

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
3. Juni 2010 (03.06.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/060571 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

G05B 19/418 (2006.01) H04L 12/423 (2006.01)
H04L 12/417 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/008261

(22) Internationales Anmeldedatum:
20. November 2009 (20.11.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 060 007.5
25. November 2008 (25.11.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): PILZ GMBH & CO. KG [DE/DE]; Felix-
Wankel-Str. 2, 73760 Ostfildern (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHWENKEL, Hans
[DE/DE]; Saumweg 15, 70192 Stuttgart (DE).

(74) Anwälte: DUHME, Torsten et al.; Wittte, Weller & Part-
ner, Postfach 10 54 62, 70047 Stuttgart (DE).

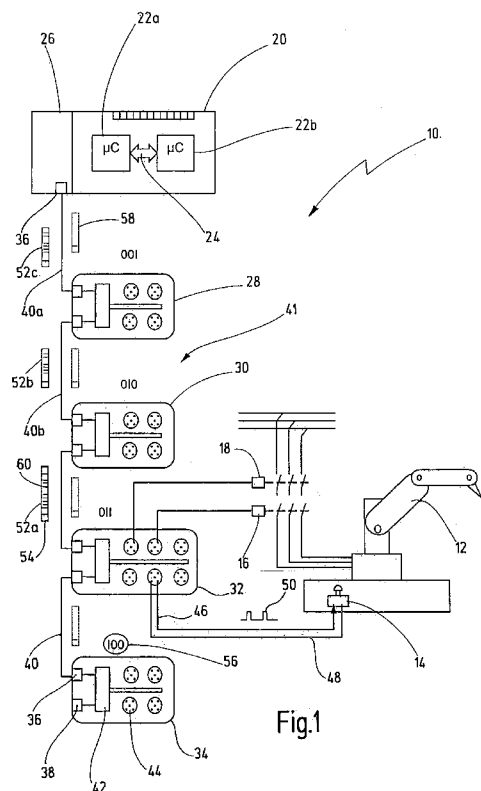
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR TRANSFERRING DATA IN AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM ÜBERTRAGEN VON DATEN IN EINEM AUTOMATISIERTEN STEUERUNGS-
SYSTEM



(57) Abstract: A control system (10) according to the invention has a plurality of spatially distributed stations (26 - 34). At least some stations have input connections (44) for connecting sensors (14) or output connections for connecting actuators (16, 18). The stations (26 - 34) are connected from station to station to form a series (41) of stations. The series has a first station (26), at least one second station (28 - 32) and a last station (34). The first station (26) and every second station (28 - 32) have a successor in the series. Every second station (28 - 32) and the last station (34) have a predecessor in the series. To transfer data in this control system, the first station (26) creates a number of separate data telegrams (52) that is equal to the number of the second stations (28 - 32) plus the last station (34). Each data telegram (52) is addressed to exactly one of the stations (28 - 34). The first station (26) sends the data telegrams (52) at defined time intervals individually to its successor (28), wherein the data telegrams (52) are addressed in reverse sequence of the stations. Every second station (28 - 32) receives a data telegram (52) from its respective predecessor and sends the received data telegram (52) to its respective successor in a bucket brigade manner until it receives a data telegram (52) that is self-addressed. The second stations (28 - 32) and the last station (34) each create an individual reply telegram (70) that is addressed to the first station and send the individual reply telegrams (79) to their respective predecessors in bucket brigade fashion.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/060571 A1



SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, —
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderun-
gen eingehen (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe h)*

