

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50496/2020  
(22) Anmeldetag: 08.06.2020  
(43) Veröffentlicht am: 15.12.2020

(51) Int. Cl.: **H04L 12/701** (2013.01)

(30) Priorität:  
14.06.2019 DE 102019208678.0 beansprucht.

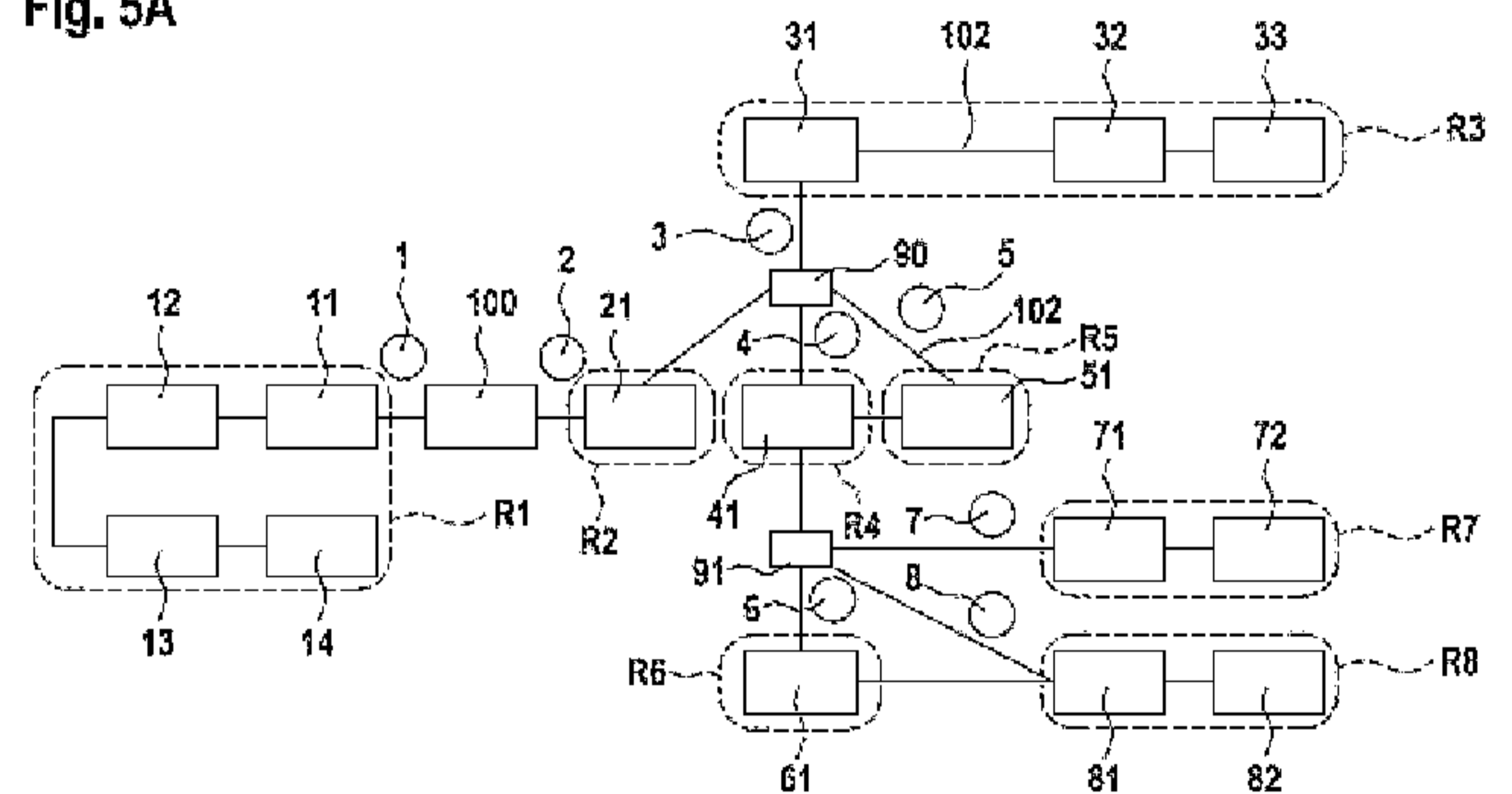
(71) Patentanmelder:  
Robert Bosch GmbH  
70442 Stuttgart (DE)

(74) Vertreter:  
Puchberger & Partner Patentanwälte  
1010 Wien (AT)

(54) **Kommunikationsverfahren**

(57) Die Erfindung betrifft ein Kommunikationsverfahren zwischen Teilnehmern (100,11,12,13,14) eines Netzwerkes (101), welches mehrere Komponenten (100,11,12,13,14) eines mechatronischen Systems aufweist, wobei Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) zwischen den Teilnehmern (100,11,12,13,14) über das Netzwerk (101) mittels Telegrammen kommuniziert werden, und Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) mehrerer Teilnehmer (100,11,12,13,14) in einem Summenrahmentelegramm (1-8,1'-8') zusammengefasst und das Summenrahmentelegramm (1-8,1'-8') an Teilnehmer (100,11,12,13,14) des Netzwerkes (101) versendet wird. Um dabei die Netzwerkressourcen effizienter zu nutzen, wird vorgeschlagen, dass eine konfigurierbare Routingstruktur verwendet wird, über die die Telegramme (103) geroutet werden, welche zumindest eine Teilroute (R1) enthält, und zumindest ein Teildelegramm (1,1') zu dieser Teilroute (R1) aufgebaut wird, welches als Summenrahmen-Teildelegramm (1,1') lediglich Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) von Teilnehmern (100,11,12,13,14) dieser Teilroute (R1) enthält, das Summenrahmen-Teildelegramm (1,1') über diese Teilroute (R1) geroutet wird und Teilnehmer (100,11,12,13,14) der Teilroute (R1) aus dem Summenrahmen-Teildelegramm (1,1') jeweils ihre Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) extrahieren und/oder in das Summenrahmen-Teildelegramm (1,1') einschreiben können.

Fig. 5A



## Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Kommunikationsverfahren zwischen Teilnehmern (100,11,12,13,14) eines Netzwerkes (101), welches mehrere Komponenten (100,11,12,13,14) eines mechatronischen Systems aufweist, wobei Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) zwischen den Teilnehmern (100,11,12,13,14) über das Netzwerk (101) mittels Telegrammen kommuniziert werden, und Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) mehrerer Teilnehmer (100,11,12,13,14) in einem Summenrahmentelegramm (1-8,1'-8') zusammengefasst und das Summenrahmentelegramm (1-8,1'-8') an Teilnehmer (100,11,12,13,14) des Netzwerkes (101) versendet wird. Um dabei die Netzwerkressourcen effizienter zu nutzen, wird vorgeschlagen, dass eine konfigurierbare Routingstruktur verwendet wird, über die die Telegramme (103) geroutet werden, welche zumindest eine Teilroute (R1) enthält, und zumindest ein Teiltelegramm (1,1') zu dieser Teilroute (R1) aufgebaut wird, welches als Summenrahmen-Teiltelegramm (1,1') lediglich Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) von Teilnehmern (100,11,12,13,14) dieser Teilroute (R1) enthält, das Summenrahmen-Teiltelegramm (1,1') über diese Teilroute (R1) geroutet wird und Teilnehmer (100,11,12,13,14) der Teilroute (R1) aus dem Summenrahmen-Teiltelegramm (1,1') jeweils ihre Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) extrahieren und/oder in das Summenrahmen-Teiltelegramm (1,1') einschreiben können.

(Figur 5A)

## Kommunikationsverfahren

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kommunikationsverfahren zwischen Teilnehmern eines Netzwerkes, welches mehrere Komponenten eines mechatronischen Systems aufweist, insbesondere Steuerungen und Antriebsregler eines industriellen Automatisierungsverbundes, wobei Nutzdaten zwischen den Teilnehmern über das Netzwerk mittels Telegrammen kommuniziert werden, und logische und/oder physikalische Kommunikationsverbindungen zwischen Teilnehmern des Netzwerkes bestehen, über die die Telegramme übertragen werden, und Nutzdaten mehrerer Teilnehmer in einem Summenrahmentelegramm zusammengefasst und an Teilnehmer des Netzwerkes versendet werden.

Ein solches Verfahren ist im Stand der Technik bekannt. Dabei ist z.B. vorgesehen, die von einer Steuereinrichtung zu Feldgeräten zu übertragenden Daten in einem einzigen, in Datenfelder unterteilten Summenrahmen und die von einer Vielzahl von Feldgeräten zu einer Steuereinrichtung zu übertragenden Daten ebenfalls in nur einem gemeinsamen, in Datenfelder unterteilten Summenrahmen zu übertragen.

Mit steigender Anzahl von Feldgeräten werden dabei die Summenrahmen zwangsläufig immer größer, wodurch das Verfahren zunehmend ineffizienter wird.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, das Verfahren insgesamt effizienter auszugestalten, insbesondere die Netzwerkressourcen effizienter zu nutzen und/oder schlankeren Netzwerktraffic zu gewährleisten. Insbesondere soll die Erfindung die Netzwerkinfrastruktur für anspruchsvolle Aufgaben der Steuerung und Regelung eines mechatronischen Systems, insbesondere mit einer flexiblen Anzahl bzw. mit einer Vielzahl von Komponenten, befähigen. Schließlich soll die Erfindung insbesondere dazu beitragen, eine geforderte Systemkonfiguration eines

mechatronischen Systems flexibel auf eine Kommunikationsarchitektur von Nutzdaten abzubilden.

Diese Aufgaben werden jeweils teilweise oder vollständig gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1, durch eine Telegramm-Datenstruktur nach Anspruch 12, durch ein mechatronisches System nach Anspruch 13, durch eine Maschinensteuerung nach Anspruch 14 und durch ein Computerprogrammprodukt nach Anspruch 15.

Die Erfindung bietet den Vorteil, dass sie das eingangs genannte Kommunikationsverfahren wesentlich effizienter gestaltet. Dabei werden die vorhandenen Netzwerkressourcen besser genutzt und es wird ein deutlich schlankerer Netzwerktraffic gewährleistet. In Bezug auf ein mechatronisches System wird eine vorhandene Netzwerkinfrastruktur, die per se nicht unbedingt für Automatisierungsaufgaben, bzw. nicht ausschließlich für Automatisierungsaufgaben vorgesehen ist, dennoch befähigt, eine Kommunikation von Nutzdaten für die Steuerung und/oder Regelung eines mechatronischen Systems zu verwenden. Ein solches, mechatronisches System zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass die Steuerungs- und Antriebskomponenten flexibel konfigurierbar und insbesondere in großer Anzahl und großer Variabilität kombinierbar sind. Solche Steuerungs- und Antriebskomponenten können dann auch in Echtzeit gesteuert bzw. geregelt werden, wodurch wiederum erhöhte Anforderungen an die Dienstgüte der Kommunikation gestellt werden. Die Erfindung gewährleistet, eine Systemkonfiguration des oben genannten, mechatronischen Systems flexibel mittels einer Kommunikationsarchitektur von Nutzdaten umzusetzen, so dass höchste Anforderungen – bis hin zu Echtzeit-Anforderungen eines industriellen Automatisierungssystems – auch und insbesondere bei begrenzten Netzwerkressourcen erfüllt werden können.

Die Erfindung erreicht diese und eine Anzahl weiterer Vorteile dadurch, dass das aus der Industriekommunikation, beispielsweise bei Feldbussen, bekannte Konzept eines Summenrahmens für Netzwerk-Telegramme verwendet und dadurch entscheidend verbessert wird, dass eine konfigurierbare Routingstruktur und nach Maßgabe der

Routingstruktur optimierte Telegramme verwendet werden können; dies entspricht einer optimierten Kommunikationsroutenplanung. Die dadurch vorgegebene Topologie bzw. Routingstruktur wird dazu verwendet, den Summenrahmen der Summenrahmentelegramme anzupassen, so dass die Struktur und/oder Inhalte von Summenrahmentelegrammen die Topologie bzw. die Routingstruktur der verwendeten Netzwerkkonfiguration widerspiegeln.

Es werden nämlich Summenrahmen-Teiletelegramme aufgebaut, die die Netzwerktopologie und/oder die verwendeten bzw. konfigurierten Netzwerkrouen für eben diese Summenrahmen-Teiletelegramme bereits berücksichtigen.

Eine Routingstruktur wird dabei anhand einer – insbesondere vordefinierten oder vorbekannten – Kommunikationstopologie bzw. Netzwerktopologie von Teilnehmern konfiguriert. Eine Routingstruktur kann Routen zu einem oder mehreren Teilnehmern enthalten, entlang derer die für die gesendeten bzw. diese Teilnehmer vorgesehenen Netzwerktelegramme geleitet werden. Die Erfindung löst die oben genannten Aufgaben dadurch, dass die Telegramme einerseits über die konfigurierbare Routingstruktur geroutet werden, und andererseits diese Routingstruktur zumindest eine Teilroute, insbesondere aber mehrere Teilrouten, enthält. Eine Teilroute deckt dabei lediglich einen Teil der Teilnehmer des Netzwerkes ab; dies kann bedeuten, dass über diese Teilroute nicht alle, sondern lediglich eine (echte) Teilmenge der Teilnehmer des Netzwerkes erreicht wird. Es ist eine weitere Erkenntnis der Erfindung, dass die Effizienz der Netzwerkkommunikation entscheidend verbessert werden kann, wenn zu einer solchen Teilroute ein hier als Summenrahmen-Teiletelegramm bezeichnetes Telegramm definiert/konfiguriert/aufgebaut wird. Dieses Summenrahmen-Teiletelegramm enthält Nutzdaten, insbesondere lediglich Nutzdaten, von Teilnehmern eben dieser Teilroute. Dies kann beinhalten, dass (in zeitlicher Hinsicht) für zumindest einen, für einige, insbesondere ausgewählte, oder eben für jeden Teilnehmer dieser Teilroute ein Zeitschlitz (Slot) innerhalb des betreffenden Summenrahmens flexibel vorgesehen werden kann.

Wenn das betreffende Summenrahmen-Teiltelegramm über diese Teilroute geroutet wird, können daher die genannten Teilnehmer dieser Teilroute aus dem Summenrahmen-Teiltelegramm jeweils die für sie vorgesehenen Nutzdaten extrahieren und/oder in das Summenrahmen-Teiltelegramm ihre Nutzdaten einschreiben (insbesondere bei bidirektionaler Kommunikation oder – etwa analog einer Feldbusarchitektur – zur Bereitstellung eines dedizierten Rückkanals).

Die Erfindung verwendet ein Summenrahmenverfahren (üblicherweise ein Übertragungsverfahren bei Feldbussen, im Sinne der Erfindung aber nicht auf Feldbusse eingeschränkt). Bei diesem Summenrahmenverfahren sind die Teilnehmer in einer bestimmten, logischen Topologie (bei Feldbussen etwa einer Ringtopologie) miteinander verbunden. Erfindungsgemäß kann es auch darauf ankommen, dass die Topologie deterministisch und für das Routing bzw. den Aufbau der Summenrahmentelegramme bzw. Summenrahmen-Teiltelegramme bekannt ist. Die Topologie kann auch flexibel konfigurierbar sein, und ist dann in der jeweiligen Konfiguration vorzugsweise derart festgelegt, dass das Routing und/oder der Aufbau der Summenrahmen-Teiltelegramme deterministisch durchführbar ist. Dabei werden die Daten vorzugsweise sequenziell nacheinander von Teilnehmer zu Teilnehmer entlang der vorgesehenen Route bzw. Teilroute verteilt. Bezogen auf ein Summenrahmen-Teiltelegramm hat der enthaltene Datenblock die Daten für Teilnehmer (vorzugsweise alle Teilnehmer) entlang der zugeordneten Teilroute. Dadurch wird das Verfahren in hohem Maße verfügbar und deterministisch. Optional kann ein Loopback vorgesehen sein, wodurch erreicht wird, dass eine Rückmeldung (z.B. über den o.g. Rückkanal) über die Übergabe/Übernahme der Teilnehmerdaten an die/von den jeweils richtigen Teilnehmer(n) der Teilroute erfolgt ist.

