belegung. Die Belegung ist als ein Strom von 250 Datenbytes (2000 Bits) gezeigt, wobei das linke äußere Bit (**203-1**) das erste in dem Netz ist. Die Rautezeichen geben Markierungen in 80-Bit-Inkrementen (10-Byte-Inkrementen) (**203-2**). Diese Belegung ist mit 160 Bytes (1280 Bits) Anwendungsdaten (**203-3**) gezeigt. Zur Flexibilität ist eine Belegung so konstruiert, dass sie nicht mehr als 46 Datenbytes (368 Datenbits) haben kann. Es wird angemerkt, dass 172 Datenbytes genau an die Maximalgröße von 250 Bytes (Nutzinformationen zuzüglich der Anfangsblöcke, des Jitter und der Erfassungsorganisationsbits) angepasst wären; allerdings muss etwas Platz (2 Bits) für Jitter und etwas Platz (2 Bits) für das Erfassungsband reserviert werden. Die vorliegende Offenbarung reserviert 10 Bits, was auf 2 Bytes (16 Bits) gerundet wird. Dies stellt den Maximalgrenzwert an eine Einzelbelegungsgröße auf 170 Bytes Anwendungsdaten ein. Falls ein Datenpaket den 250-Byte-Grenzwert (Anwendungsdaten und Organisationsdaten) übersteigt, läuft es in eine weitere Belegung über.

[0069] Der maximale IP-Grenzwert für ein IP-Paket ist 1500 Bytes. Dies lässt 1460 Bytes Echtzeitverkehr zu (wobei die für IP-, UDP- und RTP-Anfangsblöcke reservierten 40 Bytes ausgenommen sind). Ein Paket voller Größe würde 1548 Bytes oder 7 Belegungen überspannen. Somit kann ein Echtzeitstrom, der maximale IP-Pakete verwenden würde und nur eine einzige Route hätte, 73 000 Bytes pro Sekunde streamen.

[0070] Um die Architekturerweiterbarkeit zu erleichtern und gegenwärtige Markttrends zu großen Paketgrößen zu unterstützen, unterstützt der Entwurf Pakete, die den 1500-Byte-Grenzwert übersteigen. Es gibt eine Markevidenz, dass einige Anwendungen 9000-Byte-Pakete erfordern. Die 9000-Byte-Pakete würden 37 zusammenhängende Zuweisungen erfordern und könnten 448 000 Bytes pro Sekunde streamen. Jede Bele-

gung, die einen mehrteiligen Strom mit Gruppen von 5 Belegungen pro Strom ausführt, würde 1170 Bytes Anwendungsdaten zulassen. Ein 10Base-T-Netz würde (mit 100 Belegungen) 1,17 Megabytes pro Sekunde streamen. Dies ist ausreichend für die Unterstützung von 1 oder 2 komprimierten Videokanälen, 2 Telephonkanälen und einem Datenkanal mit etwa 150 kBits/s.

**[0071]** Es wird angemerkt, dass es auf der linken äußeren Seite des Belegungsblocks eine Linie gibt, die als ein Erfassungsband (**203-5**) bezeichnet ist. Dieses Band ist sehr schmal (für 10Base-T annähernd 10 Bit-Zeiten, für schnellere Verbindungen 20–40 Bit-Zeiten). Falls die zeitlich geplanten Belegungsdaten während dieses Erfassungsbands nicht ankommen, wird der zeitlich geplante Verkehr für diese bestimmte Belegungs-/Zeitplanungs-Zeit als fallengelassen erklärt. Somit wird kein Verkehr zu der nachkommenden Belegung weitergeleitet. Somit ist die Fehlbelegung, nur für diese Zeitplanperiode, für nicht geplanten Verkehr verfügbar.

**[0072]** Um zeitlich nicht geplanten Verkehr über eine zeitlich geplante Belegung zu übertragen, wartet die Vermittlung, bis das Erfassungsband abgelaufen ist. Daraufhin kann sie den zeitlich nicht geplanten Verkehr über diese Übertragungsstrecke senden. Die Übertragungsstrecke netzabwärts, die dieses Paket empfängt, weiß, dass es zeitlich nicht geplanter Verkehr ist, da er nach der Erfassungsbandperiode anzukommen begonnen hat. Somit ist es möglich, zeitlich nicht geplanten Verkehr über schwach verwendete Belegungszeiten sowie über ungenutzte Belegungszeiten zu senden.

#### Beschreibung der Paketzeitplanungs-Software

**[0073]** Es gibt drei Haupt-Software-Module, die miteinander und mit der Hardware der zeitlich geplanten Vermittlung zusammenwirken, um die vorliegend offenbarte Erfindung zu realisieren: Die Wegerzeugungsmaschine, die Zulassungsmaschine und die Zuhaltungs-Zeitplanungsmaschine.

**[0074]** Die Wegerzeugungsmaschine (PGE) ist für die Erzeugung der Matrix möglicher Verbindungswege für die gesamte Netztopologie verantwortlich. Sie kann diese Erzeugung über eine manuell erzeugte Datenbank oder durch Entdeckung der Netztopologie über Übermittlungen mit der Hardware der zeitlich geplanten Vermittlung ausführen. Außerdem aktualisiert die PGE ihre Datenbank, falls sich aus irgendeinem Grund (d. h. Neukonfiguration durch den Anwender, Hardware-Ausfall oder Netzmanagement) die Topologie ändert, so dass die Zulassungsmaschine (AE) und die Zuhaltungs-Zeitplanungsmaschine (TSE) mit der gegenwärtigen Konfiguration der Netztopologie synchronisiert bleibt. [Fig. 16](#) zeigt den Algorithmusablaufplan.

**[0075]** Die AE ist verantwortlich für die Filterung der Kandidatenwege von der PGE. Es können verschiedene Kriterien wie etwa die Übertragungsstreckengeschwindigkeit verwendet werden, um eine Bestimmung vorzunehmen, welche Kandidaten zu der TSE durchzulassen sind. Die TSE ist verantwortlich für die Zuweisung eines spezifischen Zeitplans über das Netz.

#### Ausführliche Beschreibung des Zuhaltungs-Zeitplanungsalgorithmus

**[0076]** Die einfache Netzmatrix anhand von [Fig. 8](#) repräsentiert ein zeitlich geplantes Vermittlungsnetz. Um eine Leitung mit einem angeforderten Zeitweg vom Knoten C zum Knoten E aufzubauen, wird der folgende Algorithmus offenbart:

Die möglichen Verbindungen für das Beispielnetz in [Fig. 8](#) (Vermittlungen A, B, C, D, E und F) sind in Tabelle 301 gezeigt. Wie durch Vergleich der Beispieltopologie mit der Matrix zu sehen ist, besitzt der Knoten A drei mögliche Übertragungsstrecken (A1, A2, A3). Für dieses Beispiel wird angenommen, dass A1 ein Eintrittspunkt für eine zeitlich geplante Endpunktnetzvorrichtung ist, während A2 und A3 mit D1 bzw. F2 verbunden sind. Das vollständige Verbindungsschema ist durch Untersuchung der Matrix in Tabelle 301 zu sehen, wobei der Eintrag "?" eine Verbindung zwischen den zwei Übertragungsstrecken bezeichnet.

**[0077]** Wenn ein Endpunkt eine Verbindung zu einem weiteren Endpunkt oder zu weiteren Endpunkten anfordert, untersucht die PGE ihre Verbindungsdaten und übergibt die Wegabbildungsdaten über die Zulassungsmaschine (AE) an die Zuhaltungs-Zeitplanungsmaschine (TSE). In der Praxis kann die PGE viele mögliche Wege besitzen, die verwendet werden können, um einen Endpunkt mit einem anderen zu verbinden. In diesem Fall übergibt sie solche Kandidatenwege auf Wunsch auf der Grundlage eines spezifischen Satzes von Kriterien, wie sie durch die AE erzwungen werden. Um die Auswahl der Wegdaten zu beeinflussen, kann irgendein Satz heuristischer Daten verwendet werden.

**[0078]** Anhand von [Fig. 10](#) wird der zur Steuerung der Hardware der zeitlich geplanten Vermittlung verwendete Mechanismus am besten als ein Satz konzentrischer Ringe veranschaulicht, wobei jeder Ring den Zeit-

plan von Belegungen für eine bestimmte Übertragungsstrecke repräsentiert. Während die Wegsuche fort schreitet, werden die Ringe (über Software) gedreht, bis für den durch die AE eingerichteten Kandidatenweg ein zusammenhängender Satz freier Belegungen ermittelt worden ist. Der Betrieb ist ähnlich dem eines Kombinationsschlusses, daher die Bezugnahme auf eine Zuhaltung. Die Räume in den Ringen repräsentieren die Zeitplanbelegungen. Zum Beispiel repräsentiert der Raum in dem Ringsegment D1-2 (**302-1**) die zweite Belegungsperiode für die Übertragungsstrecke D1. Obgleich in dem Beispiel nur acht Belegungen dargestellt sind, kann es in der tatsächlichen Praxis je nach der Übertragungsstreckengeschwindigkeit Tausende geben. Wegen der Anzahl der für jeden Übertragungsstreckentyp erforderlichen Belegungen wird wieder auf Tabelle 301 verwiesen.

**[0079]** Falls für dieses Beispiel wieder anhand von [Fig. 8](#) angenommen wird, dass der Server (S) einen Ein-Richtungsweg zu dem PC (P) aufbauen möchte, wird durch die Software wie durch [Fig. 10](#) veranschaulicht ein Zuhaltungs-Abbild aufgebaut. Es wird angemerkt, dass dem Anfangsendpunkt ein Zeitplan zugewiesen wird, wie er durch den Mittelring (**302-2**) angegeben ist, während der Empfangsendpunkt durch P (**302-3**) bezeichnet ist. Jeder Übertragungsstrecke in der Vermittlungs-Hardware wird ihr eigener Zeitplankreis zugewiesen, der den Zustand jeder Belegung innerhalb der Zeitplanperiode (**302-4**) speichert. Somit zeigt [Fig. 10](#) eine Zeitplanungs-Zuhaltungs-Mechanismus mit Zeitplankreisen für die Übertragungsstrecken Endpunkt S, A3, A1, B1, B3, C2, C3, D2, D1 und Endpunkt P. In diesem Beispiel sind keine Belegungen reserviert. Es wird angemerkt, dass die Übertragungsstrecke bei jeder der spezifischen Belegungszeiten innerhalb der 20-Millisekunden-Zeitplanperiode das dieser Belegungszeit zugewiesene Datenpaket entweder senden oder empfangen kann. Wenn den Endpunkten ein zeitlich geplanter Weg (eine Route genannt) zugewiesen worden ist, setzt die Hardware der zeitlich geplanten Vermittlung den Datenpaketzeitplan für jede der Übertragungsstrecken in Kraft.

**[0080]** Die Anzahl der für einen Weg notwendigen "Zuhaltungs"-Ringe hängt direkt mit der Anzahl der Übertragungsstrecken zwischen den zeitlich geplanten Endpunktnetzvorrichtungen (**302-4** und Tabelle 301, [Fig. 9](#)) zusammen.

**[0081]** Für den Fachmann auf dem Gebiet synchronisierter Zustandsmaschinen ist offensichtlich, dass ein zeitlich geplantes Netz, das mit einer gemeinsamen Zeitreferenz synchronisiert ist, nun ein vollständig deterministisches Verhalten zeigt. Dies ist der Fall, da von dem ersten bis zum letzten Datenpaket, das zwischen den Endpunkten übertragen wird, ihre Pakete für jede der Übertragungsstrecken über den Weg die genaue Zeitperiode (den genauen Zeitplan) belegen. Außerdem ist zu sehen, dass selbst dann, wenn eine Übertragungsstrecke Pakete von anderen Endpunkten empfängt oder weiterleitet, die Pakete, die Reservierungen in verschiedenen Belegungs-schlitzten haben, unbeeinflusst bleiben.

**[0082]** Natürlich zeigt das zirkuläre Wesen der Datenstruktur, dass sich der Zeitplan alle 20 Millisekunden in der Zeit periodisch wiederholt. Falls eine Übertragungsstrecke für ein bestimmtes Belegungsinkrement belegt ist, wird das Inkrement auf dem Zeitplanring gekennzeichnet.