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

Ein Steuerungssystem (10) besitzt eine Vielzahl von räumlich verteilten Stationen (26 - 34). Zumindest einige Stationen besitzen Eingangsanschlüsse (44) zum Anschluss von Sensoren (14) oder Ausgangsanschlüsse zum Anschluss von Aktoren (16, 18). Die Stationen (26 - 34) sind von Station zu Station zu einer Reihe (41) von Stationen verbunden. Die Reihe besitzt eine erste Station (26), zumindest eine zweite Station (28 - 32) und eine letzte Station (34). Die erste Station (26) und jede zweite Station (28 - 32) besitzen einen Nachfolger in der Reihe. Jede zweite Station (28 - 32) und die letzte Station (34) besitzen einen Vorgänger in der Reihe. Zum Übertragen von Daten in diesem Steuerungssystem erzeugt die erste Station (26) eine Anzahl von separaten Datentelegrammen (52), die gleich der Anzahl der zweiten Stationen (28 - 32) plus der letzten Station (34) ist. Jedes Datentelegramm (52) ist an genau eine der Stationen (28 - 34) adressiert. Die erste Station (26) versendet die Datentelegramme (52) in definierten Zeitintervallen einzeln an ihren Nachfolger (28), wobei die Datentelegramme (52) in umgekehrter Reihenfolge der Stationen adressiert sind. Jede zweite Station (28 - 32) empfängt ein Datentelegramm (52) von ihrem jeweiligen Vorgänger und sendet das empfangene Datentelegramm (52) nach Art einer Eimerkette an ihren jeweiligen Nachfolger, bis sie ein Datentelegramm (52) erhält, das an sie selbst adressiert ist. Die zweiten Stationen (28 - 32) und die letzte Station (34) erzeugen jeweils ein individuelles Antworttelegramm (70), das an die erste Station (26) adressiert ist, und senden die individuellen Antworttelegramme (79) nach Art einer Eimerkette an ihren jeweiligen Vorgänger.

Verfahren zum Übertragen von Daten in einem
automatisierten Steuerungssystem

Die vorliegende Erfindung betrifft ein zum Übertragen von Daten in einem automatisierten Steuerungssystem mit einer Vielzahl von räumlich verteilten Stationen, die über ein Kommunikationsmedium miteinander verbunden sind, sowie ein entsprechendes Steuerungssystem. Etwas genauer betrifft die Erfindung ein Verfahren, mit dessen Hilfe eine Steuereinheit mit abgesetzten Sensoren und/oder Aktoren eines automatisierten Steuerungssystems kommunizieren kann.

In der Steuer- und Automatisierungstechnik ist die Verwendung von so genannten Feldbussen zur Datenkommunikation zwischen mehreren voneinander entfernten Einheiten eines Steuerungssystems hinreichend bekannt. Ein Beispiel für ein Steuerungssystem mit einem Feldbus ist in DE 199 28 517 A1 beschrieben. Dort arbeitet der Feldbus nach dem Interbus-Protokoll. Ein so genannter Busmaster, der in der Regel in der Steuereinheit angeordnet ist, erzeugt einen Datenrahmen mit einem definierten Startwort (so genanntes Loop Back Word) und einer Anzahl von Datenfeldern, die genau der Anzahl der zusätzlich zur Steuereinheit an den Feldbus angeschlossenen Stationen entspricht. Der Busmaster und die weiteren Stationen sind in einer Ringstruktur verbunden, in der die Stationen eine Art Schieberegister bilden. Der vom Busmaster erzeugte Datenrahmen wird schrittweise durch die Stationen hindurch geschoben, bis der Busmaster das Startwort von der letzten Station der Ringstruktur zurück erhält. Über ein Steuersignal signalisiert der Busmaster dann allen Stationen, dass sie die in diesem Moment in der Station befindlichen Datenfelder lesen sollen und mit eigenen neuen Sendedaten belegen können. Anschließend beginnt der Busmaster einen neuen Datenzyklus, in dem der Datenrahmen mit dem Startwort erneut in dem ringförmigen Schieberegister umhergeschoben wird. Auf diese Weise gelangen die Sendedaten der Stationen der Reihe nach zum Busmaster. Charakteristisch am Interbus-Protokoll ist somit ein einziger zyklisch umlaufender Datenrahmen, von dem in jeder Station zu jedem Zeitpunkt jeweils ein Teil gespeichert ist, wobei die einzelnen Stationen auf ein Steuersignal des Busmasters hin Informationen aus zugewiesenen Datenfeldern lesen und anschließend eigene Informationen in dieselben Datenfelder schreiben. Man kann sich das Funktionsprinzip wie einen umlaufenden Zug vorstellen, der von einer Lokomotive (in Form des Startwortes) gezogen wird, wobei die einzelnen Stationen Informationen aus einem individuell zugewiesenen Waggon entnehmen und denselben Waggon mit Informationen "beladen". Ein Vorteil dieses Prinzips ist das determinierte Zeitverhalten. Man kann anhand der Länge des Datenrahmens bzw. der Anzahl der Stationen verlässlich vorhersagen, wie lange es dauert, bis der Busmaster sämtliche Stationen einmal abgefragt hat. Nachteilig am Interbus ist, dass jede Station eine ihr zugewiesene Stelle innerhalb des Datenrahmens auslesen und beschreiben muss, was nur mit Hilfe spezieller Protokollchips in einer akzeptablen Geschwindigkeit zu

realisieren ist. Sämtliche Stationen benötigen somit die speziellen Interbus-Protokollchips. Für Anwendungen, in denen nur relativ kleine Datenmengen von und zu einer Station übertragen werden sollen, ist das Interbus-Konzept häufig zu aufwändig und zu teuer.