Ein Summenrahmen-Telegramm kann dabei als einzelnes Netzwerktelegramm (Datenpaket) ausgebildet sein, welches individuell – beispielsweise nach dem OSI-Modell (englisch Open Systems Interconnection Model) – aufgebaut und geroutet wird, und welches die Nutzdaten mehrerer Teilnehmer zusammenfasst und strukturiert in seinem Nutzdatenbereich aufweist. Ein solches Summenrahmen-Telegramm oder Summenrahmen-Teiltelegramm erlaubt es daher, wahlfrei und

bedarfsgerecht auf die Nutzdaten einzelner oder aller, individueller Teilnehmer innerhalb seines Nutzdatenbereichs selektiv zuzugreifen. Trotzdem handelt es sich um ein einziges Telegramm, so dass auf diese Weise Summenrahmen-Teiltelegramme für dedizierte Netzwerkpfade oder dedizierte Teilrouten gebildet werden, die mehrere Teilnehmer gleichzeitig bedienen und nur einmal gesendet bzw. geroutet werden müssen.

Erfindungsgemäß hat das mechatronische System insbesondere zumindest eine Steuerung. Das mechatronische System weist darüber hinaus einerseits mechatronische, das bedeutet beispielsweise elektrische, elektronische, hydraulische, mechanische, pneumatische oder aus diesen Prinzipien kombinierte oder anderweitige Komponenten auf, die in einem Systemverbund zusammengefasst sind und als solcher als eine zusammengefasste, mechatronische Einheit oder mechatronische Maschine fungieren. Dies kann beispielsweise eine Werkzeugmaschine sein, in der mehrere Elektromotoren die Achsen der Werkzeugmaschine bilden. Komponenten des mechatronischen Systems werden vorzugsweise durch eine oder mehrere (Maschinen-) Steuerungen koordiniert, gegebenenfalls synchronisiert und als Systemverbund gesteuert. Dabei ist die Maschinensteuerung beispielsweise eine Logiksteuerung, wie zum Beispiel eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), eine Bewegungssteuerung, wie beispielsweise eine CNC (Computer Numeric Control) oder – generell ausgedrückt – eine übergeordnete Systemsteuerung, die auch aus mehreren, unterschiedlichen Steuerungsplattformen und -Architekturen zusammengesetzt werden kann. Die Maschinensteuerung kann dabei eine integrierte Maschinensteuerung sein, die auch eine Echtzeitkomponente, in Software oder Hardware, und eine übergeordnete Logiksteuerung, Prozesssteuerung oder allgemeine Steuerung in einer Einheit, vorzugsweise in einem Gehäuse, integriert.

Eine solche Maschinensteuerung kann eine separate und dedizierte Hardware sein, also etwa eine elektronische Komponente des mechatronischen Systems, die als eine physikalische Maschinensteuerung ausgestaltet ist. Es kann sich aber auch um eine Embedded-Steuerung handeln oder um eine virtuelle, beispielsweise auf einem

Industrie-PC emulierte bzw. virtualisierte, Steuerung handeln. Eine Steuerung kann schließlich auch als Software-Applikation auf einem (Industrie-) PC realisiert sein.

Die Erfindung erweitert das Summenrahmen-Verfahren um eine Aufteilung einer komplexeren Routingstruktur in Teilrouten, denen entsprechend Summenrahmen-Teiltelegramme zugeordnet sind. Dadurch wird eine Vielzahl auch komplexer Topologien (entsprechend mechatronischen Systemen mit einer hohen Komplexität, zum Beispiel einer Vielzahl von Maschinensteuerungen) deterministisch vor allem schnell und flexibel zur industriellen Kommunikation – insbesondere Echtzeit-Kommunikation – von Nutzdaten befähigt.

Der Kern der Erfindung umfasst dabei auch, dass es bei – vor allem komplexeren – echtzeitfähigen Netzwerksystemen wie TSN-Topologiestrukturen Vorgaben gibt, wie die Teiltelegramme – insbesondere in Bezug auf die Netzwerktopologie – optimal zusammengefasst werden. Diese Optimierung wird an alle Netzwerkteilnehmer als Kommunikationskonfiguration übertragen. Hierauf wird weiter unten noch näher eingegangen.

Das erfindungsgemäß deterministische und gleichzeitig schlanke Kommunikationsverfahren ist besonders geeignet, um ein netzwerkbasierendes, mechatronisches System mittels der Erfindung für netzwerkweite Echtzeitaufgaben zu befähigen. Dazu wird vorgeschlagen, dass die Nutzdaten Echtzeitdaten betreffend das mechatronische System umfassen. Insbesondere sind dies Steuerungs- und/oder Regelungsdaten, also etwa Vorgabe-Sollwerte, Messwerte, Sensorparameter oder -Daten, aber auch über einen erfindungsgemäßen Rückkanal gemeldete Daten, wie z.B. Momentan-Istwerte. Solche Echtzeitdaten werden zwischen vorgesehenen Teilnehmern in Echtzeit kommuniziert. Insbesondere erfolgt die Kommunikation der Steuerungsdaten in Echtzeit über den TSN-Standard eines echtzeitfähigen Ethernets (vorzugsweise gemäß der IEEE 802.1Q). Insbesondere werden die Steuerungsdaten in Echtzeit gemäß der Echtzeitklassen 0 (Best Effort), 1 (Background) oder 2 (Excellent Effort) aus der IEEE 802.1Q kommuniziert, für anspruchsvolle Fertigungsaufgaben sowie für eine Bewegungssteuerung oder für

Werkzeugmaschinensteuerungen auch gemäß der Echtzeitklasse 3 (Critical Applications).

In Bezug auf die genannte TSN-Architektur ist die Verwendung eines Publish-/Subscribe-Kommunikationsmodells gemäß OPC-UA bevorzugt. Charakteristisch für eine solche Publish-/Subscribe-Architektur ist es, dass der Publisher den oder die Subscriber nicht individuell adressiert und somit nicht unbedingt „kennt“. Bei der Multicast-Ausprägung ist eine Netzwerknachricht, die ein erfindungsgemäßes Summenrahmen-Teiltelegramm umfasst, für eine Mehrzahl bis eine Vielzahl von Teilnehmern der zugeordneten Teilroute vorgesehen. Bei einer Unicast-Ausprägung ist eine Netzwerknachricht nur für einen oder mehrere, bestimmte Teilnehmer vorgesehen. Dies gilt dann entsprechend auch für die nach Maßgabe der Summenrahmen-Teiltelegramme aufgebauten, entsprechenden Netzwerknachrichten.

Die Kommunikationsarchitektur kann auch einer Feldbusarchitektur entsprechen, und zwar insbesondere einer Master-/Slave-Architektur, insbesondere SERCOS IEC 61491. Dann kommt vorzugsweise eine Linien- oder Ringtopologie zur Anwendung. Insbesondere bei Feldbussen kann eine komplexere Topologie aus solchen Linien- oder Ringtopologien zusammengesetzt werden.

Echtzeit bedeutet in Bezug auf die Erfindung insbesondere, dass Echtzeit-Tasks mit einem deterministischen Taktzyklus abgearbeitet und kommuniziert werden. Bei einer Werkzeugmaschine kann dies beispielsweise bedeuten, dass die Maschinensteuerung bzw. Bewegungssteuerung Sollwerte eines angesteuerten Werkzeugs sendet oder empfängt und diese anfährt mittels eines integrierten Interpolators, der in einem Interpolatortakt aus den Sollwerten des CNC-Programms Positionswerte einer Bewegungsbahn des Werkzeugs erzeugt und diese als aktuelle Sollwertvorgaben an angeschlossene Antriebsregler zum Anfahren der entsprechenden Interpolatorposition der resultierenden Bewegungsbahn übergibt. Die Reaktionszeit der entsprechenden Anwendung ist dabei spezifisch für die Anwendung. Bei Werkzeugmaschinensteuerungen sind typischerweise

Reaktionszeiten von 1 bis 1000  $\mu\text{s}$ , insbesondere 1 bis 100  $\mu\text{s}$ , üblich. Bei zeitlich weniger anspruchsvollen Anwendungen – wie beispielsweise Verpackungsmaschinen – können auch Reaktionszeiten von 1 ms bis 100 ms vorgesehen werden. Entsprechendes gilt für die damit verbundenen Zykluszeiten des Kommunikations-Taktzyklus. Dabei ist von der Erfindung einerseits harte Echtzeit umfasst, welche eine Überschreitung der Reaktionszeit nicht zulässt. Daraus ergibt sich, dass insbesondere bei harter Echtzeit eine Erhöhung der Taktzeit der Kommunikation kritisch sein kann. Die Erfindung berücksichtigt dies, indem sie eine flexible – und insbesondere auf die charakteristischen Echtzeitanforderungen abgestimmte – Routingstruktur und zulässige Parameter für den Aufbau von Summenrahmen-Teiltelegrammen vorsieht, wie beispielsweise eine maximal mögliche Gesamtlänge oder eine maximale Anzahl von Nutzdatenslots entsprechend der Anzahl möglicher Geräte, die miteinander kommunizieren. Des Weiteren kommen auch weiche Echtzeit sowie eine feste Echtzeit in Betracht. Bei allen diesen Echtzeit-Anwendungen stellt die Erfindung die Kommunikation der Nutzdaten im Rahmen der charakteristischen Anforderungen sicher, so dass insgesamt die Performance der Echtzeit-Tasks und insbesondere die netzwerkweite Integrität der Echtzeit gewahrt wird.

Das gesamte Netzwerk oder ein physikalisch oder logisch abgetrenntes Netzwerksegment kann dabei bereits ein mechatronisches System abbilden bzw. einem solchen mechatronischen System entsprechen. Um eine flexible und schlanke Kommunikationsstruktur zu erhalten, wird das gesamte Netzwerk oder das vorbestimmte Netzwerksegment durch mehrere Teilrouten der Routingstruktur abgedeckt, wobei die jeweils zugehörigen Summenrahmen-Teiltelegramme aller Teilrouten zusammengenommen die Nutzdaten der Teilnehmer des gesamten Netzwerkes bzw. des gesamten Netzwerksegmentes abbilden können. Die Teilrouten sind insbesondere logisch und/oder physikalisch (beispielsweise durch Netzwerk-Infrastrukturkomponenten wie Switches) definiert bzw. abgegrenzt. Dadurch kann die Kommunikation – insbesondere an den Infrastrukturkomponenten – besonders einfach und inhärent wie durch die Netzwerktopologie vorgegeben strukturiert werden.

Eine hierarchisch strukturierte, übersichtlich und einfach aufgebaute Kommunikations-Infrastruktur wird dadurch erreicht, dass ein Telegrammsender vorgesehen ist, welcher die Summenrahmen-Teiltelegramme generiert und über jeweils dazugehörige Teilrouten an die Teilnehmer adressiert und versendet. Ein solcher Telegrammsender kann beispielsweise ein Hardware- oder Software-Modul oder eine Komponente einer Steuerung oder eines Industrie-PCs sein. Insbesondere kann ein Publisher nach dem Publish-/Subscribe-Kommunikationsmodell oder ein Master einer Master-/Slave-Feldbusarchitektur oder ein Server von etablierten Client-Server-Verbindungen als solch ein Telegrammsender fungieren. Dort werden dann alle Summenrahmen-Teiltelegramme oder lediglich die Summenrahmen-Teiltelegramme von angrenzenden Teilrouten aufgebaut und entlang der zugehörigen Teilrouten versendet. Dazu sind vorzugsweise in dem Telegrammsender die Routingstruktur sowie die kommunikationsrelevanten Daten der betreffenden Teilnehmer bekannt. Die Teilnehmer können auch variabel konfigurierbar sein, sodass ein Teilnehmer (zum Beispiel eine Steuerung) sowohl als Telegrammsender als auch als Adressat konfiguriert sein kann.

Für die erfindungsgemäße Umsetzung bzw. Zusammensetzung und das erfindungsgemäße Routing der Summenrahmen-Teiltelegramme gibt es eine Vielzahl verschiedener Möglichkeiten. Ohne Einschränkung der Allgemeinheit sind im Folgenden zwei erfindungsgemäß bevorzugte Varianten beschrieben.

Ein effizientes Routing, insbesondere unter relativ geringer Last der Netzwerkressourcen, ein geringer, netzwerkseitiger, apparativer Aufwand sowie eine einfache Netzwerkstruktur und/oder vergleichsweise kurze Einzeltelegramme werden dadurch erreicht, dass die versendeten Summenrahmen-Teiltelegramme die Routingstruktur unverändert bis zu dem/den adressierten Teilnehmern durchlaufen. In diesem Falle generiert ein Sender (zum Beispiel ein Master bzw. eine Primärstation oder ein Publisher im obigen Sinne) vorzugsweise bereits komplette, für eine Teilroute jeweils vorgesehene Summenrahmen-Teiltelegramme. Da das Netzwerk oder Netzwerksegment aus mehreren Teilrouten besteht (die ihrerseits

wiederum Unter-Teilrouten aufweisen können), werden für dedizierte, einzelne Teilrouten einzelne Summenrahmen-Teiltelegramme generiert. Da diese Summenrahmen-Teiltelegramme für dedizierte, einzelne Teilrouten lediglich die Nutzdaten der Teilnehmer der vorgesehenen, einzelnen Teilrouten enthalten, sind die Telegramme bzw. Datenpakete in der Regel relativ klein. Auch in diesem Fall können Summenrahmen-Teiltelegramme einer vorgesehenen Teilroute über eine oder mehrere andere Routen oder Teilrouten bzw. mehrere oder andere Teilnehmer des Netzwerkes geroutet werden, für die das betreffende Summenrahmen-Teiltelegramm der vorgesehenen Teilroute keine Nutzdaten enthält. Dieses wird lediglich zur Erreichung der vorgesehenen (End-) Teilroute über die oben genannten Routen, Teilrouten oder Teilnehmer des Netzwerkes geroutet. Da des Weiteren die generierten Summenrahmen-Teiltelegramme unverändert die Routingstruktur durchlaufen, wird kein Aufwand erzeugt für die Bearbeitung der Telegramme während des Netzwerk-Durchlaufs. Soll die Optimierung derart erfolgen, dass der Master schon alle notwendigen Telegramme generiert und versendet, ergibt sich eine Telegrammstruktur wie in Fig. 5B dargestellt (siehe dazu weiter unten).

Die Anzahl der etwa in einem Sender zu generierenden Summenrahmen-Teiltelegramme wird verringert und damit die entsprechenden Ressourcen des Senders geschont, wenn die Summenrahmen-Teiltelegramme nach Maßgabe der Teilrouten restrukturiert und die restrukturierten Summenrahmen-Teiltelegramme mit den Nutzdaten zu den darin adressierten Teilnehmern weitergeleitet werden. Dann kann beispielsweise ein Sender Summenrahmen-Teiltelegramme generieren, die bereits die Nutzdaten mehrerer oder sogar aller Teilrouten enthalten – insbesondere der Teilrouten, die einem Netzwerkzweig oder Netzwerksegment entsprechen, in den/das das entsprechende Summenrahmen-Teiltelegramm ausgesendet wird. Somit können – insbesondere an Netzwerkinfrastrukturkomponenten der Routingstruktur – die entsprechenden Summenrahmen-Teiltelegramme nach Nutzdaten der enthaltenen, adressierten Teilnehmer zerlegt und für sich anschließende Teilrouten abgeleitete, weitere Summenrahmen-Teiltelegramme generiert werden. Ebenso können Summenrahmen-Teiltelegramme nach Maßgabe des obigen auch fragmentiert und/oder rekombiniert werden. Die Summenrahmen-

Teiletelegramme werden insbesondere im Store-and-Forward-Verfahren mit den Nutzdaten zu den darin adressierten Teilnehmern weitergeleitet. Dazu besitzen die Netzwerkinfrastrukturkomponenten (oder die anderen Komponenten, die die Restrukturierung vornehmen) eine entsprechende Netzwerkfunktionalität und die Analysemöglichkeit, einen Speicher sowie Rechenkapazität und die erforderlichen Schnittstellen, um die Summenrahmen-Teiletelegramme zu strukturieren und wie oben angegeben zu leiten; die Netzwerkinfrastrukturkomponenten können zu diesem Zweck insbesondere Steuerungen (beispielsweise Mastersteuerungen), Industrie-PCs oder auch einfache Switches sein. Insgesamt werden bei der vorgeschlagenen Ausgestaltung – insbesondere in Infrastrukturkomponenten – Telegramme im Store-and-Forward-Verfahren weitergeleitet. Bei der Weiterleitung werden die Telegramme inhaltlich anders neu zusammengefasst/aufgeteilt, die zu übertragenden Nutzdaten bleiben dabei unverändert.