**[0083]** Wieder anhand von [Fig. 10](#) verwendet die tatsächliche Software-Realisierung für den Zuhaltungs-Algorithmus zirkulär verknüpfte Datenstrukturen in dem SA-Computer. Die zirkulären Tabellen repräsentieren einen Wiederholungszeitplan, der für diese bestimmte Realisierung als 20 Millisekunden gewählt wird, obgleich die Zeitperiode für verschiedene Arten von Netzverwendungen geändert werden kann.

**[0084]** Um zu bestimmen, ob ein Zeitweg längs eines Satzes verbundener Übertragungsstrecken ermittelt werden kann, sind die Zeitplanringe um ihren Nachbarn von der Quelle zu dem Ziel nach außen verlaufend angeordnet. Siehe [Fig. 10](#). Der Startpunkt des Wegs von S zu P ist der Zeitplanring für S. Dieser ist von seinem nächsten Sprung auf dem Weg, A3, umgeben usw., wobei die letzte Zielübertragungsstrecke zwischen D1 und P das vorliegende Ziel ist.

**[0085]** Es wird angenommen, dass S einen zeitlich geplanten Weg zu P angefordert hat. Die PGE schlägt den Weg vor, wie er durch den in den [Fig. 11A–E](#) angegebenen zirkulären Ringsatz angegeben ist. Es wird festgestellt, dass es in diesem Fall Belegungen gibt, die innerhalb jedes der einzelnen Übertragungsstreckenzeitpläne bereits reserviert worden sind. Es wird beobachtet, dass es in ihrem Anfangszustand keinen klaren Weg von dem inneren Kreis (S) zu dem äußeren Kreis (P) gibt. Somit zeigt das Abbild, was alle Übertragungsstrecken in jedem Zeitplaninkrement tun, während es nicht zeigt, wie ein Weg durch die zeitlich geplanten Inkremente zu ermitteln ist. Um den zeitlich geplanten Weg zu ermitteln, wird der folgende Algorithmus offenbart:

1. Es wird festgestellt, dass der Zeitplan S in dem gegenwärtigen Abbild vollständig frei ist und die nächste Übertragungsstrecke A3 mit zwei offenen Belegungen ist.

2. Beginnend bei A3-2 wird eine offene Belegung festgestellt. Beim Sprung zum nächsten Ring wird festgestellt, dass A1-2 ebenfalls eine offene Belegung ist. Nun gibt es Belegungen in 2 der 8 zum Vervollständigen des angeforderten zeitlich geplanten Wegs notwendigen Übertragungsstrecken. Es wird festgestellt, dass sich der Wegbestimmungspfeil um zwei Übertragungsstrecken (A3 und A1) bewegen kann, durch B1-2 ([Fig. 11B](#), **303A-1**) aber gesperrt wird.
3. Da B1-2 (**303A-1**) durch eine weitere Paketroute reserviert ist, dreht die Software nun die zirkuläre Tabelle zu der nächsthöheren Belegung (B1-1) in den [Fig. 11A–Fig. 11E](#). Es wird festgestellt, dass diese Belegung (B1-1) frei ist ([Fig. 11C](#), **303B-4**). An diesem Punkt sind 3 der 8 zum Vervollständigen des angeforderten zeitlich geplanten Wegs notwendigen Übertragungsstrecken vorhanden.
4. Nun kann der Algorithmus seinen Wegindikator zu der nächsten Übertragungsstrecke B3-2 (**303B-5**), von der festgestellt wird, dass sie eine offene Belegung hat, vorrücken. An diesem Punkt sind 4 der 8 zum Vervollständigen des angeforderten zeitlich geplanten Wegs notwendigen Übertragungsstrecken vorhanden. Der Algorithmus kann nun seinen Wegindikator zu der nächsten Übertragungsstrecke C2-2 (**303B-6**) vorrücken.
5. Es wird festgestellt, dass C2-2 reserviert ist, sodass der Algorithmus den Zeitplan zu der nächstfrüheren Belegung C2-1 dreht ([Fig. 11D](#), **303C-5**). Es wird festgestellt, dass C2-1 frei ist. Der Wegindikator kann auf C3-2 (**303C-6**) vorgerückt werden. An diesem Punkt sind 5 der 8 zum Vervollständigen des angeforderten zeitlich geplanten Übertragungswegs notwendigen Übertragungsstrecken vorhanden.
6. Es wird festgestellt, dass C3-2 (**303C-6**) eine freie Belegung ist. Der Wegindikator kann auf D2-2 (**303C-7**) vorgerückt werden. An diesem Punkt sind 6 der 8 zum Vervollständigen des angeforderten zeitlich geplanten Wegs notwendigen Übertragungsstrecken vorhanden.
7. Es wird festgestellt, dass D2-2 (**303C-7**) eine freie Belegung ist. Der Wegindikator kann auf D2-2 (**303C-7**) vorgerückt werden. An diesem Punkt sind 7 der 8 Übertragungsstrecken vorhanden. Der Wegindikator kann auf D1-1 (**303C-8**) vorgerückt werden.
8. Es wird festgestellt, dass D1-1 (**303C-8**) eine freie Belegung ist. Der Wegindikator kann auf P (**303C-9**) vorgerückt werden. An diesem Punkt sind 8 der 8 Übertragungsstrecken vorhanden. Der Wegindikator kann auf D1-1 (**303C-8**) vorgerückt werden.
9. An diesem Punkt sind alle Übertragungsstrecken der zeitlich geplanten Vermittlung für eine letzte Reservierung markiert worden, wobei aber bei 303C-9 zu sehen ist, dass die Reservierung Nr. 2 für diesen bestimmten zeitlich geplanten Endpunkt reserviert ist. Dies geschieht am wahrscheinlichsten auf einem Multitasking-Computer, wo eine einzelne Netzschnittstellenkarte von zwei oder mehr Anwendungen gemeinsam genutzt wird.
10. Da P2 die Vervollständigung des Wegs versperrt, wird der Zeitplanring für P zu der nächstfrüheren Belegung, die P1-1 (**303C-10**) ist, gedreht. Es wird festgestellt, dass diese Belegung ebenfalls reserviert ist. Der Algorithmus dreht erneut zu der nächstfrüheren Belegung P-8, von der festgestellt wird, dass sie frei ist.
11. Anhand der [Fig. 11A–Fig. 11E](#) liegt nun ein vollständiger Weg vor, der durch den von dem Startpunkt S über die Knoten A3-2, A1-2, B1-3, B3-2, C2-3, C3-2, D2-2, D1-2 und P-8 gehenden Wegindikator angegeben ist ([Fig. 11E](#), **303D-1**).
12. An diesem Punkt sendet der SA an jede der Vermittlungen einen Reservierungsbefehl, um die spezifischen Belegungszeiten in jeder der spezifischen Übertragungsstrecken zu reservieren.

**[0086]** Wenn ein Weg zeitlich geplant worden ist, wird er durch die zeitlich geplante Vermittlung bis zu dem Zeitpunkt aufrechterhalten, zu dem ein Endpunkt die Sitzung abschließt oder ein Fehlerzustand erfasst wird. Wenn ein Ende der Sitzung angefordert wird, gewinnt der SA die Route aus seiner Datenbank wieder und gibt einen Abbaubefehl an die zeitlich geplanten Vermittlungen aus, die daraufhin die reservierten Belegungen freigeben. [Fig. 15](#) zeigt den Ablaufplan für den Zuhaltungs-Zeitplanungsalgorithmus.

**[0087]** Obgleich der oben offenbarte Software-Algorithmus im Zusammenwirken mit der Hardware der zeitlich geplanten Vermittlung einen Weg durch das Netz ermittelt und zeitlich plant, gibt es keinen Ausgleich für die Verzögerungen, die innerhalb jeder zeitlich geplanten Vermittlung vorhanden sind, wenn von Übertragungsstrecke zu Übertragungsstrecke gegangen wird, oder für die Übertragungsverzögerungen beim Übergang von Vermittlung zu Vermittlung.

**[0088]** [Fig. 12](#) zeigt dieselbe Konfiguration von Vermittlungen, die für die Offenbarung des Zuhaltungs-Zeitplaneralgorithmus verwendet wurde, mit der zusätzlichen Realität der Übertragungsverzögerungen und Latenzverzögerungen über die Vermittlungen. Die tatsächlichen Verzögerungen sind wie an den Verbindern zwischen den Vermittlungen und unter Bezug auf die Tabelle der jeder Übertragungsleitung zugeordneten Verzögerungszeiten (**304-1**) zuzüglich der Latenzverzögerung innerhalb der Vermittlung angegeben. Zum Beispiel ist die Verzögerung  $d_1$  (**304-2**) die der Übertragungsleitung von A1 zu B1 zugeordnete Verzögerung in Belegungszeiten. Die Bezugnahme auf  $d_1$  in der Tabelle (**304-1**) zeigt, dass die Übertragungsverzögerung von A1

zu B1 2 Belegungszeiten äquivalent ist. Außerdem wird angemerkt, dass die betroffene Latenzzeit, wenn sich ein Paket durch eine Vermittlung bewegt, als  $d_{\text{Vermittlung}}$  (304-3) (z. B. von C1 zu C3) angegeben ist, wobei angenommen wird, dass sie für Übertragungstrecken mit dieser Geschwindigkeit äquivalent 1 Belegungszeit ist.

[0089] Fig. 13 zeigt die Anordnung eines einzelnen Pakets, während es das Gitter der Übertragungstrecken-zuweisungen durchläuft, unter Verweis auf die Taktzeiten, die durch die mit 0 bis 14 nummerierten Spalten dargestellt sind (305-1). Anhand von Fig. 12 für die jeweiligen Übertragungstrecken-Verzögerungszeiten beginnt der Server (305-2) zu Beginn der Zeit 0 die Übertragung seines Pakets, das bei A3 RX in Zeitschlitz 2 ankommt (305-4). Daraufhin erfährt das Paket eine Latenzverzögerung ( $d_{\text{Vermittlung}}$ ), während es durch A3 RX zu A<sub>1</sub> RX (305-5) innerhalb der Vermittlung weitergeleitet wird. A<sub>1</sub> RX leitet das Paket wiederum zu B<sub>1</sub> RX weiter, wobei es die Verzögerung  $d_1$  (2 Belegungszeiten) erfährt, bevor es zu Beginn des Zeitschlitzes 5 anzukommen beginnt (305-6). Dieser Prozess kann bis zu dem Ziel-PC (305-7) im Zeitschlitz 13 verfolgt werden.

[0090] Unter Erinnerung daran, dass die Übertragungstrecken ihre Belegungszeitpläne im Lockstep zyklisch durchlaufen, wobei alle dieselbe Belegungsnummer verarbeiten, ist bei dem ersten Verzögerungspunkt  $d_s$  (305-8) ein Problem zu sehen, bei dem sich der Belegungszyklus während der Verzögerungsperiode von 2 Belegungszeiten um zwei Belegungszeiten an der Stelle vorbeibewegt hat, von der der Zuhaltungs-Zeitplanungsalgorithmus des SA annimmt, dass er dort sein sollte. Dieses Problem tritt bei jedem Verzögerungspunkt auf.

[0091] Zur Behandlung dieses Problems "neigen" die zeitlich geplanten Ermittlungen, die die äquivalente Belegungsverzögerung kennen, die Empfangsbelegungsfenster um den geeigneten Betrag, um an die Verzögerung anzupassen. Somit würde das Paket ohne die Neigungskompensation seine zugewiesene Belegung verfehlen und durch die zeitlich geplante Vermittlung als "nicht geplant" erklärt.

[0092] Fig. 14 zeigt bei (306-1), (306-2), (306-3) und (306-4) die Wirkung der Neigungskompensation.

[0093] Obgleich die Erfindung hier allgemein hinsichtlich der Zeitplanung der Übertragung von IP-Datenpaketen beschrieben ist, erkennt der Fachmann auf dem Gebiet, dass Verfahren und Vorrichtungen erdacht werden können, die Datenpakete übertragen, die nicht notwendig den IP-Normen genügen, ohne von dem Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0094] Obgleich der Zuhaltungs-Zeitplanungsalgorithmus gemäß der vorliegenden Erfindung hier hinsichtlich zirkulärer Datenstrukturen beschrieben ist, erkennt der Fachmann auf dem Gebiet, dass das zirkuläre Wesen der Datenstrukturen die Periodizität der zeitlich geplanten Belegungen repräsentiert und dass irgendeine Anzahl alternativer Datenstrukturen, die nicht notwendig zirkulär sind, denkbar ist, um den Zuhaltungs-Zeitplanungsalgorithmus mit der geforderten Periodizität zu realisieren, ohne von dem Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Zum Beispiel können alternative Ausführungsformen der Erfindung unter Verwendung gleitender rechteckig ausgerichteter Arrays zur Implementierung eines Zuhaltungs-Zeitplanungsalgorithmus realisiert werden.