Die Routingstruktur und/oder die Teilrouten und/oder die dazugehörige Konfiguration der jeweiligen Summenrahmen-Teiletelegramme sind/ist vorzugsweise vorbestimmt oder wird/werden vom Anwender vorgegeben; sie können auch automatisiert über die bekannten Netzwerkmechanismen und entsprechende Funktionalitäten beispielsweise einer Steuerung oder eines Industrie-PCs ermittelt werden. Die Routingstruktur und/oder die Teilrouten mit der Konfiguration der jeweils dazugehörigen Summenrahmen-Teiletelegramme wird/werden an – insbesondere alle – Teilnehmer des Netzwerkes übertragen und dort für das Routing und/oder das Extrahieren und/oder das Einschreiben der Nutzdaten verwendet. Dabei ist in einem – bzw. allen – Teilnehmern insbesondere bekannt, über welche Teilroute oder über welche Kombination von Teilrouten ein anderer Teilnehmer erreicht werden kann; gleichzeitig ist auch der Aufbau der Summenrahmen-Teiletelegramme bekannt, so dass der betreffende Teilnehmer sowohl Nutzdaten mittels des erfindungsgemäßen Mechanismus an andere Teilnehmer deterministisch versenden als auch seine (z.B. an ihn adressierten) Nutzdaten in einem Summenrahmen-Teiletelegramm, dass diese Nutzdaten enthält, deterministisch auffinden, einschreiben oder auslesen kann. Dieser Mechanismus funktioniert auch umgekehrt, so dass generell dem Teilnehmer oder jedem Teilnehmer alle Informationen vorliegen, um seine eigenen Nutzdaten zu

extrahieren und/oder Nutzdaten an beliebige, andere Teilnehmer deterministisch zu adressieren und zu versenden. Insbesondere ist mit der Konfiguration auch die Konfiguration für die enthaltenen Nutzdaten umfasst, die nach adressierten Teilnehmern differenziert sind, so dass die Anordnung der Nutzdaten in einem Summenrahmen-Teiltelegramm insgesamt deterministisch und bekannt ist.

Eine solche bekannte Routingstruktur und/oder solchermaßen bekannte Teilrouten können insbesondere mittels eines Moduls, zum Beispiel mittels eines Konfigurationsmoduls des Netzwerkes (das beispielsweise in einer Steuerung oder einem Industrie-PC enthalten ist) netzwerkweit oder netzwerksegmentweit kommuniziert werden. Ein solches Konfigurationsmodul kann auch eine Doppel- oder Mehrfachfunktion ausüben. So wird ein flexibler Aufbau des Netzwerkes oder von Netzwerkteilen bzw. eine flexible Anwendbarkeit der Erfindung auf unterschiedliche Netzwerktopologien dadurch erleichtert, dass ein Konfigurationsmodul des Netzwerkes anhand der Routingstruktur die Konfiguration der Summenrahmen-Teiltelegramme, insbesondere deren Aufbau und/oder deren Sendezeiten, weiter insbesondere automatisiert, determiniert. Die bekannte oder automatisch ermittelte Routingstruktur gibt dabei die Konfiguration bzw. den Aufbau und/oder Sendezeiten der erforderlichen Summenrahmen-Teiltelegramme vor. Insbesondere wird der Aufbau und/oder werden die Sendezeiten der unterschiedlichen Summenrahmen-Teiltelegramme durch die Vorgabe der Routingstruktur gemeinsam mit dem Routingstruktur-Verfahren (beispielsweise gemäß dem Verfahren nach 5 oder alternativ nach Anspruch 6) bestimmt. Insbesondere werden in Infrastrukturkomponenten (Switches) oder auch in (anderen) Teilnehmern Telegramme mit Daten für mehrere Teilnehmer derart „zerlegt“ bzw. in der Gegenrichtung „zusammengefasst“ und weitergeleitet, dass für die jeweiligen Topologiestränge eine Optimierung der Teiltelegramme in SummationFrames (Summenrahmen) erreicht wird. Die Konfiguration (Telegrammaufbau, Telegrammsendezeiten) der Datentelegramme werden vom Konfigurator (Konfigurationsmodul) an die einzelnen Slaves übertragen. Der Konfigurator kann dabei ein offline arbeitendes Tool sein, oder – wie z.B. bei Sercos sehr speziell möglich – ein online, im Master oder in einem Slave arbeitender Code.

Die Routingstruktur kann für ein- und dieselbe Netzwerkstruktur bzw. Netzwerktopologie unterschiedlich konfiguriert werden. Eine besonders hohe Variabilität wird dadurch gewährleistet, dass die Routingstruktur benutzerseitig vorgegeben wird. Besonders einfach handhabbar und im Extremfall sogar mittels plug & play konfigurierbar wird die Erfindung dadurch, dass zumindest teilweise automatisiert, insbesondere zur Laufzeit, die Struktur ermittelt wird; dafür kann insbesondere eine Teilnehmer-Nachbarschaftserkennung gemäß LLDP (Link Layer Discovery Protocol) zur Anwendung kommen. Dabei handelt es sich um einen in der IEEE-802.1 AB-Norm definiertes, herstellerunabhängiges OSI-Layer-2-Protokoll, das es erlaubt, Informationen zwischen benachbart angeordneten Netzwerkteilnehmern auszutauschen und somit die Struktur und Topologie des Netzwerkes automatisch – beispielsweise bei einer Initialisierung oder automatisierten Inbetriebnahme – zu ermitteln. Bei Nutzung dieses oder eines anderen Protokolls, das es erlaubt, die Netzwerkstruktur automatisiert zu ermitteln, ist es bevorzugt, dass Netzwerkteilnehmer – insbesondere alle Netzwerkteilnehmer – das entsprechende Protokoll unterstützen.

Die Routingstruktur – bzw. das Netzwerk oder ein Netzwerksegment – besteht aus mehreren Teilrouten, die jeweils unterschiedliche Topologien oder Verläufe aufweisen können. Beispielsweise können Teilrouten als Linienabschnitt oder in Sternstruktur vorgesehen sein. Dann kann das Netzwerk flexibel und bedarfsgemäß strukturiert werden und ist trotzdem noch durch die Erfindung für Automatisierungsaufgaben befähigt. Dazu wird vorgeschlagen, dass die Routingstruktur zumindest einen Linienabschnitt mit einem Linienendteilnehmer und/oder einem Linienstartteilnehmer aufweist, bei dem Teilnehmer sequenziell hintereinander angeordnet sind. Dies bedeutet, dass die Teilnehmer eines Linienabschnittes sequenziell miteinander in Linienrichtung kommunizieren. Erfindungsgemäß werden etwa Summenrahmen-Teiltelegramme generiert, die unverändert einen Linienabschnitt durchlaufen. Solche Summenrahmen-Teiltelegramme weisen dann die Nutzdaten z.B. aller Netzwerkteilnehmer, die dem Linienabschnitt angehören, auf.

Des Weiteren kann/können alternativ oder zusätzlich einer oder mehrere Sternabschnitte vorgesehen sein, wobei bei einem Sternabschnitt Sternabzweigungen mit Teilnehmern sternförmig an einen Knoten angebunden sind. Dies kann bedeuten, dass an einen Knoten mehrere Teilnehmer sternförmig angeschlossen sind. Eine Sternabzweigung kann auch einen Linienabschnitt im oben ausgeführten Sinne bilden. Ein Knoten ist dabei insbesondere mittels einer Netzwerk-Infrastrukturkomponente und/oder mittels eines Publishers nach dem Publish-/Subscribe-Kommunikationsmodell und/oder mittels eines Masters einer Master-/Slave-Feldbusarchitektur und/oder mittels eines Servers von etablierten Client-Server-Verbindungen realisiert. Die Routingstruktur kann eine Kombination von einem oder mehreren Linienabschnitten und einem oder mehreren Sternabzweigungen aufweisen. Dadurch wird insgesamt eine hohe Strukturflexibilität der Netzwerktopologie erfindungsgemäß realisiert.

Wenn Summenrahmen-Teiletelegramme, die einen Linienabschnitt durchlaufen, unverändert durch jeden Linienteilnehmer geroutet werden, hat das den Vorteil, dass die Netzwerkkommunikation schneller vonstattengeht. Wenn alternativ oder zusätzlich Summenrahmen-Teiletelegramme an Knoten geroutet werden, werden diese entweder unverändert zu einer Sternabzweigung geroutet oder (insbesondere gemäß Anspruch 6) restrukturiert und dann zu einer Sternabzweigung geroutet. Beispielsweise können in einer einfachen Konfiguration von einem Knoten zwei Sternabzweigungen ausgehen, die beide in einen Linienabschnitt münden. Dann kann das Summenrahmen-Teiletelegramm, welches von diesen Knoten aus weiter geroutet wird, an dem Knoten zerlegt werden in ein Summenrahmen-Teiletelegramm mit allen Nutzdaten des einen Linienabschnittes und ein anderes mit allen Nutzdaten des anderen Linienabschnittes.

Einige oder alle der eingangs genannten Aufgaben werden – zumindest teilweise – durch eine Telegramm-Datenstruktur eines Netzwerkes gelöst, mittels derer Nutzdaten zwischen Teilnehmern des Netzwerkes entlang einer vorkonfigurierbaren, der Telegramm-Datenstruktur zugeordneten Route zu kommunizieren sind. Die Kommunikation findet insbesondere gemäß einem Verfahren nach einem der

Ansprüche 1-11 statt. Das Netzwerk weist dabei mehrere Komponenten eines mechatronischen Systems auf, insbesondere Steuerungen und/oder Antriebe eines industriellen Automatisierungssystems. Die Telegramm-Datenstruktur hat einen konfigurierbaren Nutzdatenabschnitt (entsprechend einem Zeitschlitz der vorgesehenen Telegrammstruktur), der Nutzdaten lediglich von Teilnehmern der zugeordneten Route enthält. Die Telegramm-Datenstruktur ist dabei insbesondere für ein industrielles Automatisierungssystem vorgesehen, wobei die Nutzdaten Steuerungsdaten und/oder Antriebsdaten sein können, etwa Sensor-Istwerte oder Antriebs-Sollwerte, die von einer Steuerung in Echtzeit generiert und kommuniziert werden.

Die eingangs genannten Aufgaben werden zumindest teilweise gelöst durch ein mechatronisches System, insbesondere ein industrielles Automatisierungssystem mit Steuerungen und Antriebsreglern, innerhalb dessen Nutzdaten, die sich auf das elektronische System beziehen und insbesondere von Komponenten des mechatronischen Systems stammen, mittels eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1-11, insbesondere unter Verwendung einer Telegramm-Datenstruktur nach Anspruch 12, kommuniziert werden. Ein solches, mechatronisches System ist beispielsweise ein Verbund aus Antrieben und Steuerungen, die über einen erfindungsgemäßen Mechanismus – vorzugsweise in Echtzeit – kommunizieren. Ein solches, mechatronisches System kann ein Steuerungs- und Antriebssystem einer Maschine, wie zum Beispiel einer Druckmaschine, einer Verpackungsmaschine oder einer Werkzeugmaschine oder eines Werkzeugmaschinenverbundes sein.

Des Weiteren werden die eingangs genannten Aufgaben zumindest teilweise durch eine Maschinensteuerung eines mechatronischen Systems, insbesondere eines industriellen Automatisierungssystems mit Steuerungen und Antriebsreglern, gelöst, die ein Kommunikationsverfahren nach einem der Ansprüche 1-11 – insbesondere unter Verwendung einer Telegramm-Datenstruktur nach Anspruch 12 – ausführt. Dabei sieht die Maschinensteuerung insbesondere eine Konfiguration oder zumindest teilweise automatisierte Ermittlung der Routingstruktur vor und/oder erhält eine solche Konfiguration oder Teilkonfiguration aus dem Netzwerk und/oder

kommuniziert oder verteilt eine solche Konfiguration in dem Netzwerk. Dadurch wird einerseits eine deterministische Kommunikation mittels erfindungsgemäß aufgebauter Summenrahmen-Teiltelegramme ermöglicht und andererseits die Aktualisierung und Verteilung der Konfiguration vereinfacht.

Schließlich betrifft die Erfindung ein Computerprogrammprodukt für eine Rechneinrichtung, insbesondere für eine Maschinensteuerung, insbesondere nach Anspruch 14, welches bei Ausführung auf einer Rechneinrichtung ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1-11, insbesondere unter Verwendung einer Telegramm-Datenstruktur nach Anspruch 12 ausführt.

Die Erfindung wird anhand von Ausführungsbeispielen und Zeichnungen grob schematisch erläutert. In den Zeichnungen sind gleiche oder funktionsgleiche Merkmale mit denselben Bezugszeichen versehen, sofern nichts anderes in der Beschreibung angegeben ist. Die in einer Figur gezeigten, technischen Ausgestaltungsmerkmale sind auf jede Variante der Erfindung anwendbar, und zwar auch unabhängig von anderen, in dieser Figur etwa enthaltenen und/oder beschriebenen Merkmalen, sofern zu dieser Figur bzw. diesem Ausgestaltungsmerkmal nichts anderes explizit ausgeführt ist. Es zeigen:

Figur 1A ein mechatronisches System mit einer Steuerung und drei mittels Antriebsreglern angetriebenen Achsen,

Figur 1B ein mechatronisches System in einer grob schematischen Darstellung mit fünf Netzwerkteilnehmern und einer Sternstruktur sowie grob schematisch vereinfacht dargestellte Netzwerktelegramme,

Figur 2A ein weiteres, grob schematisch dargestelltes, mechatronisches System mit lediglich einem Linienabschnitt und dem dazugehörigen Telegramm bzw. der dazugehörigen, schematisch dargestellten Telegrammstruktur mit entsprechendem Routingpunkt,

Figur 2B ein mechatronisches System mit einer Kombination eines Sternabschnittes mit einem Knoten und mehreren Linienabschnitten, wobei die Routingpunkte mit den entsprechend aufgebauten Summenrahmen-Teiltelegrammen angegeben sind,

Figur 3 ein komplexes, mechatronisches System mit einer Kombination mehrerer Sternabschnitte und mehrerer Linienabschnitte in einer Block-Übersichtsdarstellung, Figur 4 ein mechatronisches System mit mehreren Sternabschnitten und Linienabschnitten, wobei die Netzwerkteilnehmer als Industrieautomatisierungs-Steuerungen, -Antriebe und Switches dargestellt sind, Figur 5A eine Darstellung des mechatronischen Systems entsprechend Figur 3 mit Routingpunkten an den entsprechenden Abzweigungsstellen und einer Hervorhebung von erfindungsgemäß vorhandenen Teilrouten, Figur 5B die Routingpunkte aus Figur 5A mit Angabe der jeweils dazugehörigen Telegrammstruktur, wobei die gerouteten Summenrahmen-Teiltelegramme unverändert die Routingstruktur durchlaufen, Figur 5C die Routingpunkte aus Figur 5A mit Angabe der jeweils dazugehörigen Telegrammstruktur der Summenrahmen-Teiltelegramme, wobei diese restrukturiert werden, Figur 6 eine Telegramm-Datenstruktur, angelehnt an einen Ethernet-Telegrammaufbau gemäß IEEE 802.1 bzw. gemäß dem OSI-Modell aufgebaut.

Bezugnehmend auf Figur 1A ist ein mechatronisches System 10 schematisch dargestellt, welches als Teilnehmer eine Steuerung 100, physikalische Kommunikationsverbindungen 102, beispielsweise Ethernet-Netzwerkkabel, sowie drei Antriebsregler 11,12,13 aufweist, die zu einem Netzwerk 101 verbunden sind. Im Folgenden wird der abstrakte Begriff „Teilnehmer“ austauschbar mit den jeweils den Teilnehmer repräsentierenden Komponenten, wie etwa einer Steuerung, einem Industrie-PC, einem Antriebsregler oder einem Netzwerkswitch, verwendet. Die Steuerung 100 hat eine integrierte Logiksteuerung 119 (beispielsweise eine speicherprogrammierbare Steuerung SPS), eine integrierte Bahnsteuerung 120 (beispielsweise eine Werkzeugmaschinensteuerung CNC, Computer Numeric Control), integrierte Massenspeicher 118, zum Beispiel eine Festplatte, eine SSD und/oder einen Anschluss für ein mobiles Speichergerät, wie etwa einen USB-Stick. Des Weiteren weist die Steuerung 101 ein Display 121 auf, welches ein Touchscreen sein kann.

Die Steuerung 100 kann in dem gezeigten Ausführungsbeispiel als Kopfsteuerung oder Master (Primärgerät) eines Automatisierungsverbundes ausgebildet sein, die/der zur Automatisierung bzw. zum Betrieb einer industriellen Anwendung, wie beispielsweise einer Werkzeugmaschine, dienen kann. Zum Antrieb der Achsen sind jeweils die Antriebsregler 11,12,13 (Slaves oder Sekundärgeräte) vorhanden, wobei der Antriebsregler 13 noch eine integrierte Steuerung aufweisen kann, die durch ein in den Antriebsregler 13 integriertes Rechteck symbolisiert ist. Die Antriebsregler 11,12,13 beaufschlagen jeweils über eine Drei-Phasen-Leitung einen zugehörigen Elektromotor 117,122. Dabei ist der Elektromotor 117 als Servomotor 117 ausgebildet, der über ein Feedback 116 eine Drehzahl oder eine Winkelstellung oder generell seine Rotorlage jeweils als Istwert an den Antriebsregler 11 zurückmeldet.

Figur 1B zeigt eine etwas abstrahierte Version einer leichten Abwandlung des mechatronischen Systems 10 der Figur 1A in Blockdarstellung, mit einer Steuerung 100, drei Antriebsreglern 11,12,13 (wobei die Achsen bzw. Elektromotoren in der Blockdarstellung der besseren Übersichtlichkeit halber weggelassen sind) und zusätzlich einen über die Kommunikationsverbindung 102 mit der Steuerung 100 und allen drei Antriebsreglern 11,12,13 verbundenen Netzwerkschitch 90 als Netzwerk-Infrastrukturkomponente. Der Netzwerkschitch 90 repräsentiert dabei einen Sternpunkt dieses relativ einfach aufgebauten mechatronischen Systems 10. Der Übersichtlichkeit halber sind jeweils an den Abzweigungsstellen die Abzweigungspunkte 1,2,3 und unterhalb der Darstellung des mechatronischen Systems 10 die an den Abzweigungspunkten 1,2,3 gerouteten Telegramme 1,2,3 mit ihren Nutzdaten D11,D12,D13 dargestellt. Die Nutzdaten D11,D12,D13 werden erfindungsgemäß mittels Telegrammen entlang der Abzweigungspunkte 1,2,3 kommuniziert bzw. geroutet. In diesem Ausführungsbeispiel enthält jedes Telegramm lediglich die Nutzdaten D11,D12,D13 betreffend einen Teilnehmer 11,12,13. In der Figur 1B sind zu den Telegrammen 1,2,3 lediglich der Einfachheit halber die Nutzdaten D11,D12,D13 dargestellt, die allerdings in einem Netzwerktelegramm an einem explizit für diese Nutzdaten D11,D12,D13 vorgesehenen Zeitschlitz-Abschnitt in das jeweilige Netzwerktelegramm eingefügt sind.

Figur 2A zeigt ein weiteres, schematisch dargestelltes, mechatronisches System 10 mit lediglich einem Linienabschnitt. An die Steuerung 100 schließen sich entlang der Linienrichtung drei Teilnehmer 11,12,13 an, die das Netzwerk 101 bilden und dazu – wie in den anderen Ausführungsbeispielen auch – über Kommunikationsverbindungen 102 miteinander verbunden sind. Die Steuerung 100 generiert Summenrahmen-Telegramme 1, die an dem Abzweigungspunkt, an den sich die Linienstruktur anschließt, den Aufbau wie in der Figur 2A unten gezeigt haben. Dabei weist der Nutzdatenabschnitt eines Summenrahmen-Telegramms oder eines Summenrahmen-Teiletelegramms 1 zusammengefasst die Nutzdaten D11,D12,D13 auf.

Figur 2B zeigt ein mechatronisches System 10 mit einer Kombination eines Sternabschnittes, der durch einen Knoten 90 in Form eines Netzwerkschwitches gebildet wird, und dreier Linienabschnitte, die mehrere Teilnehmer über den Knoten 90 mit der Steuerung 100 verbinden. Im Einzelnen ist die Steuerung 100 (die auch als 4. Linienabschnitt angesehen werden kann mit lediglich einem Teilnehmer, nämlich der Steuerung 100) direkt mit dem Switch 90 verbunden, über den weitere drei Teilnehmer 11,21,31 angeschlossen sind, die jeweils einen Linienabschnitt R1,R2,R3 der Netzwerkstruktur bilden. Gleichzeitig kann der Teilnehmer 21 auch als Knoten angesehen werden, der den Knoten 90 und die Teilnehmer 11,22,31 nach Art eines Sternabschnitts verbindet.

Aus der Figur 2B ist ersichtlich, dass an den Abzweigungspunkten 1,2,3 Summenrahmen-Teiletelegramme 1,2,3 über die Netzwerkstruktur geroutet werden, wobei die Summenrahmen-Teiletelegramme 1,2,3 jeweils die Nutzdaten D11,D12,D13,D14;D21,D22,D23;D31 mehrerer Teilnehmer 11,12,13,14;21,22,23;31 zusammenfassen. Es ist eine dementsprechende Routingstruktur dargestellt, über die die gezeigten Telegramme 1,2,3 geroutet werden. Die Routingstruktur ist konfigurierbar und im gezeigten Ausführungsbeispiel derart strukturiert, dass sie drei lineare Teilrouten R1,R2,R3 enthält. Jede der Teilrouten R1,R2,R3 deckt lediglich einen Teil der Teilnehmer 11,12,13,14;21,22,23;31 ab. Im Einzelnen deckt das Summenrahmen-Teiletelegramm 1 die Nutzdaten D11,D12,D13,D14 der

entsprechenden Teilnehmer 11,12,13,14 der Teilroute R1 ab; das Summenrahmen-Teiltelegramm 2 deckt die Nutzdaten D21,D22,D23 der Teilnehmer 21,22,23 der Teilroute R2 ab und das Summenrahmen-Teiltelegramm 3 deckt lediglich die Nutzdaten D31 des Teilnehmers 31 der Teilroute R3 ab. Im gezeigten Ausführungsbeispiel wird dazu das Summenrahmen-Teiltelegramm 1 über die Teilroute R1 geroutet, das Summenrahmen-Teiltelegramm 2 über die Teilroute R2 und das Summenrahmen-Teiltelegramm 3 über die Teilroute R3. Dazu sind die entsprechenden Teiltelegramme als Summenrahmen-Teiltelegramme 1,2,3 mittels der Steuerung 100 aufgebaut und enthalten lediglich die Nutzdaten der Teilnehmer der jeweiligen Teilroute. Die Teilnehmer 11,12,13,14;21,22,23;31 der jeweiligen Teilroute R1,R2,R3 können aus dem jeweiligen Summenrahmen-Teiltelegramm 1,2,3 jeweils ihre Nutzdaten D11,D12,D13,D14;D21,D22,D23;D31 extrahieren und/oder in das Summenrahmen-Teiltelegramm 1,2,3 ihre Nutzdaten D11,D12,D13,D14;D21,D22,D23;D31 einschreiben.

Die Routingstruktur für das Ausführungsbeispiel der Figur 2B weist damit mehrere Teilrouten R1,R2,R3 auf. Diese Teilrouten R1,R2,R3 decken praktisch das gesamte Netzwerk 101 – entsprechend dem gesamten mechatronischen System 10 – ab. Nicht gezeigt, aber von der Erfindung umfasst sein kann dabei auch, dass die Steuerung 100 jeweils Teil der Teilrouten R1,R2,R3 ist oder Teil einer oder mehrerer der Teilrouten R1,R2,R3. Ebenfalls nicht gezeigt ist, dass die Nutzdaten D11,D12,D13,D14;D21,D22,D23;D31 auch Nutzdaten der Steuerung 100 umfassen können, die nicht explizit angegeben sind; bei diesen Nutzdaten kann es sich um jegliche Daten der Steuerung 100, wie beispielsweise Sollwerte, Istwerte oder Sensordaten handeln, die an einen oder mehrere Teilnehmer 11,12,13,14;21,22,23;31 kommuniziert werden. Auch kann es sich bei den Nutzdaten der Steuerung 100 und/oder generell bei den Nutzdaten D11,D12,D13,D14;D21,D22,D23;D31 der Teilnehmer um Rückkanal-Daten handeln, die in die Rückrichtung kommuniziert werden, wie beispielsweise Istwerte von Teilnehmern, die für eine Steuerung und/oder Regelung und/oder Vorsteuerung der Teilnehmer 11,12,13,14;21,22,23;31 verwendet werden können. Insgesamt können die gezeigten Summenrahmen-Teiltelegramme 1,2,3, die sich auf die jeweils

zugehörige Teilroute R1,R2,R3 beziehen, zusammengenommen die Nutzdaten D11,D12,D13,D14;D21,D22,D23;D31 aller Teilnehmer 11,12,13,14;21,22,23;31 des gesamten Netzwerkes 101 bzw. des gesamten mechatronischen Systems 10 abbilden.

In dem gezeigten Ausführungsbeispiel fungiert etwa die Steuerung 100 als Telegrammsender und kann z.B. ein Publisher nach dem Publish-/Subscribe-Kommunikationsmodell oder ein Master einer Master-/Slave-Feldbusarchitektur sein. Die Steuerung 100 generiert dabei Summenrahmen-Teiletelegramme 1,2,3 und versendet sie über die jeweils zugehörigen Teilrouten R1,R2,R3 an die adressierten Teilnehmer 11,12,13,14;21,22,23;31. Die Summenrahmen-Teiletelegramme 1,2,3 durchlaufen die Routingstruktur unverändert bis zu den jeweils adressierten Teilnehmern 11,12,13,14;21,22,23;31. Umgekehrt ist es auch denkbar, dass die Steuerung 100 als Telegrammsender ein Telegramm für alle Teilnehmer 11,12,13,14;21,22,23;31 mit allen Nutzdaten D11,D12,D13,D14;D21,D22,D23;D31 generiert, über den Netzwerkanschluss an den Switch 90 kommuniziert und dort das Telegramm in die Summenrahmen-Teiletelegramme 1,2,3 – wie gezeigt und wie oben ausgeführt – restrukturiert, zerlegt oder fragmentiert. Erfindungsgemäß werden die Summenrahmen-Teiletelegramme nach Maßgabe der Teilrouten R1,R2,R3 aufgebaut. Insbesondere wird im gezeigten Ausführungsbeispiel ein Telegramm (dies kann formal auch als Summenrahmen-Teiletelegramm gesehen werden, welches allerdings alle Nutzdaten D11,D12,D13,D14;D21,D22,D23;D31 aller Teilnehmer 11,12,13,14;21,22,23;31 aufweist) ausgesendet und nach Maßgabe der Teilrouten R1,R2,R3 restrukturiert und die restrukturierten Summenrahmen-Teiletelegramme 1,2,3 mit den jeweiligen Nutzdaten D11,D12,D13,D14;D21,D22,D23;D31 zu den darin jeweils adressierten Teilnehmern 11,12,13,14;21,22,23;31 weitergeleitet.

Die gezeigte Routingstruktur weist zumindest drei Linienabschnitte R1,R2,R3 auf, deren Teilnehmer sequenziell hintereinander angeordnet sind, wobei der Linienabschnitt R1 einen Linienstartteilnehmer 11 und einen Linienendteilnehmer 14 aufweist, der Linienabschnitt R2 einen Linienstartteilnehmer 21 und einen Linienendteilnehmer 23, und der Linienabschnitt R3 lediglich aus einem Teilnehmer

31 (dieser bildet dann gleichzeitig Linienendteilnehmer 31 und Linienstartteilnehmer 31) besteht. Die den jeweiligen Routen R1,R2,R3 zugeordneten Summenrahmen-Teiltelegramme 1,2, 3 durchlaufen den jeweiligen Linienabschnitt R1,R2,R3 unverändert und werden ebenso unverändert durch jeden Linienteilnehmer 11,12,13,14;21,22,23;31 geroutet.

Die Figur 3 zeigt eine abstrahierte, schematische Darstellung eines mechatronischen Systems 10 in Blockdarstellung, welches eine komplexe Netzwerktopologie mit mehreren Sternabschnitten und mehreren Linienabschnitten aufweist. Die Sternabschnitte werden durch zwei Switches 90,91 gebildet. Es gibt hier – wie immer bei einer komplexen Netzwerktopologie – mehrere bis eine Vielzahl von Möglichkeiten, die Routingstruktur in Teilrouten aufzuteilen. Zunächst einmal weist das mechatronische System über die bereits genannten Komponenten hinaus die weiteren Teilnehmer 11,12,13,14;21;31,32,33;41;51;61;71,72;81,82 auf. Geht man davon aus, dass die Steuerung 100 der Sender von eventuellen Telegrammen bzw. Summenrahmen-Teiltelegrammen ist, so ist – um das gesamte Netzwerk 101 abzudecken – jeweils ein Summenrahmen-Teiltelegramm in Richtung jedes direkt angrenzenden Teilnehmers 11,21 zu senden. Hierauf wird weiter unten noch näher eingegangen. Die Steuerung 100 kann einen Knoten bilden, der einen Sternabschnitt mit den beiden Sternabzweigungen in Richtung des Teilnehmers 11 und des Teilnehmers 21 und ggf. weiterer, hier nicht gezeigter Teilnehmer, darstellt, wenn sie z.B. – wie bei jedem anderen Teilnehmer auch möglich – eine entsprechende Netzwerk-Infrastrukturkomponente, wie z.B. einen Netzwerkschicht, integriert hat.

Bezugnehmend auf Figur 5A sendet die Steuerung 100 ihre generierten Summenrahmen-Teiltelegramme 1,2,3,4,5,6,7,8 über die dazugehörigen Abzweigungspunkte 1,2,3,4,5,6,7,8, je nach der gewählten Methode, nach der Summenrahmen-Teiltelegramme 1,2,3,4,5,6,7,8 generiert werden. Hierauf wird weiter unten noch näher eingegangen. In diesem Text werden die Bezugszeichen 1,2,3,4,5,6,7,8 und 1',2',3',4',5',6',7',8' austauschbar für Telegramme und Abzweigungspunkte verwendet, wobei sich der Bezug aus dem jeweiligen Zusammenhang ergibt. Im Zweifel sind sowohl Abzweigungspunkte als auch

Summenrahmen-Teiltelegramme bzw. Telegramme davon umfasst. Es ist jedoch zu beachten, dass sich abhängig von dem Kommunikationsmodell (insbesondere nach der Ausgestaltung des Verfahrens gemäß Anspruch 5 oder Anspruch 6) an ein- und demselben Abzweigungspunkt eine andere Konfiguration von Summenrahmen-Teiltelegrammen ergeben kann.

Die Erfindung verwendet in der Ausgestaltung der Figur 5A eine konfigurierbare Routingstruktur, über die die Telegramme 1,2,3,4,5,6,7,8 geroutet werden. Die konfigurierbare Routingstruktur ist flexibel und enthält in der gezeigten Ausführungsform die acht Teilrouten R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8. Diese 8 Teilrouten R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8 decken das gesamte Netzwerk 101 ab, in dem Sinne, dass jeder Teilnehmer 11,12,13,14;21;31,32,33;41;51;61;71,72;81,82, gegebenenfalls inklusive dem Teilnehmer 100, ein Teilnehmer zumindest einer der acht Teilrouten R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8 ist. Im Einzelnen deckt die Teilroute R1 einen Linienabschnitt ab, der als Linienstartteilnehmer den Teilnehmer 11, als Linienendteilnehmer den Teilnehmer 14 und dazwischen die beiden Teilnehmer 12,13 umfasst. Generell sind selbstverständlich auch geschlossene, vor allem Ringtopologien, von der Erfindung umfasst; eine solche geschlossene Ringtopologie würde sich im gezeigten Ausführungsbeispiel ergeben, wenn der Linienendteilnehmer 14 eine direkte Netzwerkverbindung zu der Steuerung 100 hätte. Solche Ausführungsbeispiele sind generell mit umfasst. Die Teilroute R2 besteht aus dem Teilnehmer 21, die Teilroute R3 aus einem Linienabschnitt mit den Teilnehmern 31,32,33, die Teilroute R4 besteht aus lediglich dem Teilnehmer 41, die Teilroute R5 aus dem Teilnehmer 51 (der allerdings noch mit dem Teilnehmer 41 zusätzlich über eine physikalische Netzwerkverbindung verbunden gezeigt ist und mit diesem Teilnehmer auch direkt kommunizieren kann). Die Teilroute R6 weist lediglich den Teilnehmer 61, die Teilroute R7 einen Linienabschnitt aus den beiden Teilnehmern 71,72 und schließlich die Teilroute R8 weiterhin einen Linienabschnitt aus den beiden Teilnehmern 81,82 auf.