[0095] Obgleich die vorliegende Erfindung hinsichtlich der Zeitplanung eines Übertragungswegs zwischen zwei Endpunkten beschrieben ist, erkennt der Fachmann auf dem Gebiet, dass alternative Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung denkbar sind, die einen Weg zwischen mehreren Sendeendpunkten und/oder mehreren Empfangsendpunkten zeitlich planen, ohne von dem Umfang der vorliegenden Erfindung abzuweichen.

[0096] Obgleich die Erfindung hinsichtlich veranschaulichender Ausführungsformen davon gezeigt und beschrieben ist, ist klar, dass die vorstehenden und verschiedene weitere Änderungen, Weglassungen und Hinzufügungen in Bezug auf Form und Einzelheit davon realisiert werden könnten, ohne von dem Umfang der zu Grundlegenden Erfindung abzuweichen.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Liefern von Echtzeitdaten über ein Netz, das die folgenden Schritte umfasst:  
Bereitstellen in dem Netz eines Zeitplanagenten, der Funktionen hat, die in Bezug auf das Netz zentralisiert sind, und der konfiguriert ist, um das Netz vorzukonfigurieren, zu überwachen und zu steuern, und Verwenden des Zeitplanagenten, um:  
einen Paketflusszeitplan für wenigstens ein Datenpaket vorzugeben, um wenigstens einen Knoten in einem Weg durch das Netz zu erreichen;

einen Weg für das wenigstens eine Datenpaket, das sich in dem Netz bewegt, durch eine Anzahl synchronisierter Übertragungstrecken vorzugeben, wobei der Weg aus einer Anzahl verschiedener Wege auswählbar ist,

Bandbreite für die Verwendung durch das wenigstens eine Paket in dem vorgegebenen Weg in Übereinstimmung mit dem Paketflusszeitplan zu reservieren, um eine geplante Belegung für das wenigstens eine Datenpaket zu erzeugen, derart, dass

dann, wenn ein zeitlich geplantes Paket jede Übertragungstrecke in dem vorgegebenen Weg während seiner zeitlich geplanten Belegungszeiten durchläuft, zeitlich nicht geplanter Verkehr in einer Warteschlange gehalten wird und nur weitergeleitet wird, wenn ein offener Zeitplan verfügbar ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner den Schritt des Gewährleistens von Bandbreite für eine Echtzeitübertragung des wenigstens einen Datenpakets, das in Übereinstimmung mit dem Zeitplan übertragen und geliefert wird, umfasst, indem Zeit, in der eine Anwendung das wenigstens eine Datenpaket auf einem Übertragungsweg anordnen kann, gewährleistet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, das ferner den Schritt des Zuweisens gewährleisteter Bandbreite an mehrere Anwendungen oder mehrere Prozess-Threads umfasst.

4. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner den folgenden Schritt umfasst:  
Kommunizieren des Paketflusszeitplans zu dem wenigstens einen Knoten.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Paketflusszeitpläne unabhängig voneinander in jedem des wenigstens einen Knoten gehalten werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner den folgenden Schritt umfasst:  
Koordinieren der Zeitpläne zwischen mehreren Knoten.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei jeder Knoten mit einem nächsten Knoten längs des Wegs zu einem Endpunktempfänger für einen zugeordneten Paketfluss koordiniert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6, wobei ein Endpunktsender seine Übertragungen mit allen Knoten längs des Wegs zu einem Endpunktempfänger koordiniert.

9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Weg durch das Netz einen optimalen Weg zwischen einem Endpunktsender und einem Endpunktempfänger umfasst.

10. Verfahren nach Anspruch 1, wobei jedem des wenigstens einen Knotens ein bestimmtes Sendefunktions-Zeitplanintervall und ein bestimmtes Empfangsfunktions-Zeitplanintervall zugeordnet sind.

11. Verfahren nach Anspruch 1, das ferner den folgenden Schritt umfasst:  
Einbauen des Paketflusszeitplans in das wenigstens eine Paket.

12. Verfahren nach Anspruch 1, wobei zeitlich nicht geplante Daten über das Netz zusammen mit dem wenigstens einen Datenpaket, das in Übereinstimmung mit dem Paketflusszeitplan übertragen wird, übermittelt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Paketflusszeitplan berechnet wird, um gesteuerte Verzögerungen bei der Übertragung des wenigstens einen Datenpakets zwischen dem wenigstens einen Knoten zu implementieren.

14. System für zeitlich geplante Pakete, das einen Zeitplanagenten umfasst, der konfiguriert ist, um ein Netz vorzukonfigurieren, zu überwachen und zu steuern, wobei der Zeitplanagent Funktionen hat, die in Bezug auf das Netz zentralisiert sind, wobei der Zeitplanagent umfasst:

eine Einrichtung zum Vorgeben eines Paketflusszeitplans für wenigstens ein Datenpaket, damit es wenigstens einen Knoten in einem Weg durch das Netz erreicht;

eine Einrichtung zum Vorgeben eines Weges durch eine Anzahl synchronisierter Übertragungstrecken für das wenigstens eine Datenpaket, das sich in dem Netz bewegt, wobei der Weg aus einer Anzahl verschiedener Wege auswählbar ist; und

eine Einrichtung zum Empfangen von Bandbreite für die Verwendung durch das wenigstens eine Paket in dem vorgegebenen Weg in Übereinstimmung mit dem Paketflusszeitplan, um so eine zeitlich geplante Belegung für



das wenigstens ein Datenpaket zu erzeugen, derart, dass dann, wenn ein zeitlich geplantes Paket eine Übertragungsstrecke in dem vorgegebenen Weg während seiner geplanten Zeit durchläuft, zeitlich nicht geplanter Verkehr in einer Warteschlange gehalten wird und nur weitergeleitet wird, wenn ein offener Zeitplan verfügbar ist.