Die folgende Beschreibung erfolgt unter gleichzeitiger Bezugnahme auf die Figuren 5A und 5B; Figur 5B zeigt den Aufbau der den jeweiligen Teilrouten

R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8 zugeordneten Summenrahmen-Teiltelegramme 1,2,3,4,5,6,7,8 unter der Annahme, dass die jeweiligen Summenrahmen-Teiltelegramme 1,2,3,4,5,6,7,8 innerhalb des Netzwerkes 101 unverändert geroutet bzw. durch die Teilnehmer weitergeleitet werden. Dann sendet die Steuerung 100 als Telegrammsender über den Abzweigungspunkt 1 das Summenrahmen-Teiltelegramm 1, welches (siehe Figur 5B) die Nutzdaten D11,D12,D13,D14 der Teilnehmer 11,12,13,14 enthält. Dieses Summenrahmen-Teiltelegramm 1 ist nach Maßgabe der Teilroute R1 aufgebaut und enthält lediglich die oben genannten Nutzdaten D11,D12,D13,D14. Es wird damit über die Teilroute R1 geroutet und die Teilnehmer 100,11,12,13,14 der Teilroute R1 können aus diesem Summenrahmen-Teiltelegramm 1 jeweils ihre Nutzdaten D11,D12,D13,D14 extrahieren und/oder in das Summenrahmen-Teiltelegramm 1 ihre Nutzdaten D11,D12,D13,D14 einschreiben. Bei dem Kommunikationsmodell, auf das sich Figur 5B bezieht, sendet die Steuerung 100 über den Abzweigungspunkt 2 und somit über den Teilnehmer 21 die Summenrahmen-Teiltelegramme 2,3,4,5,6,7,8. Das Summenrahmen-Teiltelegramm 2 weist dabei lediglich die Nutzdaten D21 des Teilnehmers 21 auf. Das Summenrahmen-Teiltelegramm 3 weist lediglich die Nutzdaten D31,D32,D33 der Teilnehmer 31,32,33, das Summenrahmen-Teiltelegramm 4 lediglich die Nutzdaten D41 des Teilnehmers 41, das Summenrahmen-Teiltelegramm 5 lediglich die Nutzdaten D51 des Teilnehmers 51, das Summenrahmen-Teiltelegramm 6 lediglich die Nutzdaten D61 des Teilnehmers 61, das Summenrahmen-Teiltelegramm 7 lediglich die Nutzdaten D71,D72 der Teilnehmer 71,72 und schließlich das Summenrahmen-Teiltelegramm 8 lediglich die Nutzdaten D81,D82 der Teilnehmer 81,82 auf.

Die genannten Summenrahmen-Teiltelegramme 1,2,3,4,5,6,7,8 werden wie folgt geroutet (im Folgenden wird anstelle von Summenrahmen-Teiltelegramm hier vorübergehend lediglich der Begriff Teiltelegramm verwendet): das Teiltelegramm 1 direkt von der Steuerung 100 über den Teilnehmer 11 zu der Bestimmungs-Route R1, Teiltelegramm 2 direkt von der Steuerung 100 über den Teilnehmer 21 zu der Bestimmungs-Route R2, Teiltelegramm 3 über die Teilroute R2 und den Netzwerkswitch 90 zu der Bestimmungs-Teilroute R3, Teiltelegramm 4 über die

Teilroute R2 und den Netzwerkschicht 90 zu der Bestimmungs-Teilroute R4, Teiltelegramm 5 über Teilroute R2 und den Netzwerkschicht 90 zu der Bestimmungs-Teilroute R5, Teiltelegramm 6 über die Teilroute R2, den Netzwerkschicht 90, die Teilroute R4 und den Netzwerkschicht 91 zu der Bestimmungs-Teilroute R6 mit dem lediglich einen Teilnehmer 61, Teiltelegramm 7 über Teilroute R2, den Netzwerkschicht 90, Teilroute R4 und den Netzwerkschicht 91 zu der Bestimmungs-Teilroute R7 und schließlich das Teiltelegramm 8 über die Teilroute R2, den Netzwerkschicht 90, die Teilroute R4 und den Netzwerkschicht 91 zu der Bestimmungs-Teilroute R8.

Die folgende Beschreibung erfolgt unter gleichzeitiger Bezugnahme auf die Figuren 5A und 5C, und zwar unter der Annahme, dass Summenrahmen-Teiltelegramme 1' bis 8' an den Netzwerkinfrastrukturkomponenten 90,91 der Routingstruktur restrukturiert werden (insbesondere gemäß Anspruch 6). Die Steuerung 100 bzw. der Telegrammsender baut das Summenrahmen-Teiltelegramm 1' anhand der Bestimmungs-Teilroute R1 mit den Nutzdaten D11,D12,D13,D14 der Teilnehmer 11,12,13,14 auf und sendet es über den Anschluss zum Linienstartteilnehmer 11 des Linienabschnittes der Teilroute R1 zu der Bestimmungs-Teilroute R1 (in Figur 5A sind die Abzweigungspunkte 1,2,3,4,5,6,7,8 der einfacheren Lesbarkeit halber ohne „ – Strich – dargestellt, im Folgenden beziehen sich daher die Summenrahmen-Teiltelegramme/Abzweigungspunkte 1',2',3',4',5',6',7',8' auf die dort dargestellten Summenrahmen-Teiltelegramme/Abzweigungspunkte 1,2,3,4,5,6,7,8, soweit im Folgenden nichts anderes gesagt ist und sich aus dem Zusammenhang nichts anderes ergibt). Da die Teilroute R1 keine Knotenpunkte und sonstigen Verzweigungen außer ihrer linearen Struktur aufweist, wird das zugehörige Summenrahmen-Teiltelegramm 1' nicht weiter fragmentiert.

Das Summenrahmen-Teiltelegramm 2' weist in dem vorliegenden Kommunikationsmodus Nutzdaten

D21;D31,D32,D33;D41;D51;D61;D71,D72;D81,D82 aller Teilnehmer 21;31,32,33;41;51;61;71,72;81,82 des rechten Netzwerksegmentes der Figur 5A auf und wird entsprechend den Abzweigungen bzw. Knotenpunkten 90,91 wie im

folgenden beschrieben restrukturiert. Dadurch muss die Steuerung 100 im gezeigten Ausführungsbeispiel in das rechtsliegende Netzwerksegment der Figur 5A für jeden Zyklus lediglich ein einziges Summenrahmen-Teiltelegramm 2' mit den Nutzdaten D21;D31,D32,D33;D41;D51;D61;D71,D72;D81,D82 der Teilnehmer 21;31,32,33; 41;51;61;71,72;81,82 aussenden. Dieses Summenrahmen-Teiltelegramm 2' wird über den Teilnehmer 21 und die Teilroute R2 zunächst zu dem Netzwerkschicht 90 geroutet; dabei entnimmt oder schreibt der Teilnehmer 21 seine Nutzdaten D21 ein. In dem Netzwerkschicht 90 wird aus dem Summenrahmen-Teiltelegramm 2' das Summenrahmen-Teiltelegramm 3' gebildet, welches über den Teilnehmer 31 zu der Teilroute R3 geroutet wird; dieses Summenrahmen-Teiltelegramm 3' weist lediglich die Nutzdaten D31,D32,D33 auf, und ist durch Zerlegung aus dem Summenrahmen-Teiltelegramm 2' gebildet. In dem Netzwerkschicht 90 können dann entweder die Summenrahmen-Teiltelegramme 4',5',6',7',8' direkt gebildet werden oder lediglich das Summenrahmen-Teiltelegramm 5' für den direkt an den Netzwerkschicht 90 angeschlossenen Teilnehmer 51 und ein separates, summarisches Summenrahmen-Teiltelegramm 4' gebildet werden, welches dann summarisch die Nutzdaten D41;D61;D71,D72;D81,D82 aufweisen kann für die Teilnehmer 41;61;71,72;81,82, welches dann zu den entsprechenden Summenrahmen-Teiltelegrammen 6',7',8' in dem Netzwerkschicht 91 weiter zerlegt werden kann. Generell können die Summenrahmen-Teiltelegramme mit den Nutzdaten für die Teilnehmer nach einer Infrastrukturkomponente, wie etwa einem Netzwerkschicht, an dieser Infrastrukturkomponente strukturiert und erzeugt werden. Das Summenrahmen-Teiltelegramm 4' enthält gemäß dem Ausführungsbeispiel der Figur 5A in Verbindung mit Figur 5C die Nutzdaten D41;D61;D71,D72;D81,D82. Der Teilnehmer 41 der Teilroute R4 entnimmt/schreibt seine Nutzdaten D41 ein. Danach läuft das oben genannte, summarische Summenrahmen-Teiltelegramm 4' durch den Netzwerkschicht 91; dort wird es weiter restrukturiert/zerlegt, und zwar in die einzelnen Summenrahmen-Teiltelegramme 6',7',8' für die endgültigen Bestimmungs-Teilnehmer 61;71,72;81,82, nach denen keine weiteren Netzwerksegmente oder Netzwerk-Infrastrukturkomponenten sich mehr anschließen. Das Summenrahmen-Teiltelegramm 6' enthält die Nutzdaten D61 für den bestimmungsgemäßen Endteilnehmer 61 der Teilroute R6; das Summenrahmen-Teiltelegramm 7' enthält die

Nutzdaten D71,D72 für die bestimmungsgemäßen Linienabschnitt-Teilnehmer 71,72 der Teilroute R7. Schließlich enthält das Summenrahmen-Teiltelegramm 8' die Nutzdaten D81,D82 für die adressierten Linienabschnitt-Teilnehmer 81,82 der Teilroute R8. Auf diese Weise werden mittels der zweiten, erfindungsgemäß vorgeschlagenen Routingmethode alle Nutzdaten D11,D12,D13,D14;D21;D31,D32,D33;D41; D51;D61;D71,D72;D81,D82 effizient und deterministisch zu den adressierten Teilnehmern 11,12,13,14;21;31,32,33;41;51;61;71,72;81,82 geroutet.

Figur 4 zeigt ein etwas komplexeres, mechatronisches System mit mehreren Sternabschnitten und Linienabschnitten, wobei die Netzwerkteilnehmer als Industrieautomatisierungssteuerungen,- Antriebe und (teilweise integrierte) Switches dargestellt sind. Die Steuerung 100 kann beispielsweise eine Kopfsteuerung sein, die gleichzeitig als Switch fungiert und den Netzwerkteilnehmer 11 und den Netzwerkswitch 90 über die Kommunikationsverbindung 102 verbindet. Der Netzwerkteilnehmer 11 ist als erfindungsgemäße Steuerung ausgebildet, die direkt einen Antrieb 41 mit integrierter Steuerungskomponente und einem angeschlossenen Servomotor 117 mit Feedback 116 beaufschlagt. Die Steuerung 11 kann einen integrierten Netzwerkswitch (nicht gezeigt) aufweisen und die Steuerung 12 mittels dieses Netzwerkswitches ebenfalls in das Netzwerk 101 integrieren. Die Steuerung 12 beaufschlagt insgesamt vier Antriebsregler 61;81,82,83, die jeweils einen Elektromotor/Servomotor antreiben. Als besonders flexible Konfigurationsmöglichkeit, die von der Erfindung ohne weiteres umfasst ist, ist gezeigt, dass an die Steuerung 12 direkt der Antriebsregler 61 und der Antriebsregler 81 angeschlossen sind. Der Antriebsregler 81 fungiert als Steuerung und beaufschlagt dann mit dem weitergeleiteten, für ihn bestimmten Summenrahmen-Teiltelegramm (in der Figur 4 nicht explizit gezeigt) die weiteren, kaskadierten Antriebe 82,83. Auf der anderen Netzwerkseite sind über den Netzwerkswitch 90 eine Steuerung 21 mit drei angeschlossenen Antriebsreglern 31,32,33 mit jeweils angesteuertem Elektromotor und auf der anderen Seite ein direkt an den Netzwerkswitch 90 angeschlossener Antriebsregler 51 mit integrierter Steuerung und daran angeschlossenen Elektromotor vorhanden. Alle hierin ausgeführten

Ausführungsbeispiele und Funktionsweisen sowie Verfahren und Verfahrensbestandteile sind auf dieses industrielle Automatisierungssystem 10 voll anwendbar und übertragbar. Insbesondere betreffen die Nutzdaten (nicht explizit in der Figur 4 gezeigt) in dem Ausführungsbeispiel Echtzeitdaten betreffend das industrielle Automatisierungssystem, insbesondere Steuerungs- und/oder Regelungsdaten. Diese Steuerungs- und/oder Regelungsdaten werden zwischen den Teilnehmern 100,11,41,12,61,81,82,83,90,21,31,32,33 kommuniziert. Die Kommunikationsarchitektur kann auf einer Feldbusarchitektur oder einer TSN-Architektur gemäß IEEE 802.1 basieren, insbesondere unter Verwendung eines Publish-/Subscribe-Kommunikationsmodells gemäß OPC-UA.

Schließlich zeigt Figur 6 exemplarisch den Aufbau einer Telegramm-Datenstruktur 103, welche in zeitlicher Auflösung als Zeitschlitz-Telegramm in Längsrichtung dargestellt ist. Mittels dieser Telegramm-Datenstruktur 103 werden Nutzdaten D11,D12,D13,D14 zwischen Teilnehmern, 11,12,13,14 eines Netzwerkes 101 entlang einer vorkonfigurierbaren, der Telegramm-Datenstruktur 103 zugeordneten Route R1 kommuniziert (siehe etwa Figur 5A in Verbindung mit Figur 5B). Die Kommunikation findet dabei mittels eines hierin beschriebenen, erfindungsgemäßen Verfahrens statt und das Netzwerk 101 weist mehrere Komponenten eines mechatronischen Systems auf. Die gezeigte Telegramm-Datenstruktur 103 weist einen konfigurierbaren Nutzdatenabschnitt 104 auf, der die Nutzdaten D11,D12,D13,D14 lediglich von Teilnehmern 100,11,12,13,14 der zugeordneten Route R1 (siehe wiederum Figur 5A in Verbindung mit Figur 5B) enthält. Wie aus Figur 6 ersichtlich, sind die Nutzdaten in einem dedizierten, konfigurierbaren und fest in der Telegramm-Datenstruktur 103 deterministisch platzierten Nutzdatenabschnitt 104 (dies entspricht einem zugewiesenen Zeitschlitz für die Nutzdaten D11,D12,D3,D14 und weitere Nutzdaten. Der konfigurierbare Nutzdatenabschnitt 104 ist nämlich (nicht maßstabsgetreu gezeigt) so groß, dass er eine Vielzahl von Nutzdaten in einem Telegramm (Datenpaket) aufnehmen kann; dazu ist hier beispielhaft ein nicht befüllter Nutzdatenteilabschnitt 113 gezeigt, der sich an einen Bereich mit bereits eingeschriebenen Nutzdaten D11,D12,D13,D14 anschließt und gemeinsam mit diesem den gesamten, konfigurierbaren Nutzdatenabschnitt 104

bildet. Die Nutzdaten D11,D12,D13,D14 sind deterministisch und wahlfrei zugreifbar in dem zugeordneten Zeitschlitz 104 positioniert, sodass sie jederzeit eingeschrieben und ausgelesen werden können. Bevorzugt ist auch eine feste Länge für ein Nutzdatum D11 vorgesehen, die beispielsweise auch konfiguriert werden oder online angepasst werden kann.

Im Einzelnen weist die Telegramm-Datenstruktur 103 (nach dem Ethernet-Telegramm-Standard (Stack)) noch erfindungsgemäß folgende Komponenten auf: die Datenstruktur 103 beginnt in der Regel mit einer Präambel 105, welche allgemeine Informationen über die erfindungsgemäße Synchronisation und Erkennung des Telegrammanfangs aufweisen. Danach folgt eine Starterkennung als Telegrammstart 106, es folgen die MAC-Adresse 107 des Empfängers und die MAC-Adresse 108 des Senders. Darüber wird erfindungsgemäß das Routing des Summenrahmen-Teiltelegramms, dessen Telegramm-Datenstruktur 103 hier gezeigt ist, determiniert. Optional ist noch ein VLAN- oder 802.1Q-Tag 109 vorgesehen, welches für die Verwendung von virtuellen Netzwerken (VLAN) verwendet wird und in welches gegebenenfalls vorhandene Switches entsprechend der Norm IEEE 802.1Q ein VLAN-Tag einfügen können. Es folgt ein Ether-Type 110-Zeitschlitz der als Typinformation den Dienst-Zugriffs-Punkt angibt. Schließlich folgt vor dem konfigurierbaren Nutzdatenabschnitt 104 der TCP-Header 112, der die TCP-Daten auf dem OSI-Layer 4 enthält. Es schließen sich Prüfsumme 114 und Paket-Zwischenabstand 115 an; in der Prüfsumme 114 wird als Summenrahmen-Teiltelegramm-Prüfsumme die Integrität und Authentizität unter anderen der enthaltenen Nutzdaten D11,D12,D13,D14 sichergestellt.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Telegramm/Abzweigungspunkt
- 2 Telegramm/Abzweigungspunkt
- 3 Telegramm/Abzweigungspunkt

- 4 Telegramm/Abzweigungspunkt
- 5 Telegramm/Abzweigungspunkt
- 6 Telegramm/Abzweigungspunkt
- 7 Telegramm/Abzweigungspunkt
- 8 Telegramm/Abzweigungspunkt
- 1' Telegramm/Abzweigungspunkt
- 2' Telegramm/Abzweigungspunkt
- 3' Telegramm/Abzweigungspunkt
- 4' Telegramm/Abzweigungspunkt
- 5' Telegramm/Abzweigungspunkt
- 6' Telegramm/Abzweigungspunkt
- 7' Telegramm/Abzweigungspunkt
- 8' Telegramm/Abzweigungspunkt
- 10 mechatronisches System
- 11 Teilnehmer
- 12 Teilnehmer
- 13 Teilnehmer
- 14 Teilnehmer
- 21 Teilnehmer
- 22 Teilnehmer
- 23 Teilnehmer
- 31 Teilnehmer
- 32 Teilnehmer
- 33 Teilnehmer
- 41 Teilnehmer
- 51 Teilnehmer
- 61 Teilnehmer
- 71 Teilnehmer
- 72 Teilnehmer
- 81 Teilnehmer
- 82 Teilnehmer
- 83 Teilnehmer

- 90 Teilnehmer/Netzwerkswitch
- 91 Teilnehmer/Netzwerkswitch
- 100 Teilnehmer/Steuerung
- 101 Netzwerk
- 102 Kommunikationsverbindung
- 103 Ethernet-Telegramm (Paket)/Telegramm-Datenstruktur
- 104 konfigurierbarer Nutzdatenabschnitt
- 105 Präambel
- 106 Telegrammstart
- 107 MAC-Adresse Empfänger
- 108 MAC-Adresse Sender
- 109 802.1Q-Tag (optional)
- 110 Ether-Type
- 111 IP-Header
- 112 TCP-Header
- 113 Nutzdatenteilabschnitt
- 114 Prüfsumme
- 115 Paket-Zwischenabstand
- 116 Feedback/Geber
- 117 Servomotor
- 118 Massenspeicher (Festplatte/SSD/USB-Speicherstick)
- 119 integrierte Logiksteuerung
- 120 integrierte Bahnsteuerung
- 121 Display
- 122 Elektromotor
- Dnn Nutzdaten
- R1-R8 Teilroute

## Patentansprüche

1. Kommunikationsverfahren zwischen Teilnehmern (100,11,12,13,14) eines Netzwerkes (101), welches mehrere Komponenten (100,11,12,13,14) eines mechatronischen Systems aufweist, insbesondere Steuerungen und Antriebsregler eines industriellen Automatisierungsverbundes, wobei Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) zwischen den Teilnehmern (100,11,12,13,14) über das Netzwerk (101) mittels Telegrammen kommuniziert werden, und logische und/oder physikalische Kommunikationsverbindungen (102) zwischen Teilnehmern (100,11,12,13,14) des Netzwerkes (101) bestehen, über die die Telegramme (103) übertragen werden, und Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) mehrerer Teilnehmer (100,11,12,13,14) in einem Summenrahmentelegramm (1-8,1'-8') zusammengefasst und das Summenrahmentelegramm (1-8,1'-8') an Teilnehmer (100,11,12,13,14) des Netzwerkes (101) versendet wird,  
**dadurch gekennzeichnet, dass** eine konfigurierbare Routingstruktur verwendet wird, über die die Telegramme (103) geroutet werden, welche zumindest eine Teilroute (R1) enthält, die lediglich einen Teil der Teilnehmer (100,11,12,13,14) des Netzwerkes (101) abdeckt, und zumindest ein Teillegramm (1,1') zu dieser Teilroute (R1) aufgebaut wird, welches als Summenrahmen-Teillegramm (1,1') lediglich Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) von Teilnehmern (100,11,12,13,14) dieser Teilroute (R1) enthält, das Summenrahmen-Teillegramm (1,1') über diese Teilroute (R1) geroutet wird und Teilnehmer (100,11,12,13,14) der Teilroute (R1) aus dem Summenrahmen-Teillegramm (1,1') jeweils ihre Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) extrahieren und/oder in das Summenrahmen-Teillegramm (1,1') ihre Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) einschreiben können.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) Echtzeitdaten betreffend das mechatronische System, insbesondere Steuerungs- und/oder Regelungsdaten, umfassen, welche

zwischen Teilnehmern (100,11,12,13,14) in Echtzeit kommuniziert werden, wobei die Kommunikationsarchitektur insbesondere ausgewählt ist aus:

- einer Feldbusarchitektur, insbesondere einer Feldbusarchitektur gemäß IEC 61158 oder einer Master-/Slave-Architektur, insbesondere SERCOS IEC 61491;
- einer Time-Sensitive-Networking (TSN)-Architektur gemäß IEEE 802.1, insbesondere unter Verwendung eines Publish-/Subscribe-Kommunikationsmodells gemäß OPC-UA (Open Platform Communication – Unified Architecture), insbesondere in Multicast- oder Unicast-Ausprägung.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Routingstruktur mehrere Teilrouten (R1-R8) aufweist, die das gesamte Netzwerk (101) oder ein vorbestimmtes Netzwerksegment abdecken, wobei die jeweils zugehörigen Summenrahmen-Teiltelegramme (1-8,1'-8') aller Teilrouten (R1-R8) zusammengenommen Nutzdaten (Dnn) der Teilnehmer (100,11,12,13,14+) des gesamten Netzwerkes (101) bzw. des gesamten Netzwerksegmentes abbilden können.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Telegrammsender, insbesondere ein Publisher nach dem Publish-/Subscribe-Kommunikationsmodell oder ein Master (100) einer Master-/Slave-Feldbusarchitektur oder ein Server von etablierten Client-Server-Verbindungen, die Summenrahmen-Teiltelegramme (1-8,1'-8') generiert und über die jeweils zugehörigen Teilrouten (R1-R8) an die adressierten Teilnehmer (100,11,12,13,14) versendet.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die versendeten Summenrahmen-Teiltelegramme (1-8) die Routingstruktur unverändert bis zu dem/den adressierten Teilnehmer(n) (100,11,12,13,14) durchlaufen.

6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Summenrahmen-Teiltelegramme (1'-8'), insbesondere an Netzwerkinfrastrukturkomponenten (90,91) der Routingstruktur, nach Maßgabe der Teilrouten (R1-R8) restrukturiert, insbesondere nach Nutzdaten (Dnn) der adressierten Teilnehmer (100,11,12,13,14) zerlegt und/oder fragmentiert und/oder rekombiniert, und die restrukturierten Summenrahmen-Teiltelegramme (1'-8'), insbesondere jeweils im Store-and-Forward-Verfahren, mit den Nutzdaten (Dnn) zu den darin adressierten Teilnehmern (100,11,12,13,14) weitergeleitet werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Routingstruktur und/oder die Teilrouten (R1-R8) mit der Konfiguration der jeweils dazugehörigen Summenrahmen-Teiltelegramme (1-8,1'-8') an – insbesondere alle – Teilnehmer (100,11,12,13,14) des Netzwerkes (101) übertragen und dort für das Routing und/oder das Extrahieren und/oder das Einschreiben der Nutzdaten (Dnn) verwendet werden/wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Konfigurationsmodul des Netzwerkes (101) anhand der Routingstruktur die Konfiguration der Summenrahmen-Teiltelegramme (1-8,1'-8'), insbesondere deren Aufbau und/oder deren Sendezeiten, insbesondere automatisiert, determiniert und insbesondere gemäß Anspruch 7 die Routingstruktur und/oder die Teilrouten (R1-R8) kommuniziert.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Routingstruktur benutzerseitig vorgegeben und/oder zumindest teilweise automatisiert, insbesondere zur Laufzeit, ermittelt wird, insbesondere durch Teilnehmer-Nachbarschaftserkennung gemäß LLDP (Link Layer Discovery Protocol).

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Routingstruktur zumindest einen Linienabschnitt (R3) mit einem Linienendteilnehmer (33) und/oder einem Linienstartteilnehmer (31) aufweist, bei dem Teilnehmer (31,32,33) sequentiell hintereinander angeordnet sind und/oder zumindest einen Sternabschnitt (R2,R3,R4,R5), bei dem Sternabzweigungen mit Teilnehmern (21,31,41,51) sternförmig an einen Knoten (90) angebunden sind, wobei der Knoten (90) insbesondere mittels einer Netzwerk-Infrastrukturkomponente (90) und/oder mittels eines Publishers nach dem Publish-/Subscribe-Kommunikationsmodell und/oder mittels eines Masters (100) einer Master-/Slave-Feldbusarchitektur und/oder mittels eines Servers von etablierten Client-Server-Verbindungen realisiert ist.
11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** Summenrahmen-Teiltelegramme (3), die einen Linienabschnitt (R3) durchlaufen, unverändert durch jeden Linienteilnehmer (31,32,33) geroutet werden, und dass Summenrahmen-Teiltelegramme (2,3,4,5,2',3',4',5') an Knoten (90) entweder unverändert zu einer Sternabzweigung geroutet oder gemäß Anspruch 6 restrukturiert und zu einer Sternabzweigung geroutet werden.
12. Telegramm-Datenstruktur (103), mittels derer Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) zwischen Teilnehmern (100,11,12,13,14) eines Netzwerkes (101) entlang einer vorkonfigurierbaren, der Telegramm-Datenstruktur (103) zugeordneten Route (R1) zu kommunizieren sind, insbesondere gemäß einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das Netzwerk (101) mehrere Komponenten eines mechatronischen Systems aufweist, insbesondere Steuerungen und/oder Antriebe eines industriellen Automatisierungssystems, und die Telegramm-Datenstruktur (103) einen konfigurierbaren Nutzdatenabschnitt (104) aufweist, der Nutzdaten (D11,D12,D13,D14) lediglich von Teilnehmern (100,11,12,13,14) der zugeordneten Route (R1) enthält.

13. Mechatronisches System, insbesondere industrielles Automatisierungssystem mit Steuerungen und Antriebsreglern, innerhalb dessen Nutzdaten (Dnn), die sich auf das mechatronische System beziehen und insbesondere von Komponenten des mechatronischen Systems stammen, mittels eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 kommuniziert werden.
14. Maschinensteuerung (100,11,12,13,14) eines mechatronischen Systems, insbesondere eines industriellen Automatisierungssystems mit Steuerungen und Antriebsreglern, die ein Kommunikationsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 ausführt, wobei die Maschinensteuerung (100,11,12,13,14) insbesondere eine Konfiguration oder zumindest teilweise automatisierte Ermittlung der Routingstruktur vorsieht und/oder eine solche Konfiguration aus dem Netzwerk (101) erhält und/oder eine solche Konfiguration in dem Netzwerk (101) kommuniziert oder verteilt.
15. Computerprogrammprodukt für eine Rechneinrichtung, insbesondere für eine Maschinensteuerung (100,11,12,13,14), welches bei Ausführung auf einer Rechneinrichtung ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 ausführt.