Es folgen 21 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

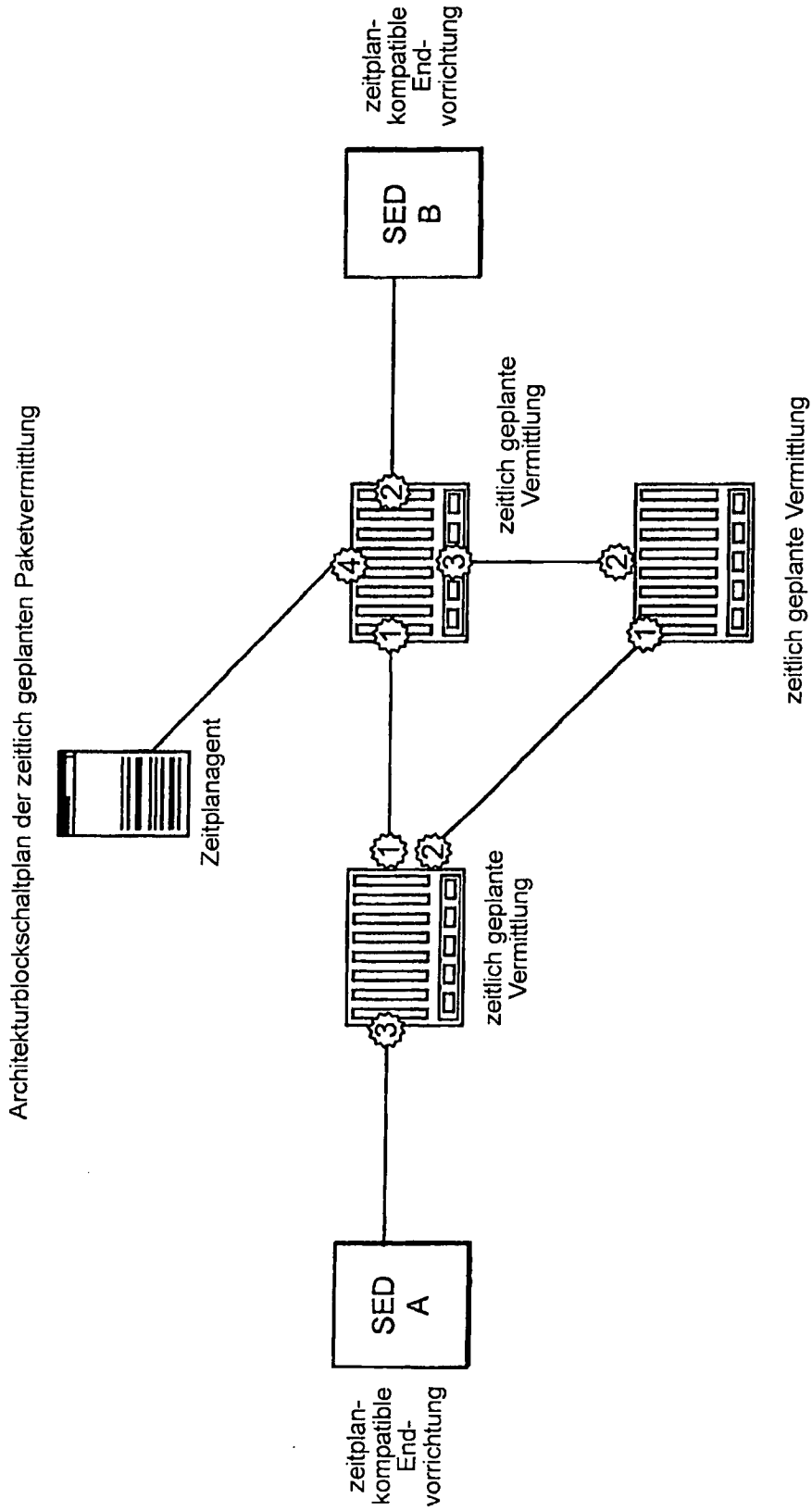


Fig. 1A

Architekturblockschaltplan der zeitlich geplanten Paketvermittlung

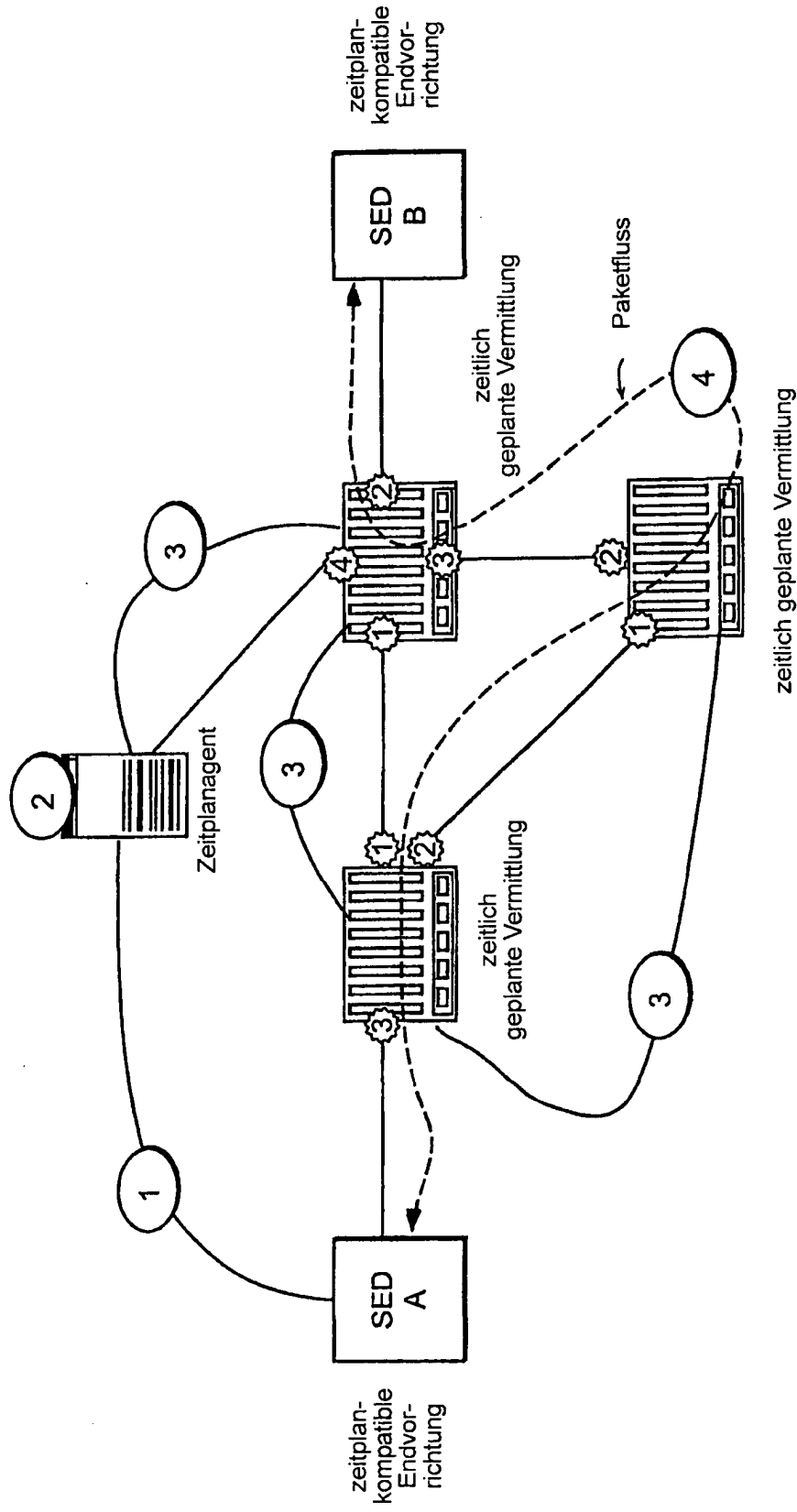


Fig. 1B

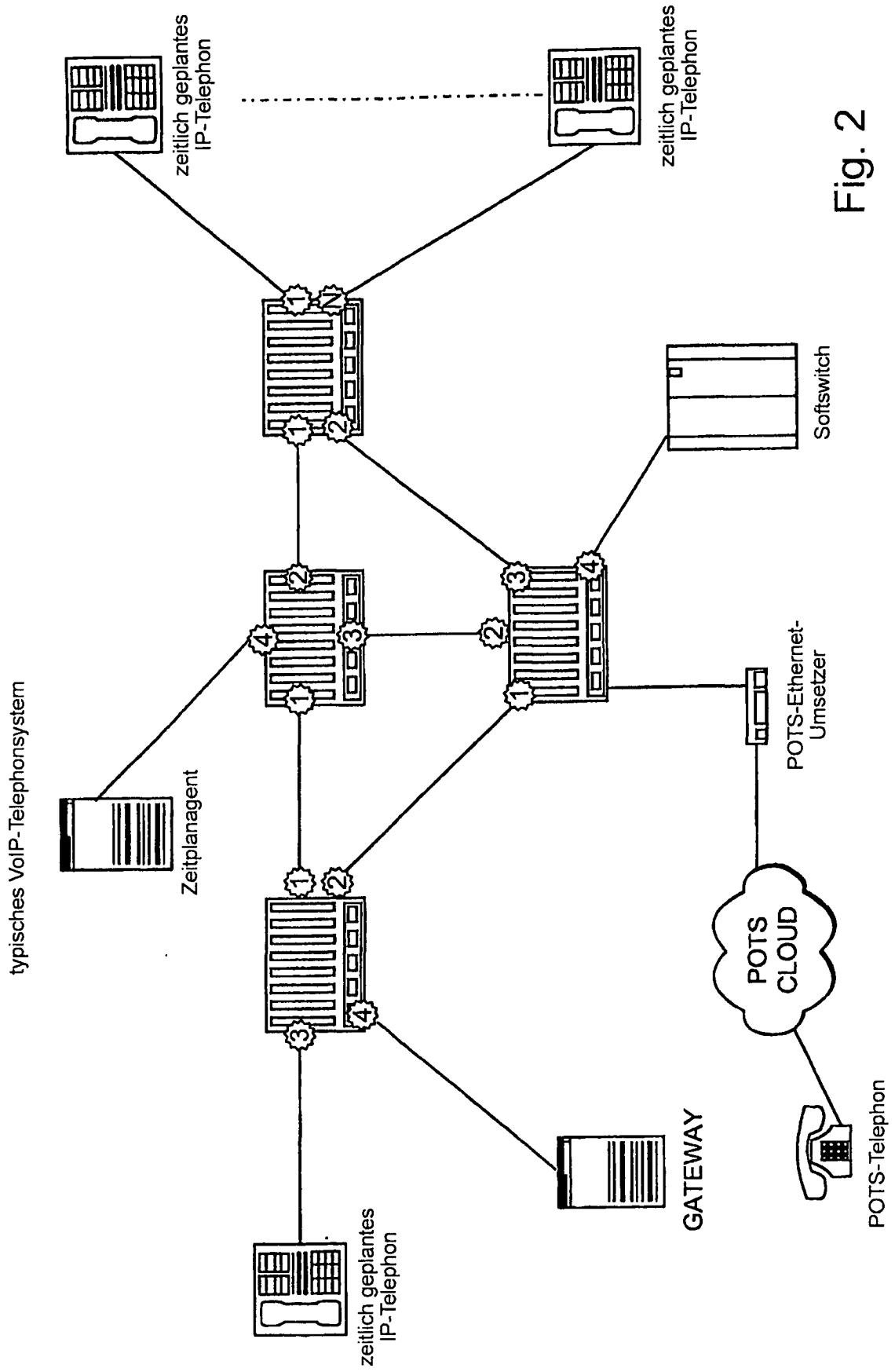


Fig. 2

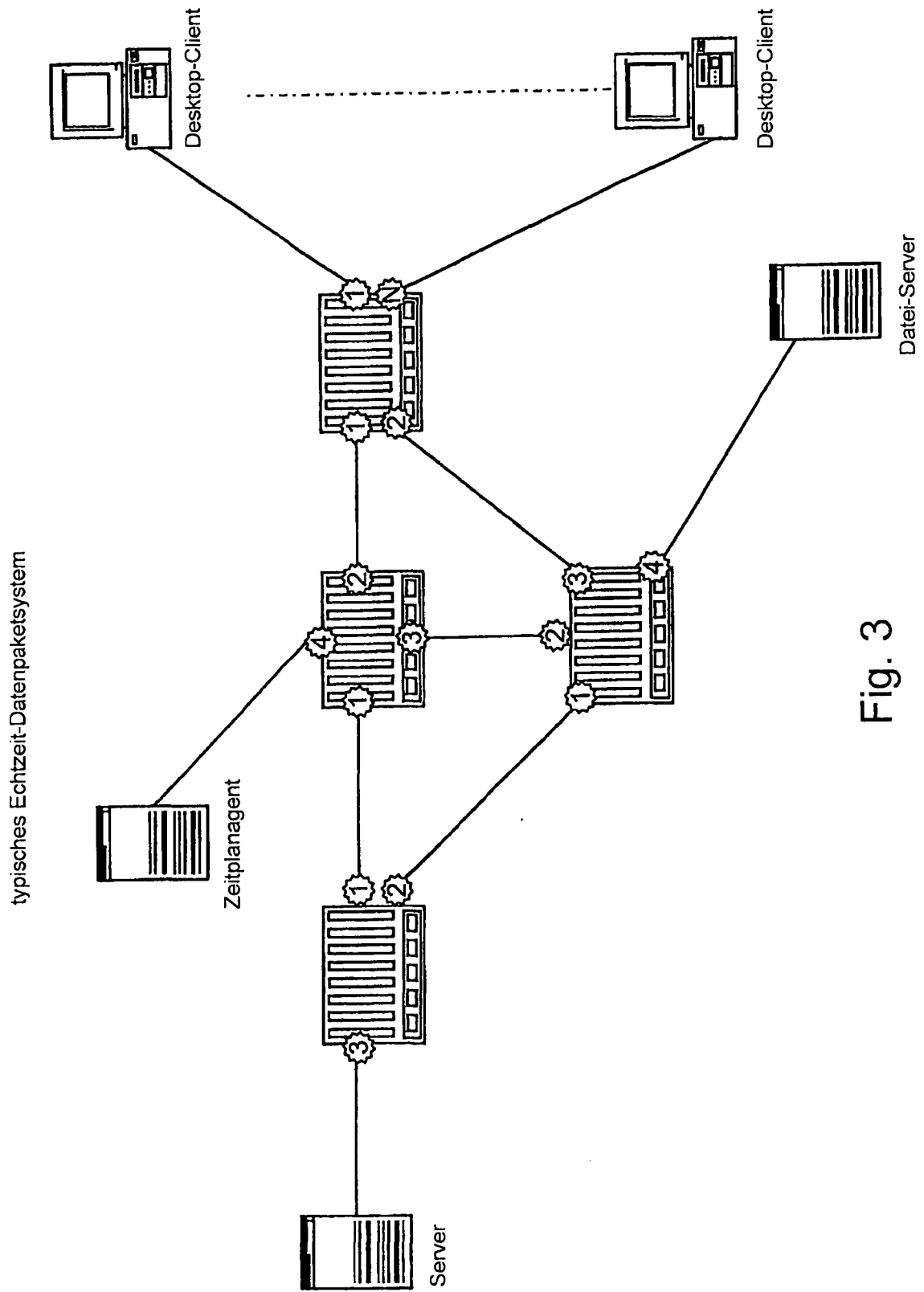


Fig. 3

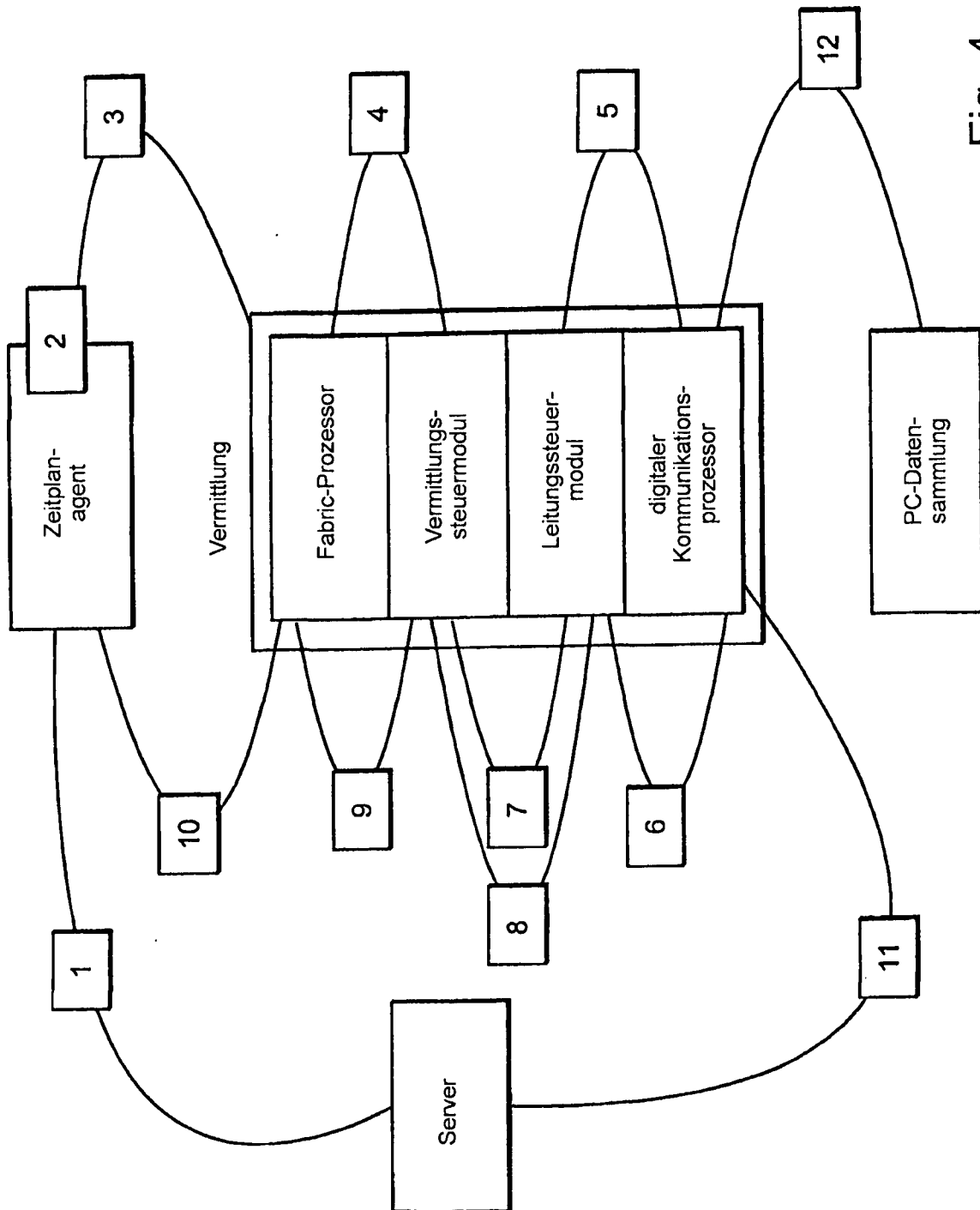


Fig. 4

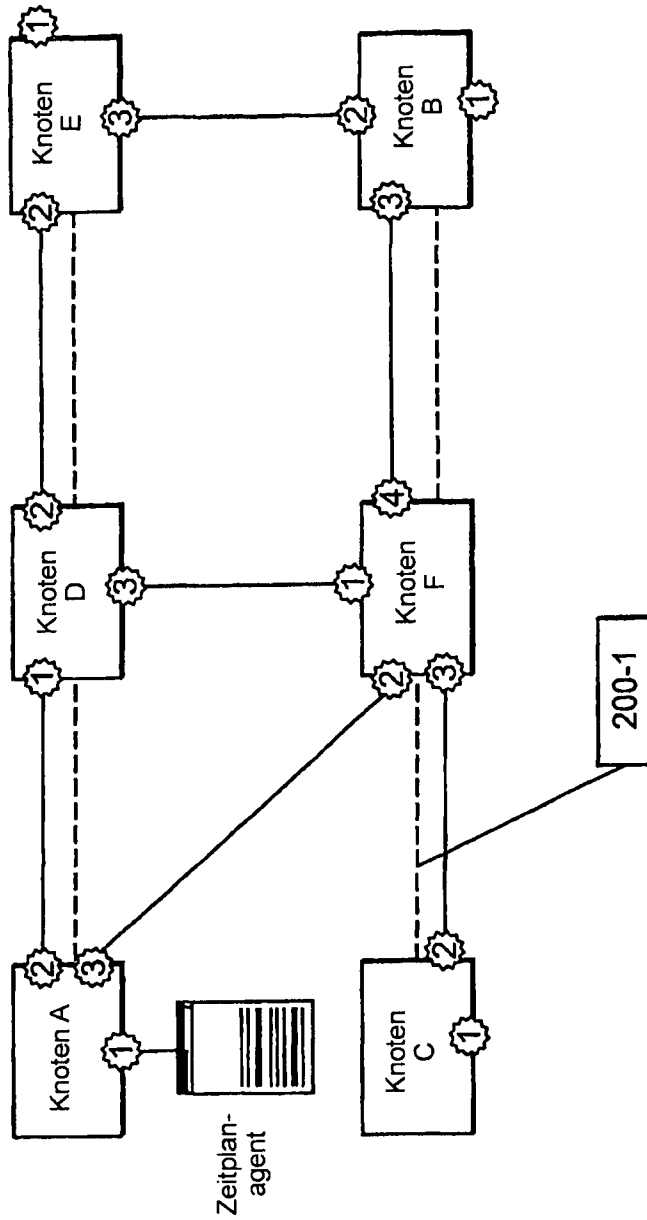


Fig. 5

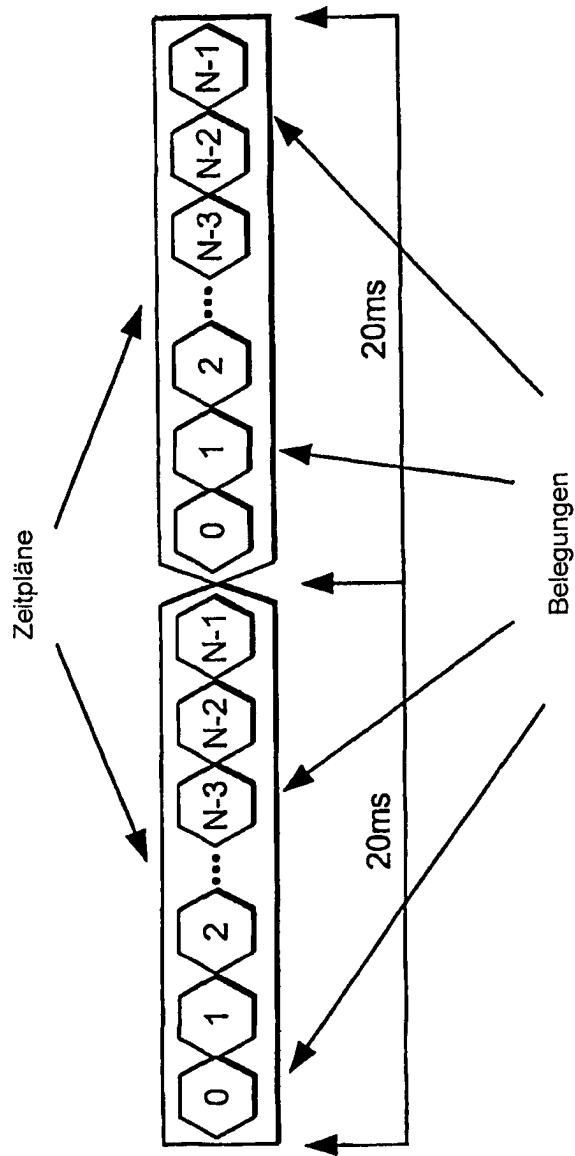


Fig. 6



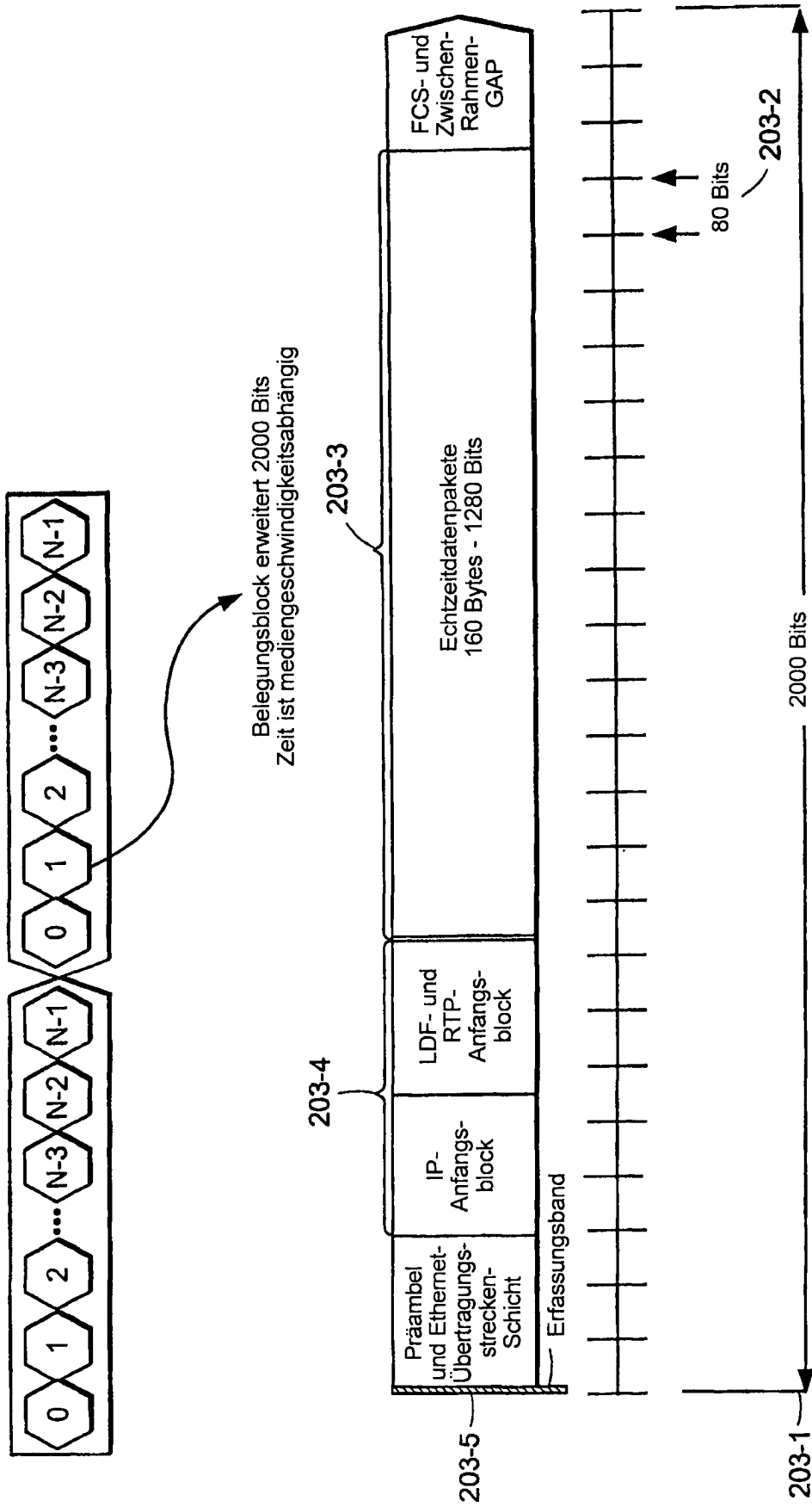


Fig. 7

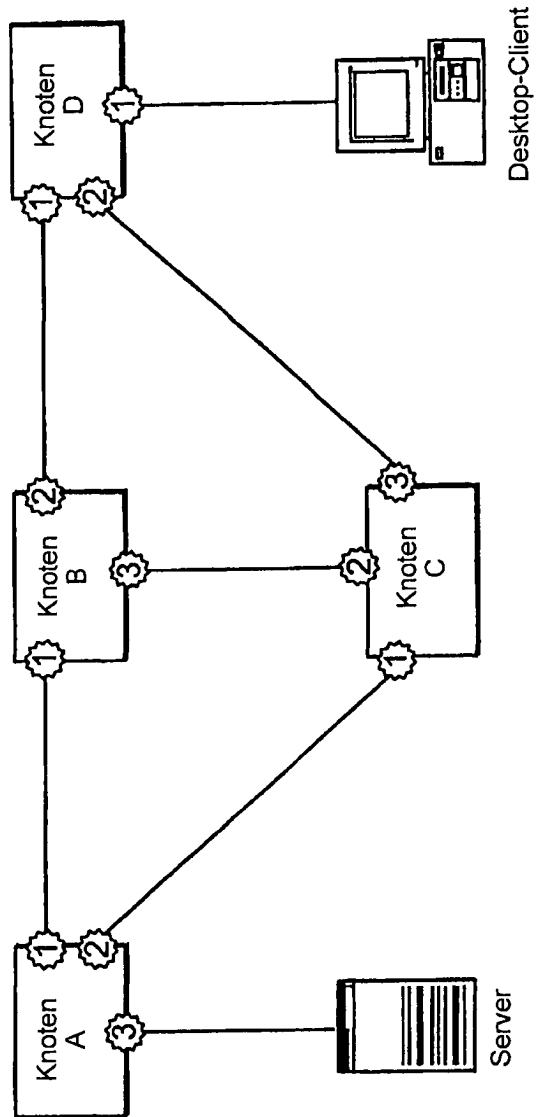


Fig. 8

Tabelle 301 Beispiel-Vermittlungs-Verbindungsmatrix

Knoten	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2	F3	F4
A1		?	?															
A2	?		?						?									
A3	?	?														?		
B1					?	?												
B2				?		?												
B3				?	?						?							?
C1								?										
C2							?										?	
D1		?								?								
D2									?		?		?					
D3									?	?					?			
E1													?	?				
E2										?		?		?				
E3					?							?	?					
F1											?					?	?	?
F2			?												?		?	?
F3								?							?	?		?
F4						?									?	?		