Fig. 1A

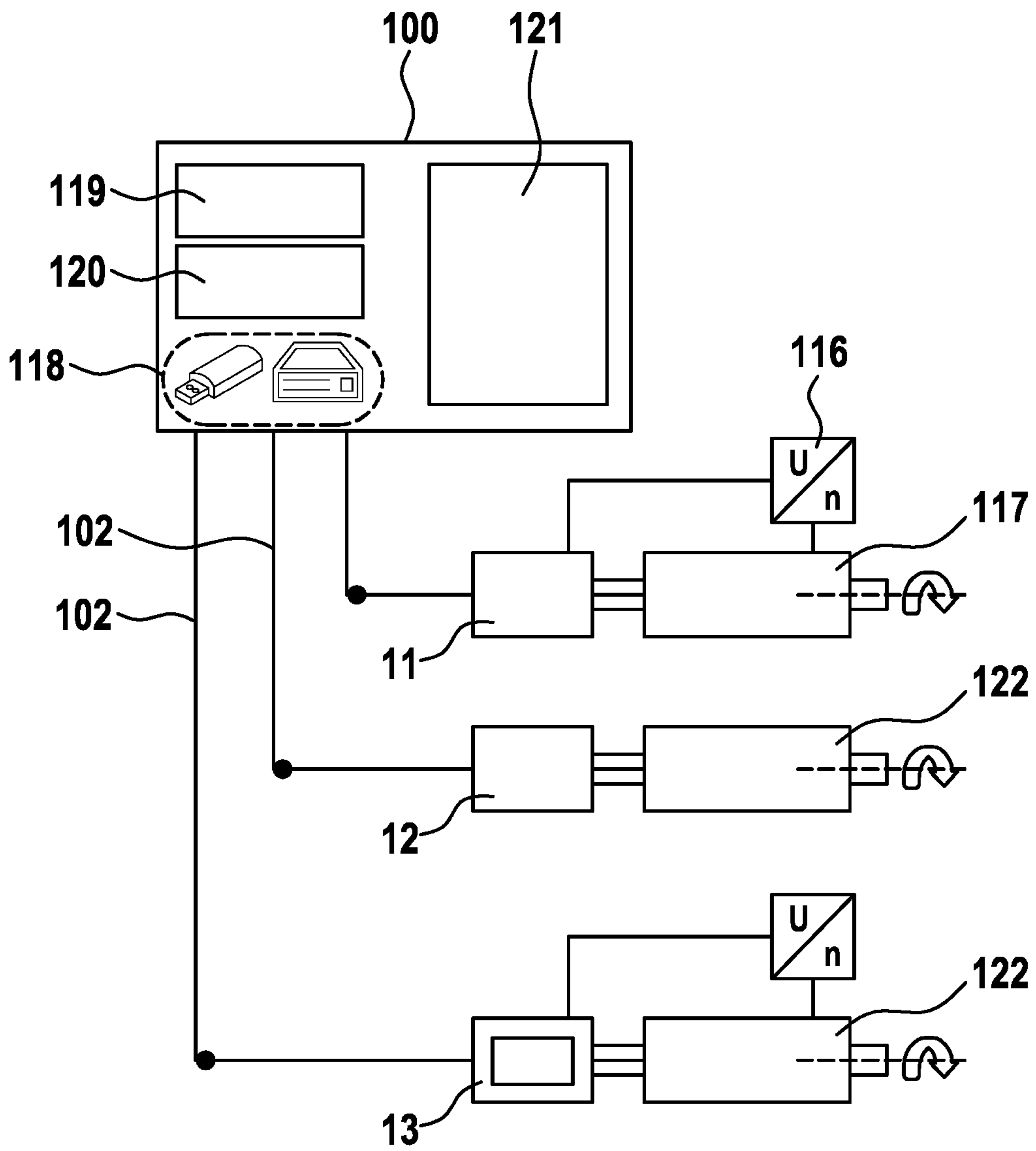


Fig. 1B

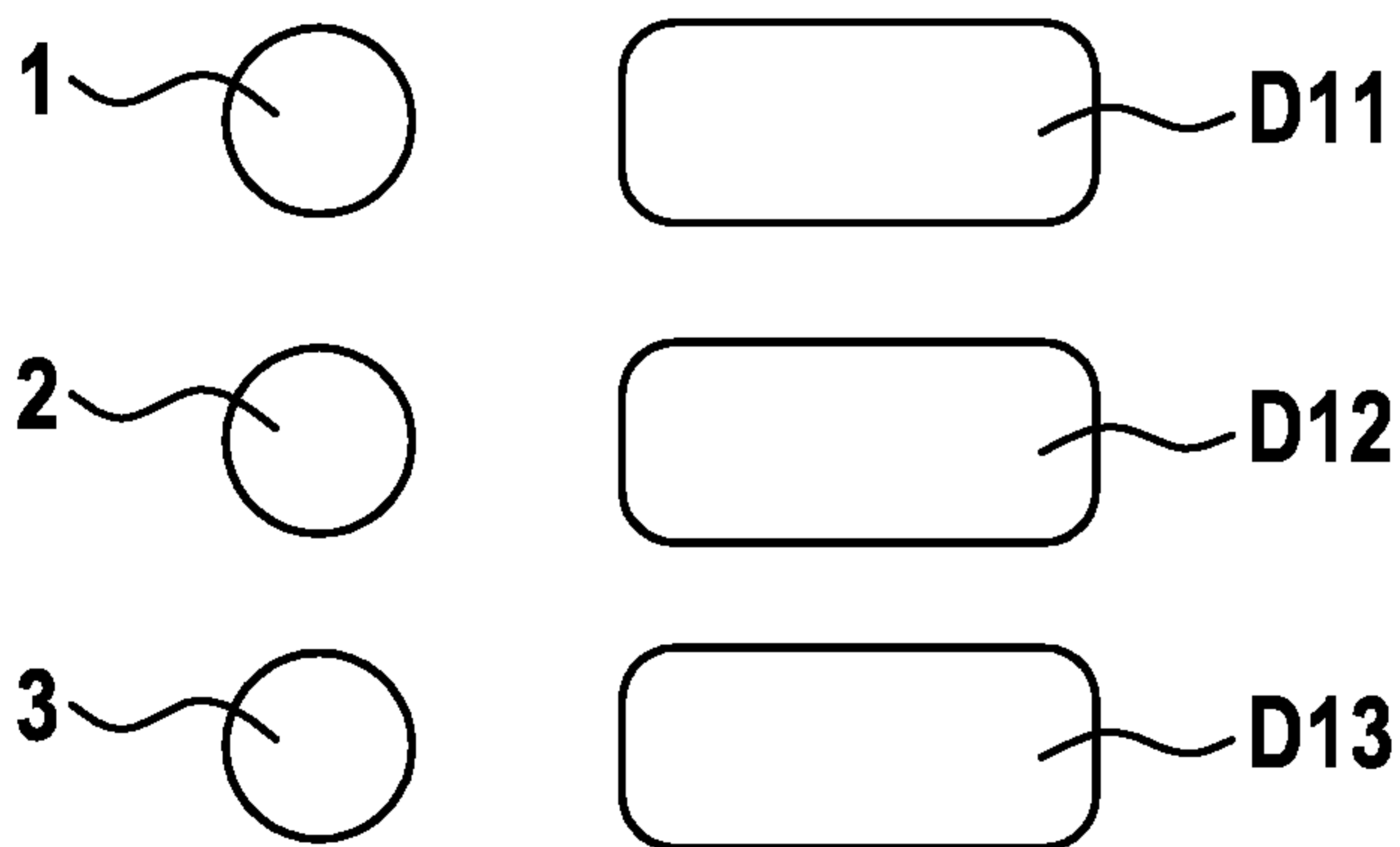
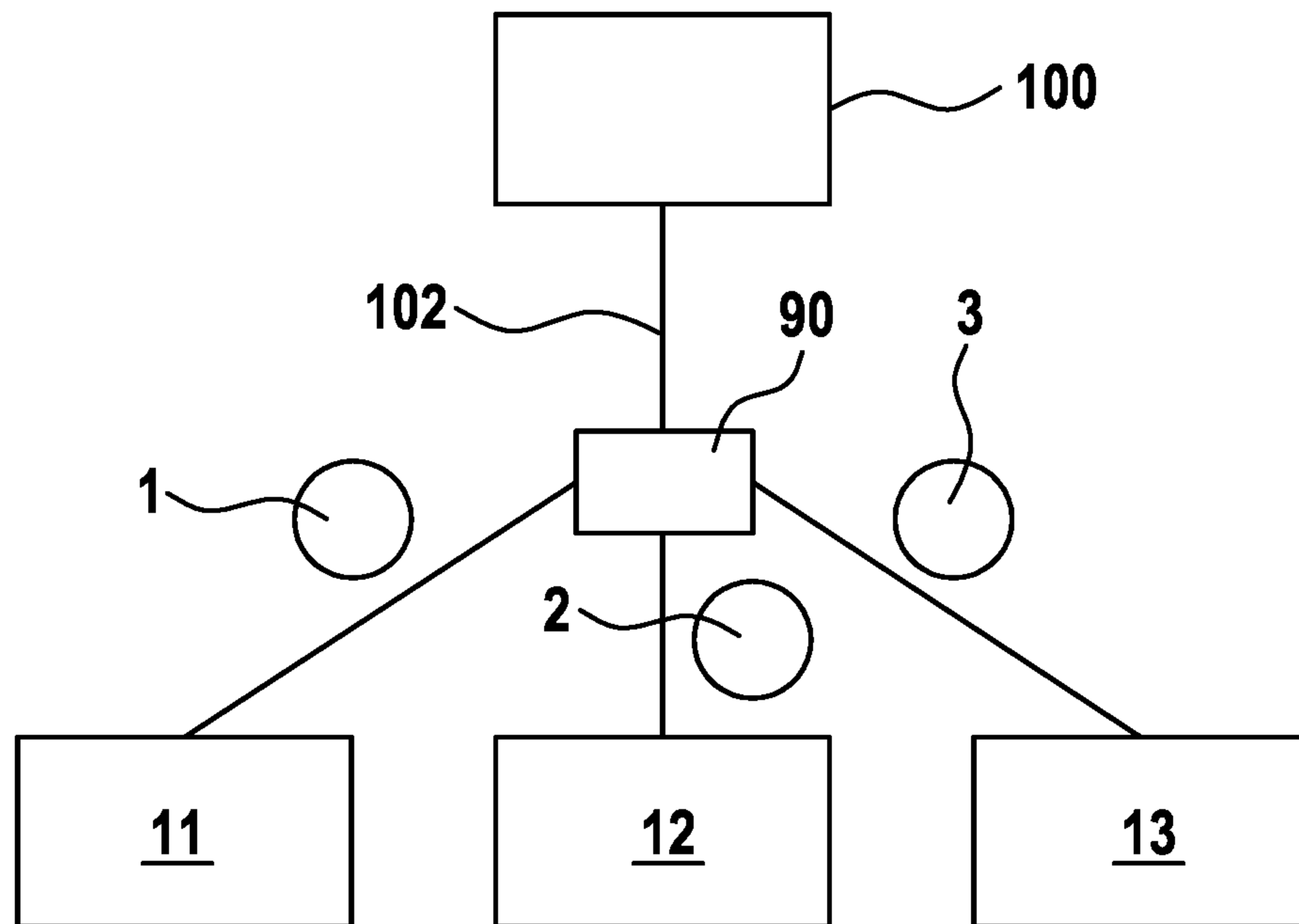


Fig. 2A

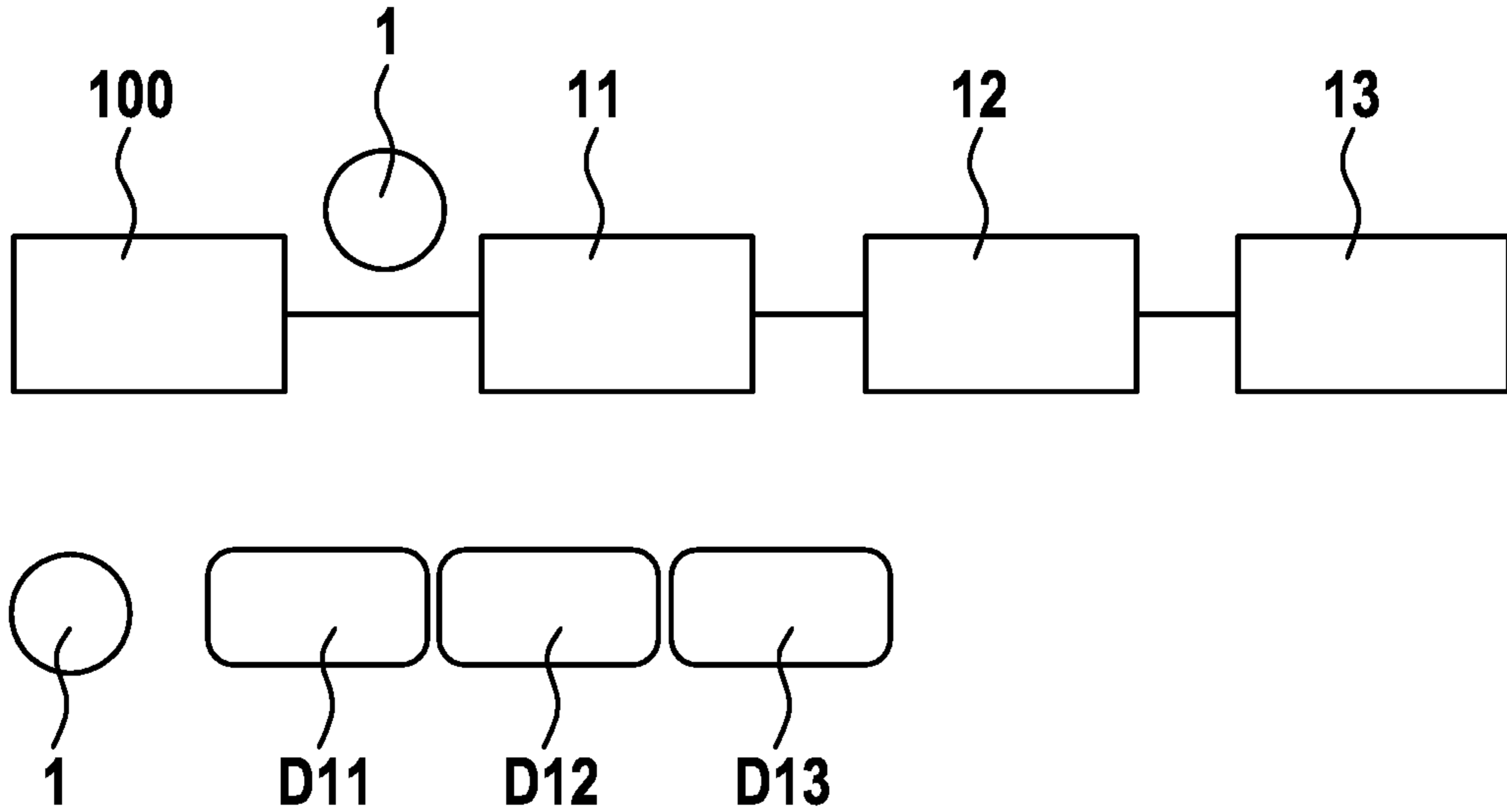


Fig. 2B

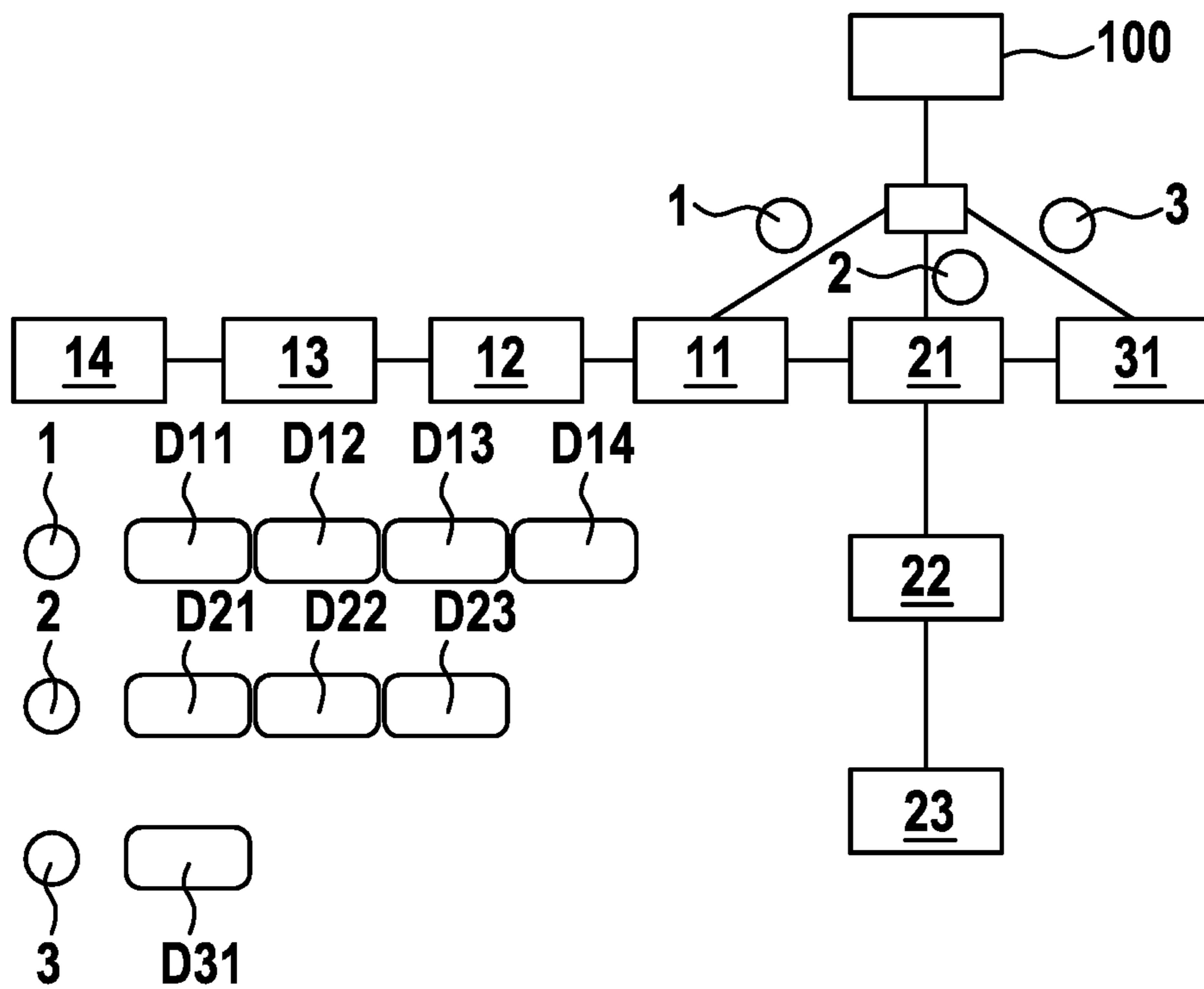
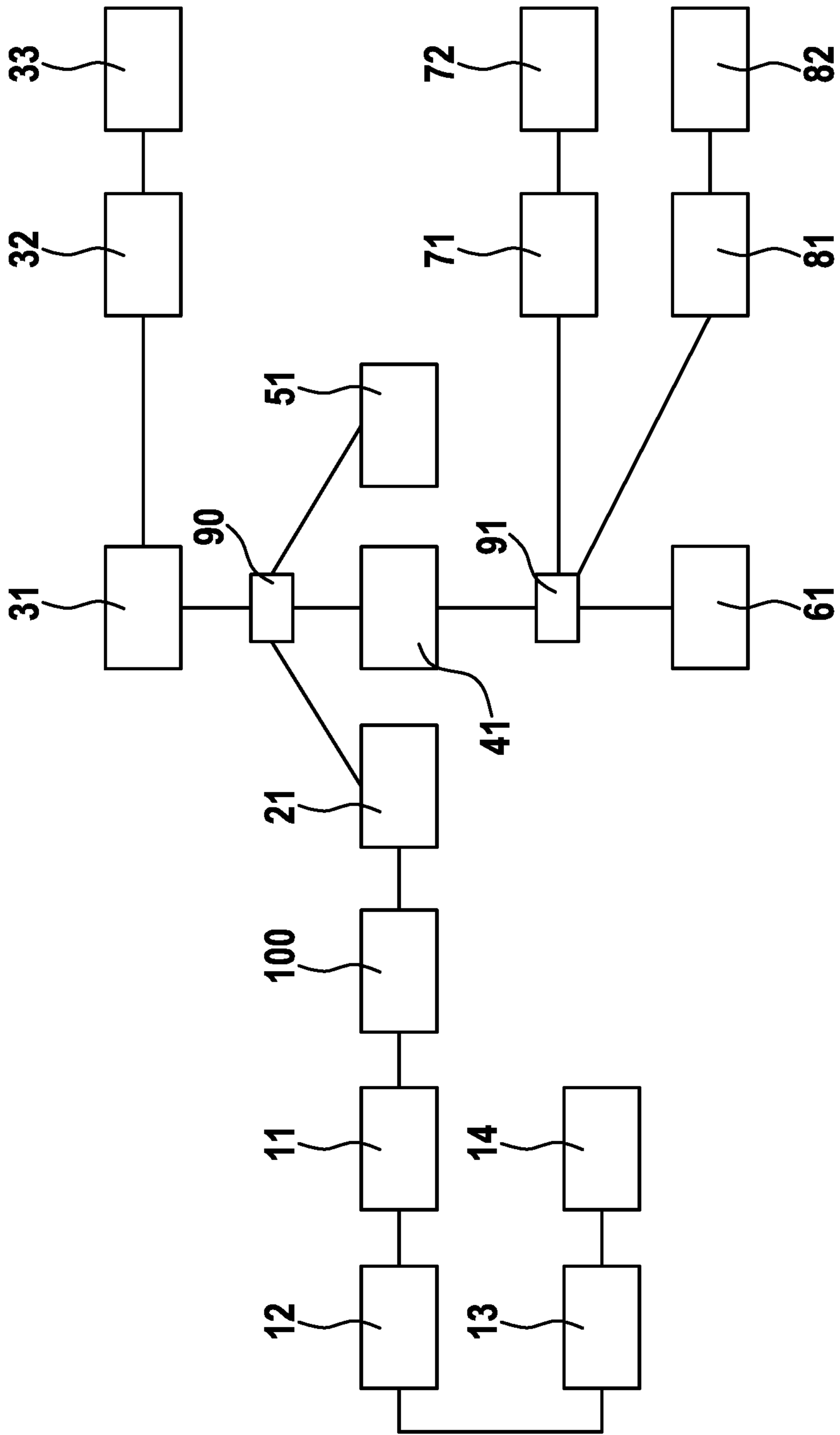