Fig. 9

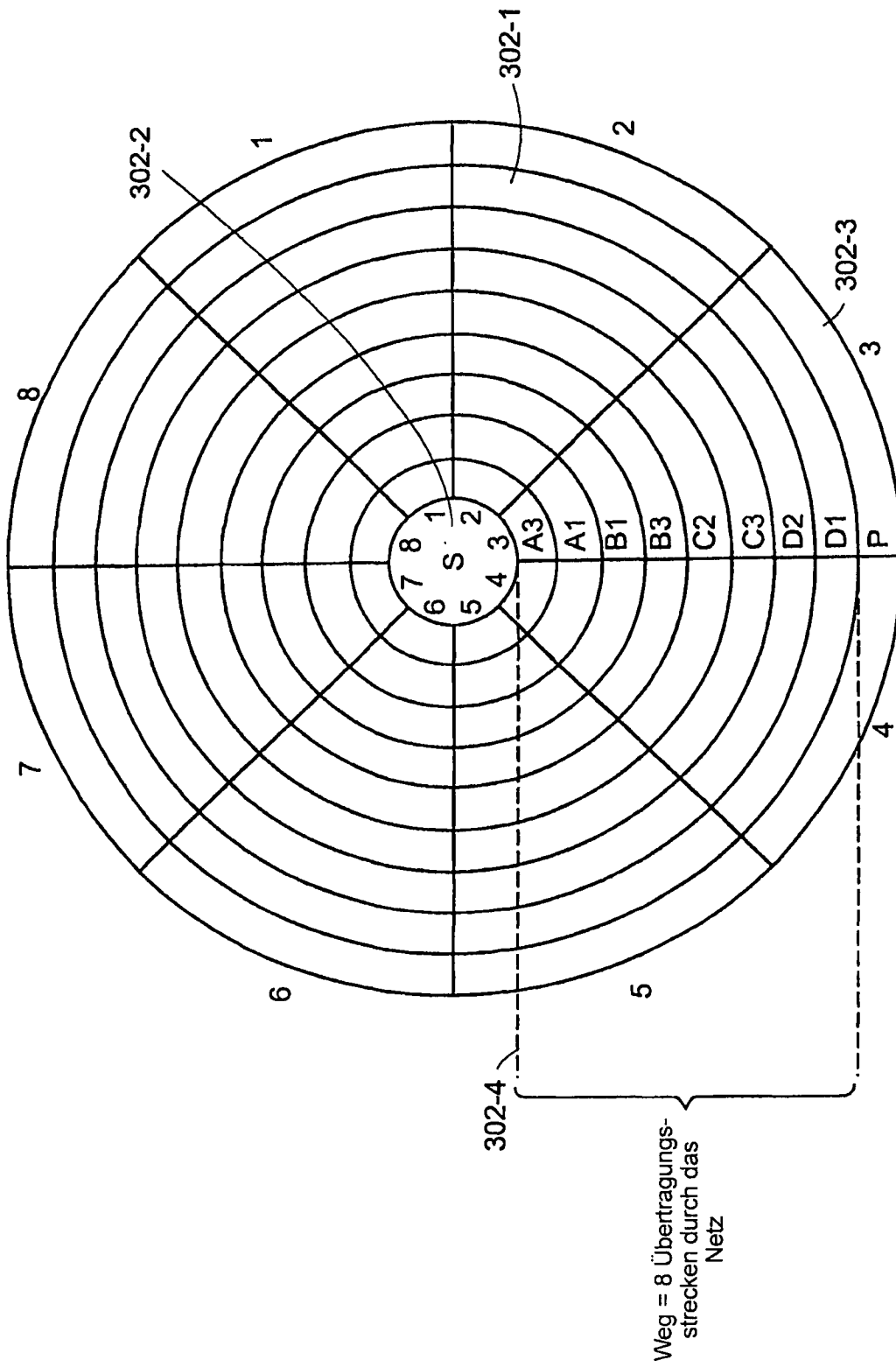


Fig. 10

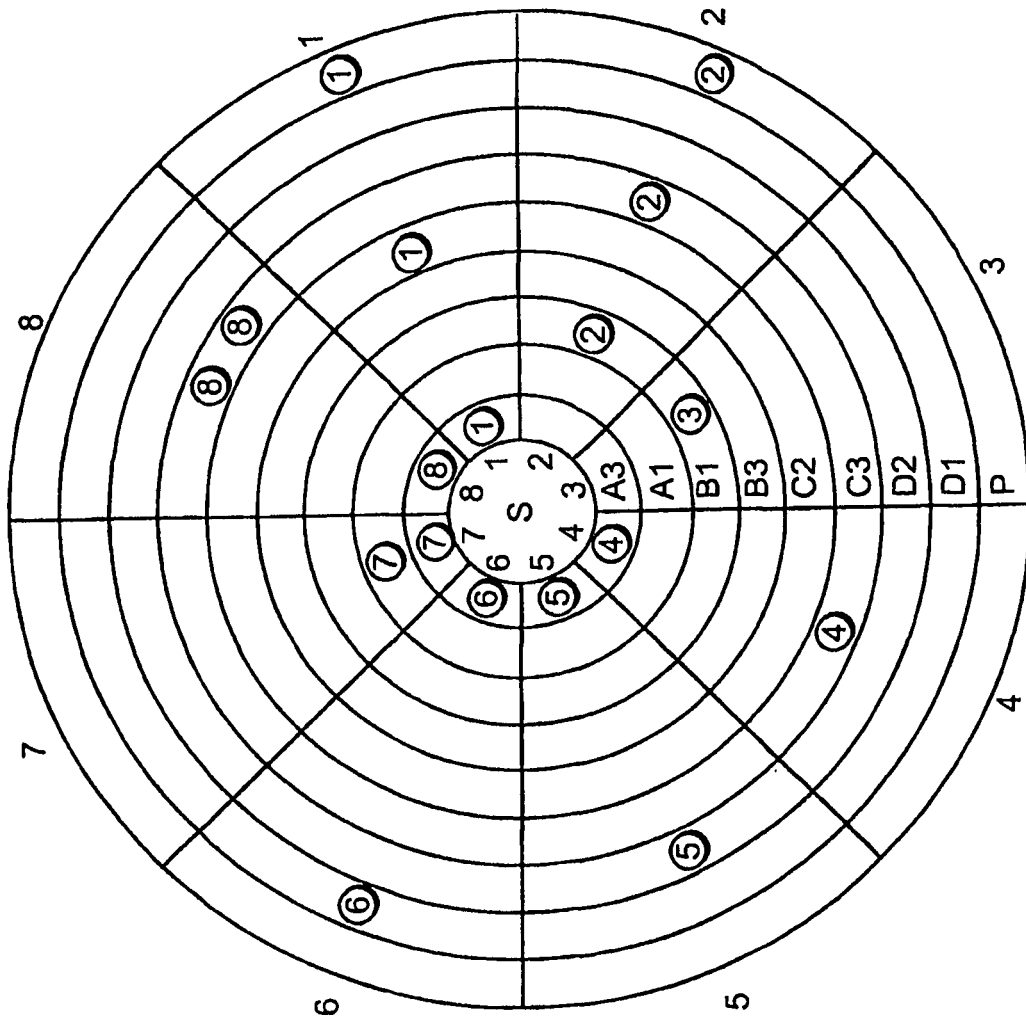


Fig. 11A

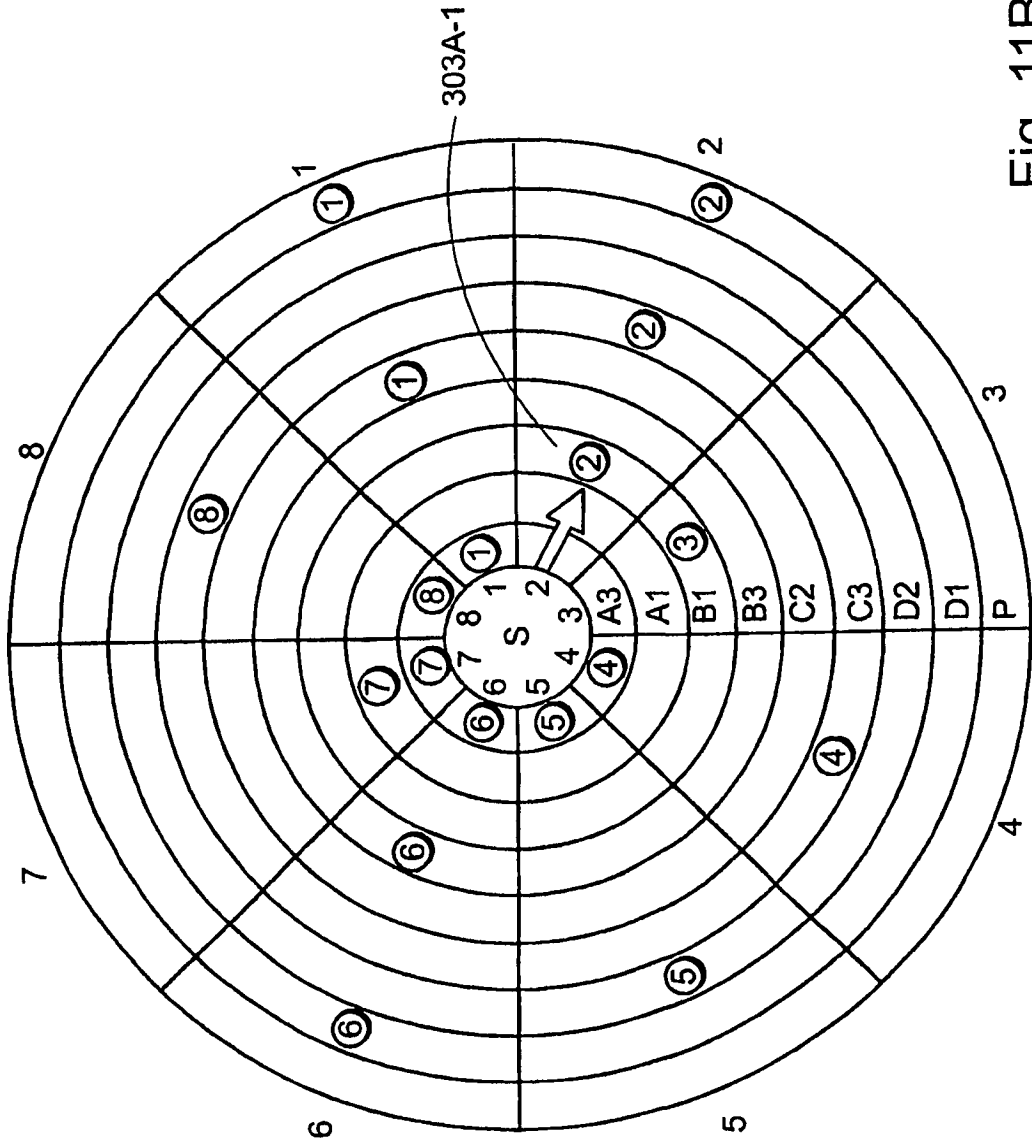


Fig. 11B

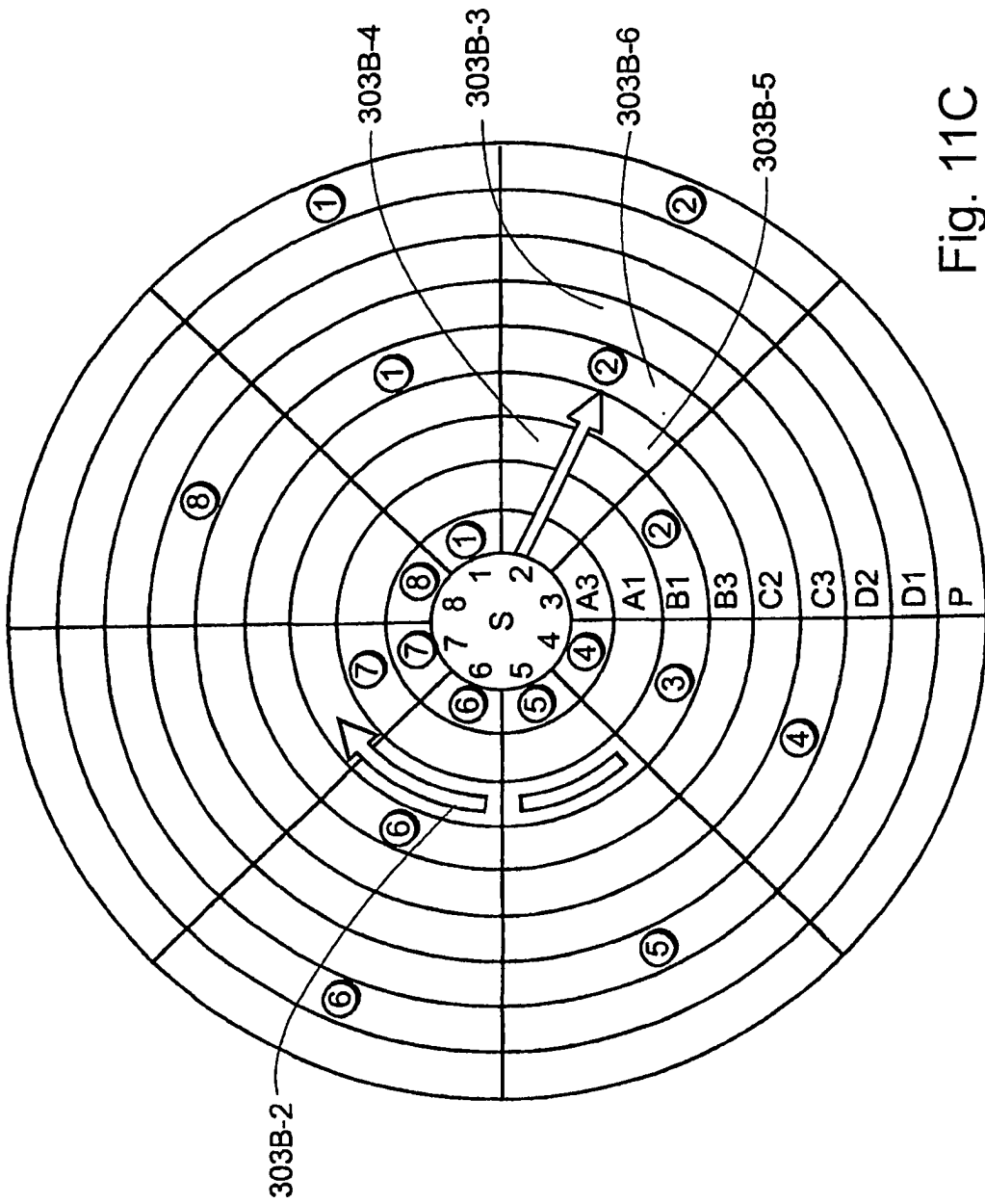


Fig. 11C

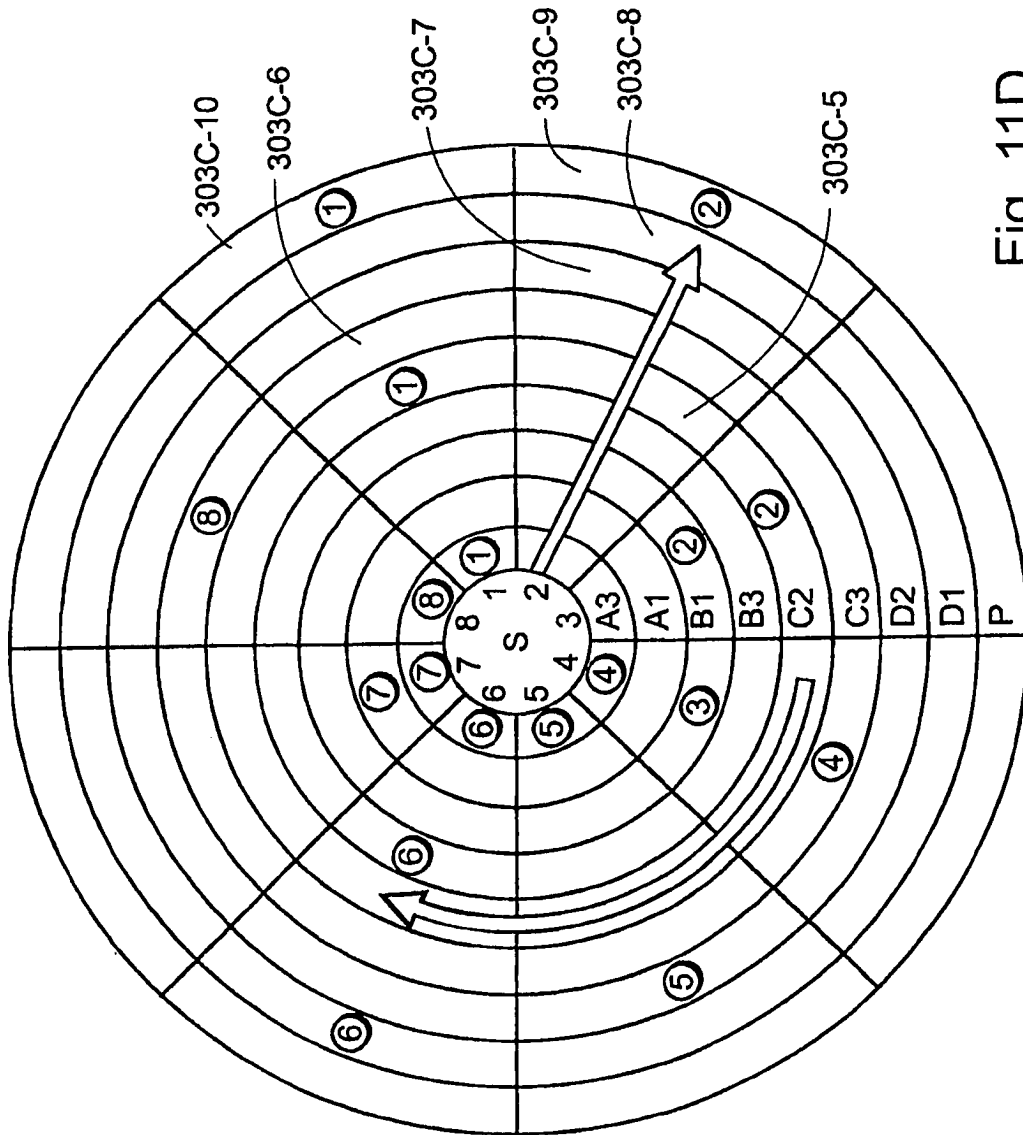


Fig. 11D



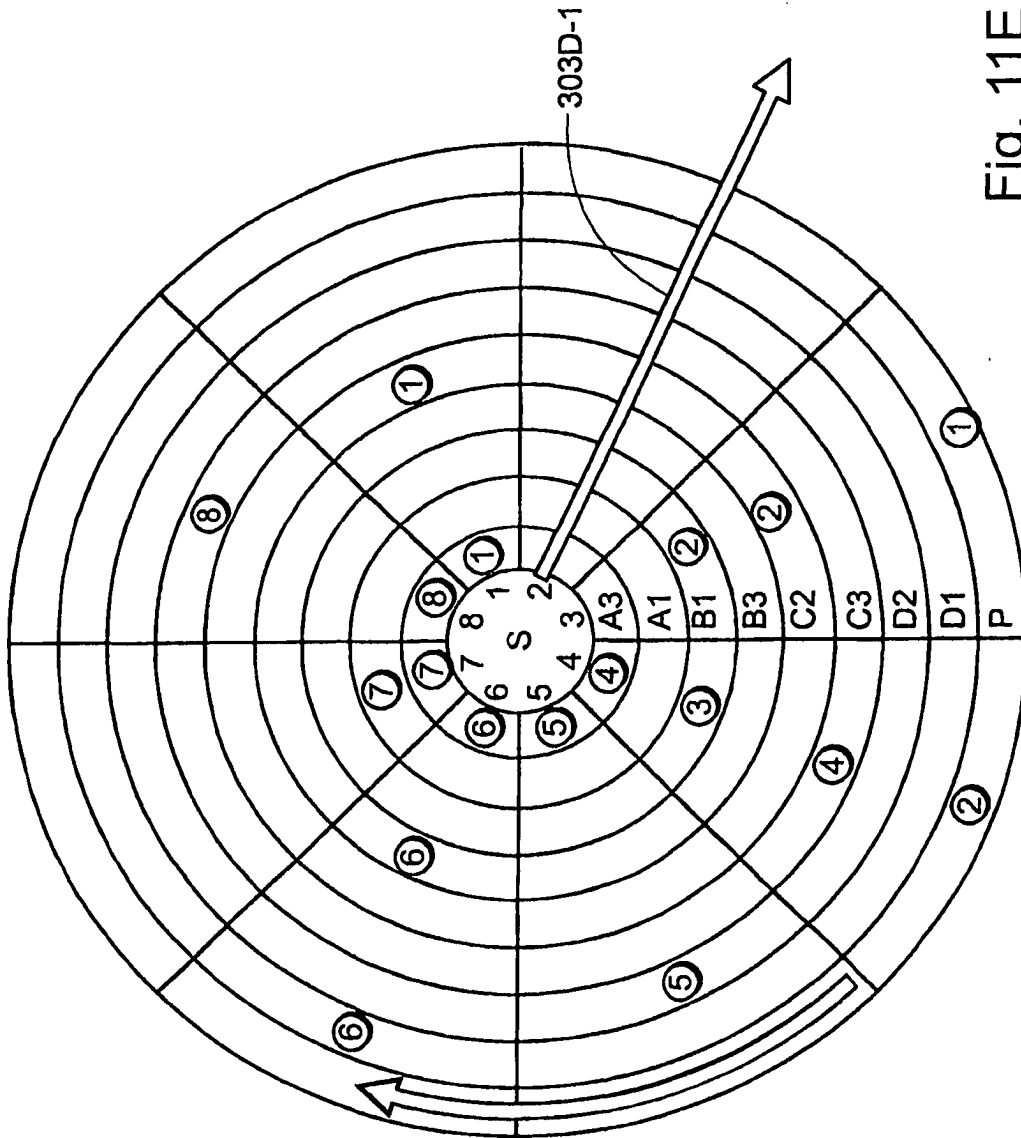


Fig. 11E

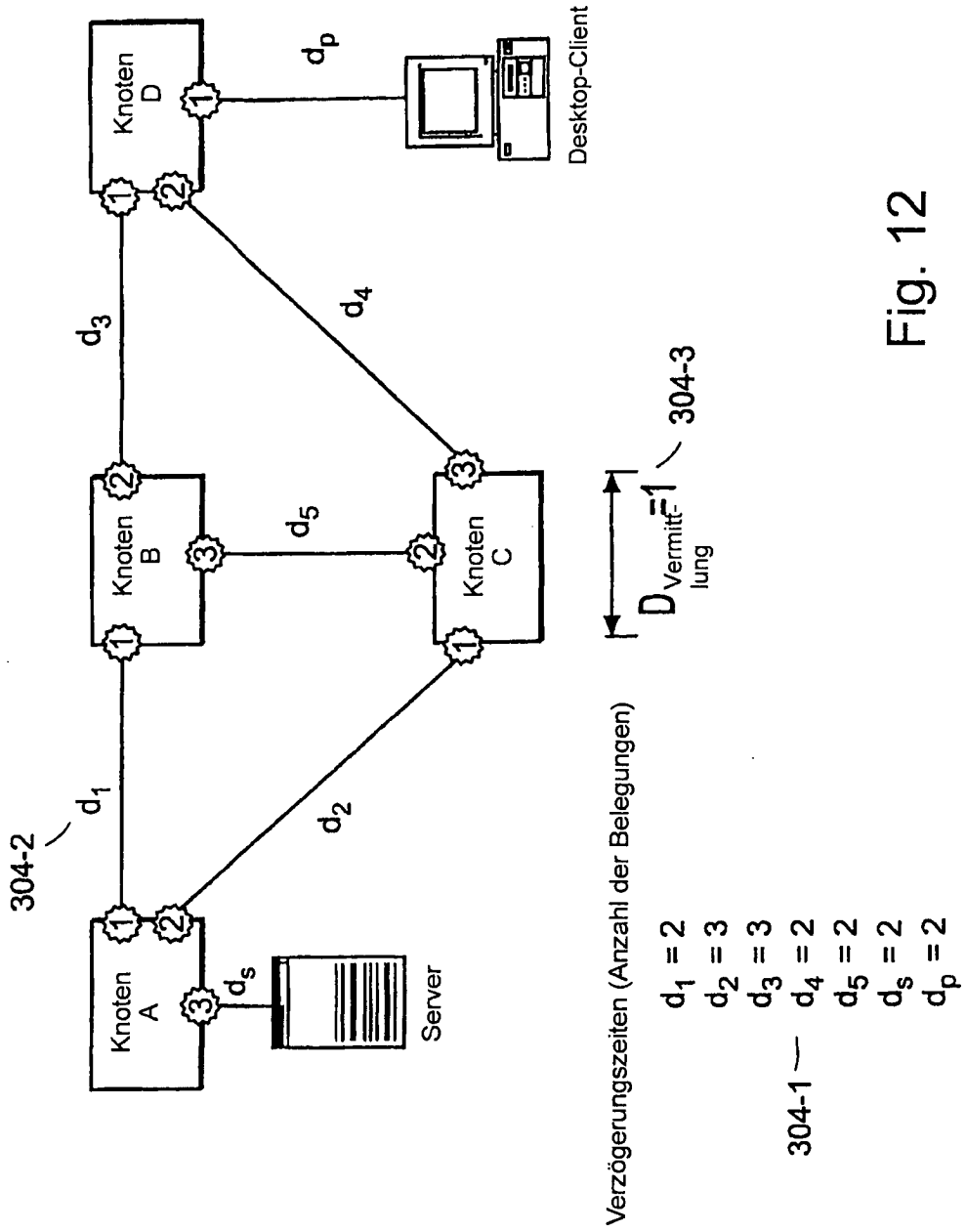