Fig. 3



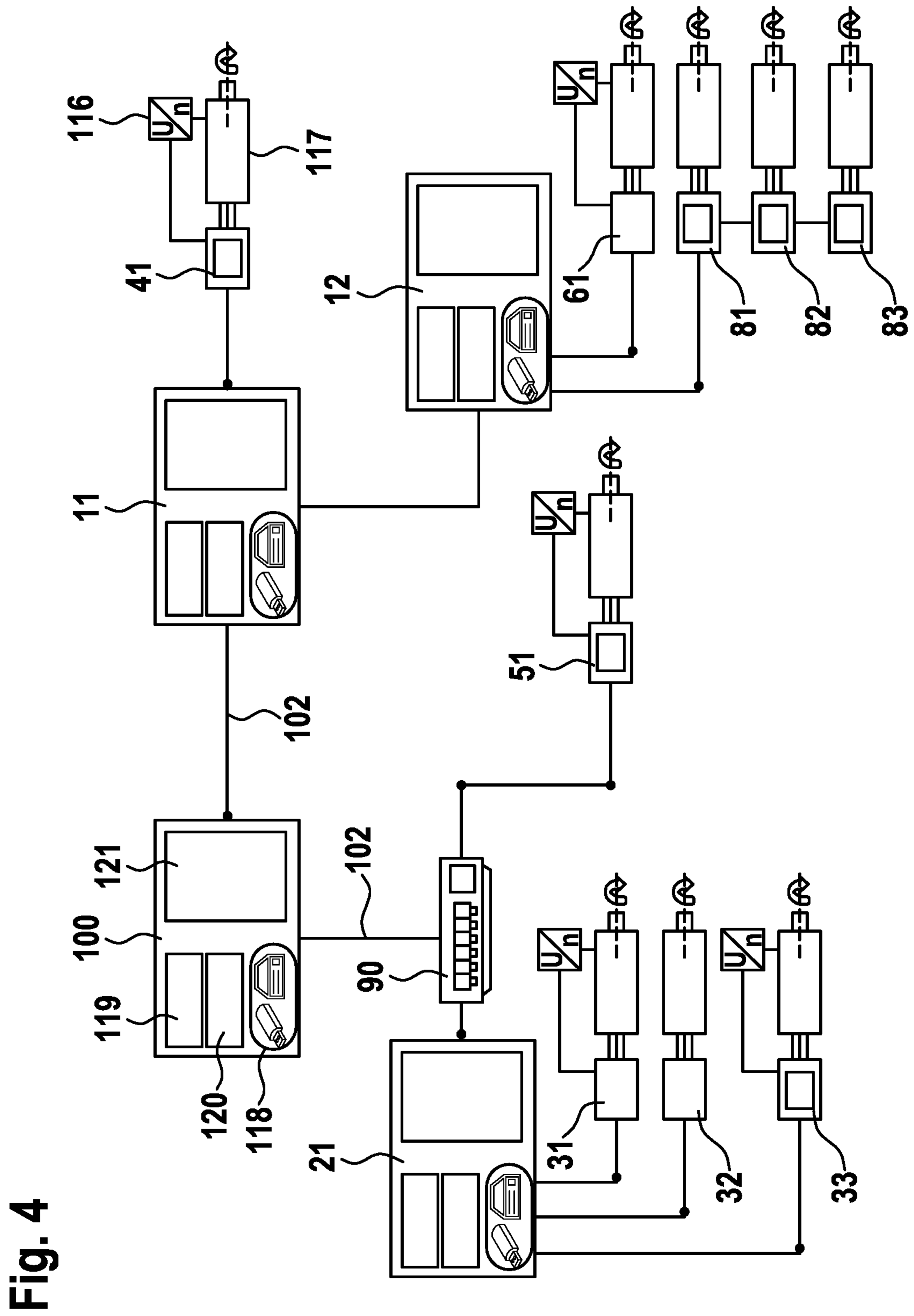


Fig. 4

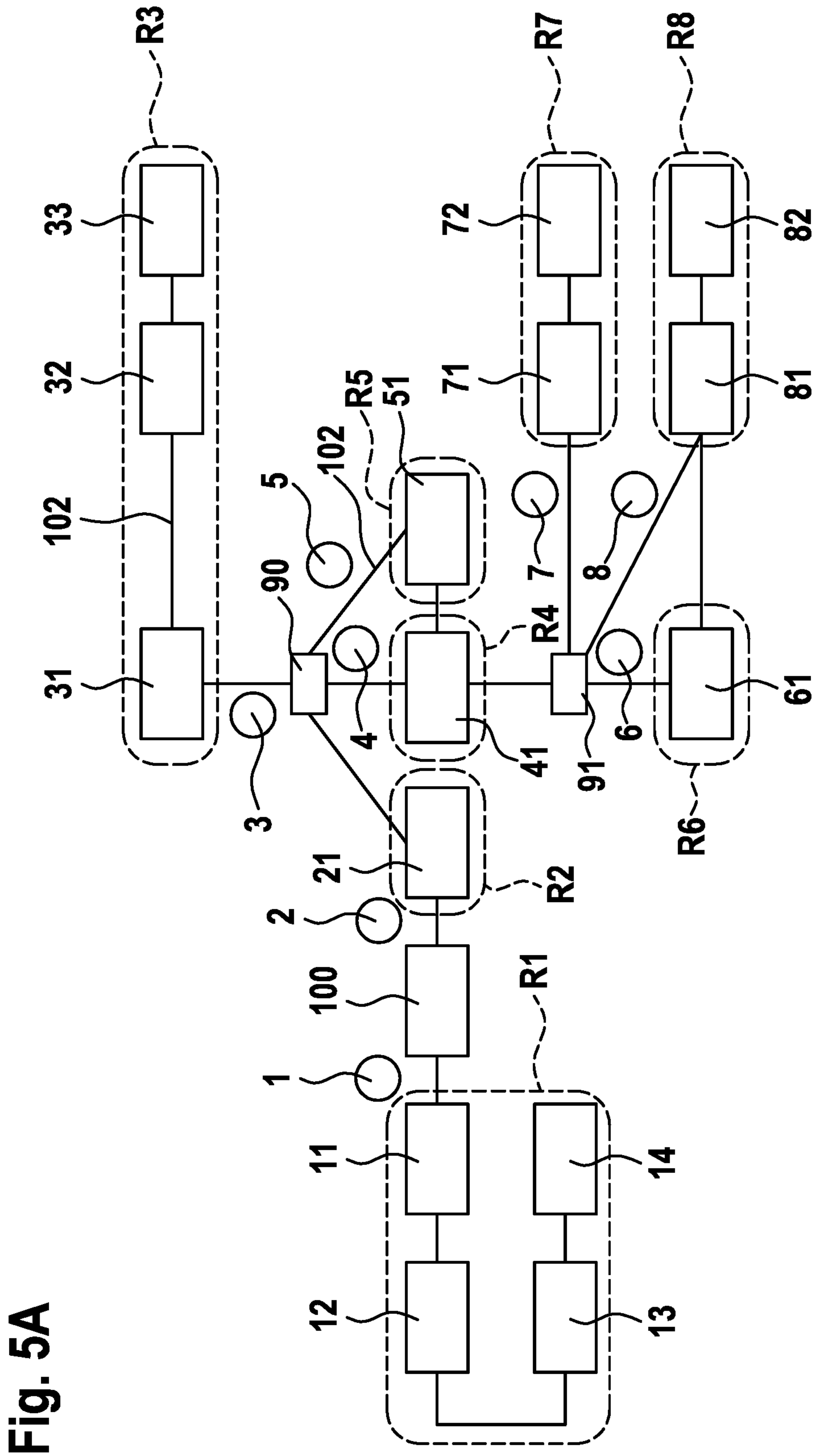
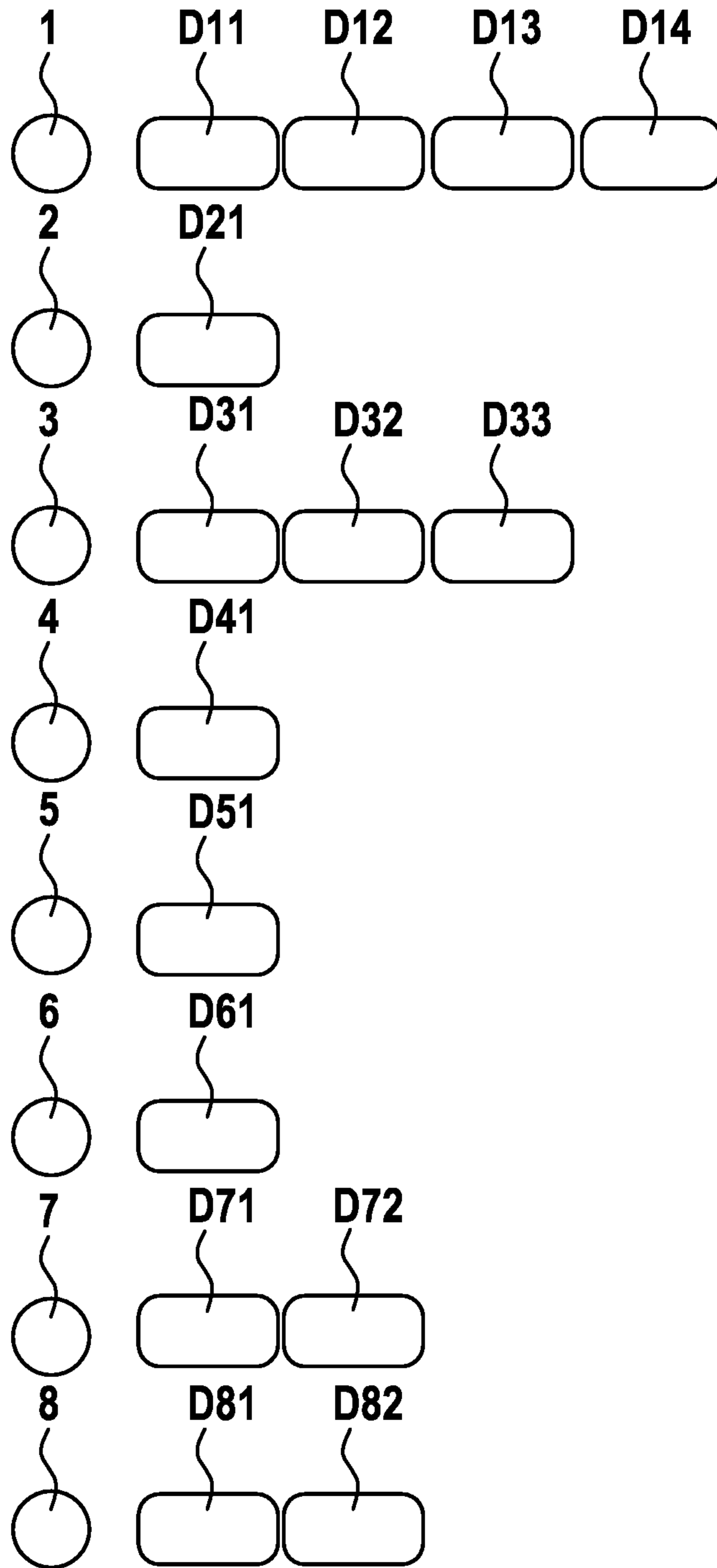


Fig. 5A

Fig. 5B



**Fig. 5C**

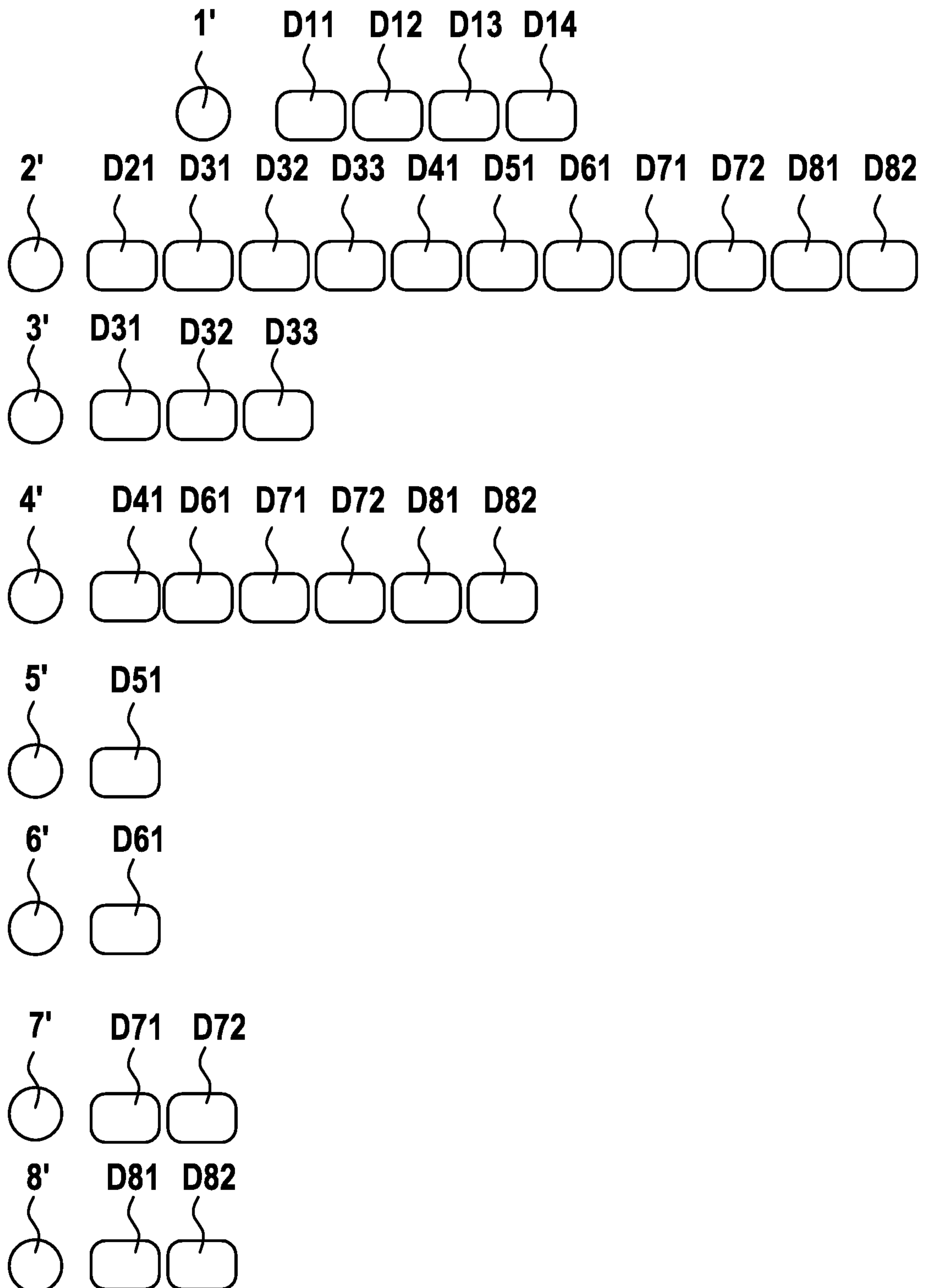


Fig. 6

103