Fig. 12

Fig. 13

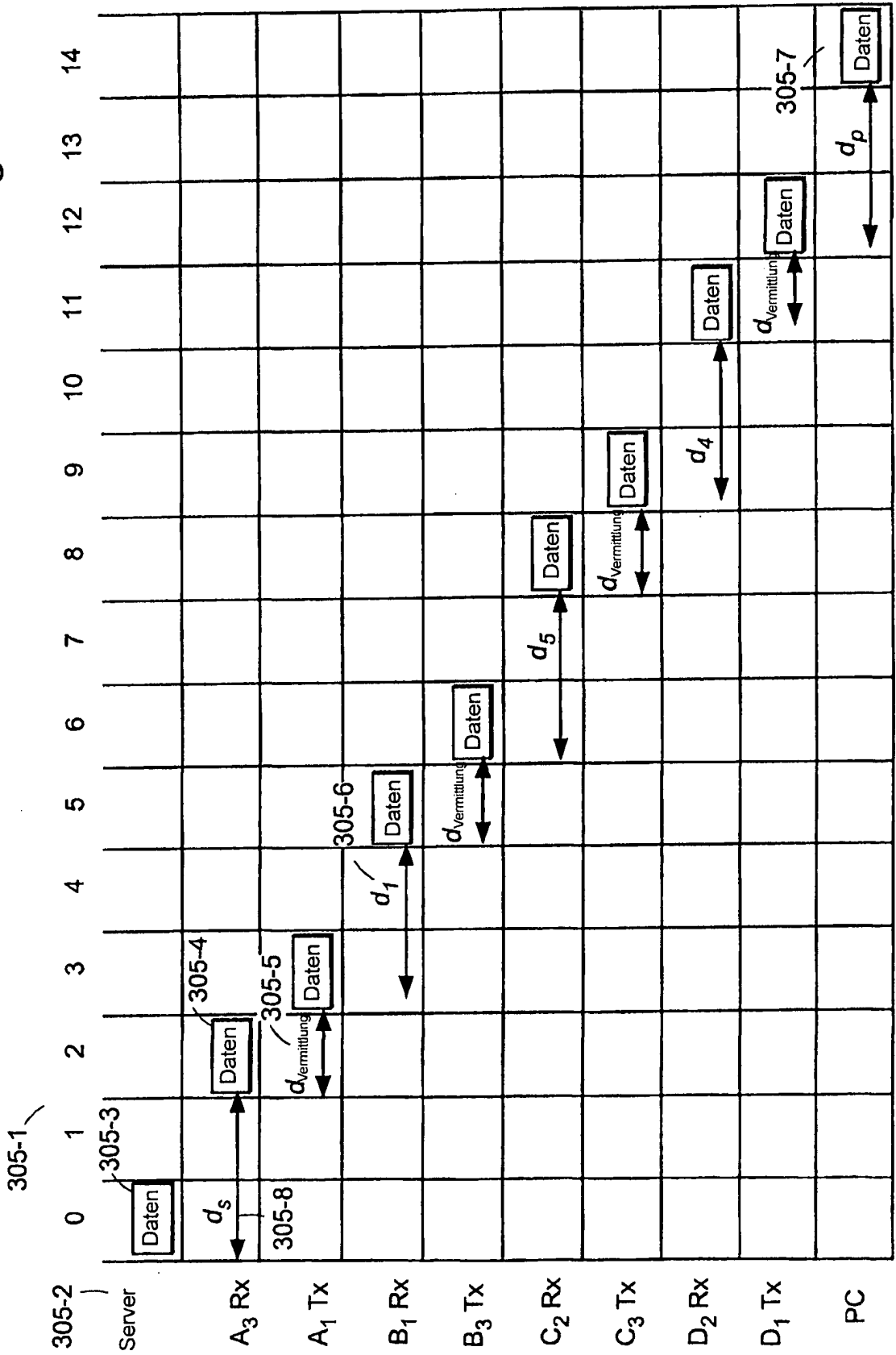
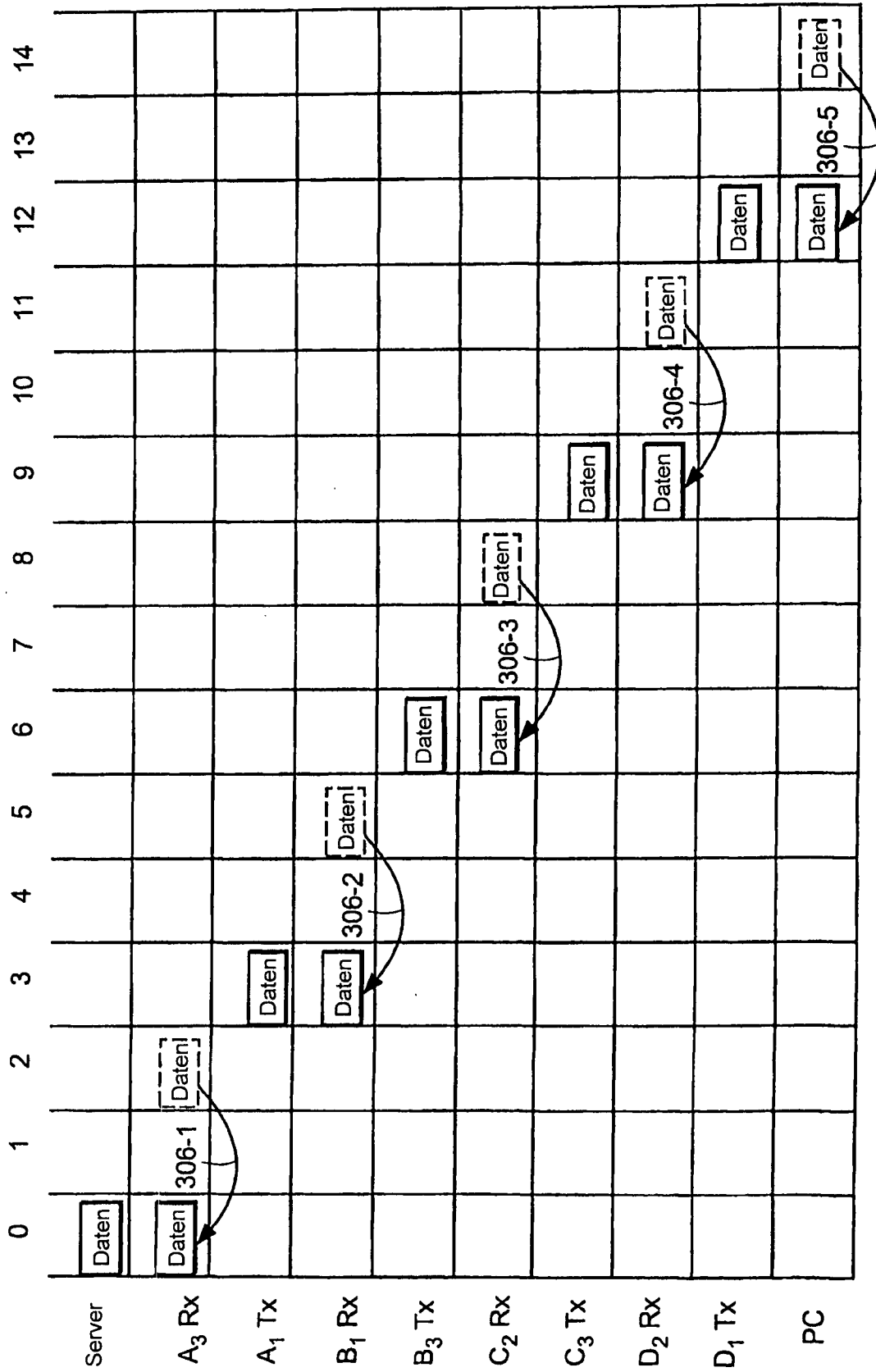


Fig. 14



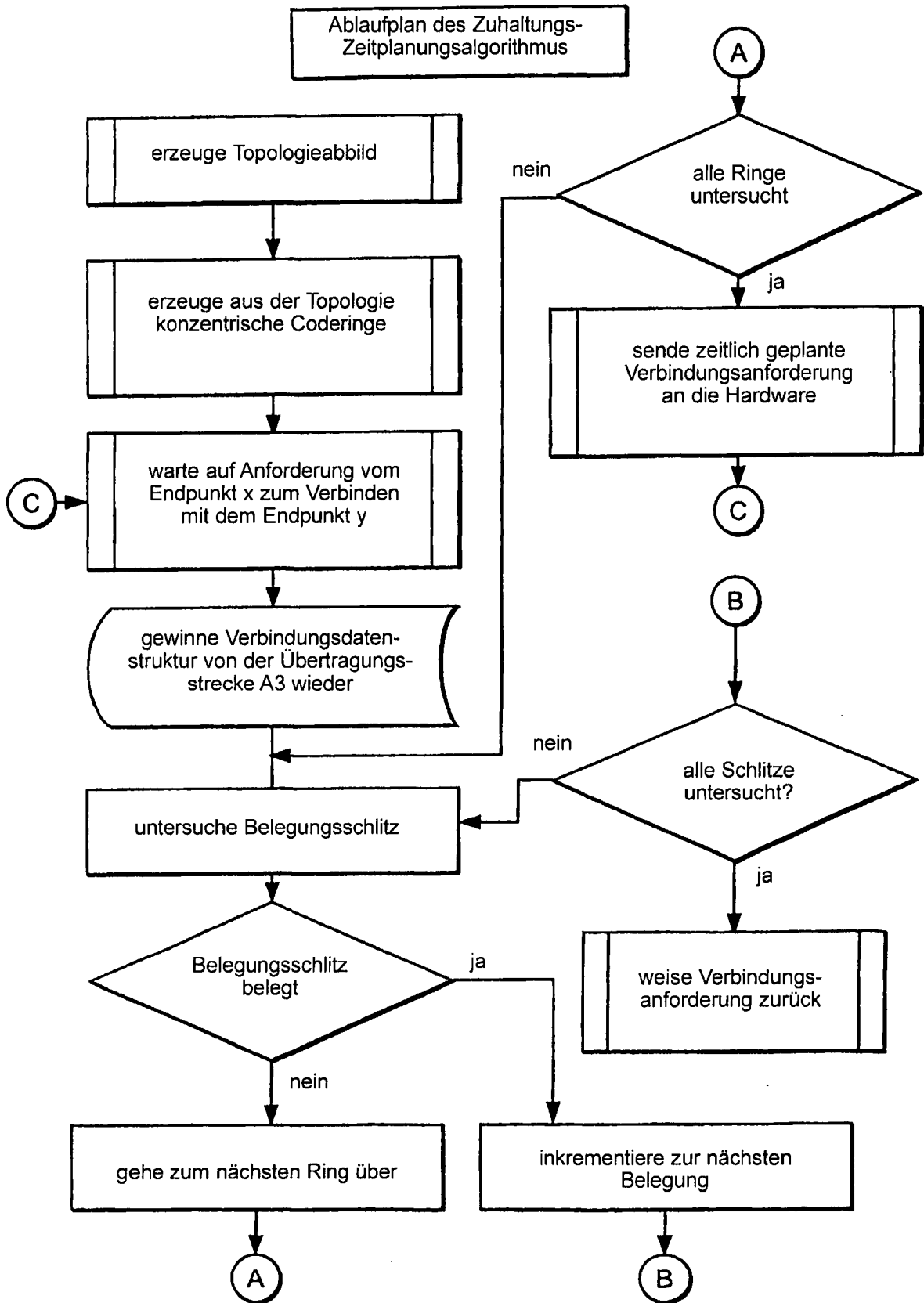


Fig. 15