Ein anderes Feldbus-System, bei dem die Kommunikation zwischen verteilten Stationen über einen zyklisch umlaufenden Datenrahmen realisiert wird, ist aus DE 10 2004 063 213 B4 bekannt. Der umlaufende Datenrahmen wird in bevorzugten Ausführungsbeispielen dieser Druckschrift mit Hilfe von Ethernet-Telegrammen von einer Station zur nächsten gesendet. Auch in diesem Fall müssen die einzelnen Stationen individuell zugewiesene Datenfelder innerhalb des Datenrahmens auslesen und beschreiben, was zur Erreichung akzeptabler Geschwindigkeiten ebenfalls spezielle Protokollchips erfordert. Zudem erfordern die Ethernet-Telegramme einen relativ großen Protokoll- und Telegrammoverhead, so dass die Stärken dieses bekannten Systems eher bei Anwendungen zur Geltung kommen, die sehr leistungsfähige Kommunikationssysteme mit größeren Informationseinheiten erfordern.

DE 10 2006 040 709 A1 offenbart ein weiteres Verfahren, bei dem mehrere Stationen zu einer Ringstruktur verbunden sind. Auch in diesem Fall wird ein Startwort mit nachfolgenden Nutzdaten von einer Station zur nächsten weitergereicht, wobei die einzelnen Stationen eigene Nutzdaten an das Startwort anhängen. Dieses bekannte Verfahren soll adressatenlos arbeiten und vor allem zur Übertragung von Nutzdaten mit kurzer Länge dienen.

Es gibt darüber hinaus eine Vielzahl von Feldbussystemen, bei denen die Stationen über eigene Datentelegramme miteinander kommunizieren können. Die Stationen sind in der Regel über so genannte T-Abzweige an eine gemeinsame Leitung angeschlossen. Wenn eine Station ein Datentelegramm sendet, können alle anderen Stationen mithören. Kollisionen oder Sendekonflikte, die auftreten, wenn zwei Stationen gleichzeitig senden, müssen durch die Vergabe von Prioritäten oder andere Arbitrierungsverfahren gelöst werden. Beispiele für solche Feldbusse sind den Fachleuten bekannt als CAN-Bus, Profibus, SafetyBus p, DeviceNet oder ASI. Diese Bussys-

terne verwenden eine gemeinsame Busleitung mit dem Nachteil, dass ein Kurzschluss oder Leitungsbruch nur durch physikalische Messverfahren bestimmt werden kann, nicht aus der Datenkommunikation auf dem Bus. Zudem ist ein solches Bussystem auf der gesamten Leitungslänge ohne Funktion, wenn ein Kurzschluss oder Leitungsbruch an einer Stelle vorliegt. Bei langen Leitungen und hohen Datenübertragungsraten ist ein Abschlusswiderstand erforderlich, und jeder Teilnehmer muss eine individuelle Adresse erhalten, die beim Austausch jeweils neu zugewiesen werden muss. Soll das Bussystem auch sicherheitsrelevante Daten übertragen, wie etwa eine Information über die Betätigung eines Not-Aus-Tasters oder einen daraus resultierenden Abschaltbefehl für einen Aktor, ist die Adresszuweisung sicherheitsrelevant und infolge dessen aufwändig.

Aus DE 103 20 522 A1 sind ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Steuern eines sicherheitskritischen Prozesses bekannt, wobei abgesetzte E/A-Einheiten sicherheitsrelevante Prozessdaten mit Hilfe einer diversitären Mehrfachübertragung über eine einkanalige Leitung an eine Steuereinheit senden, indem die abgesetzten Einheiten die zu übertragenden Nutzdaten einmal "im Klartext" und ein zweites Mal in kodierter Form übertragen. Die kodierten Daten werden hier mit einem variablen Schlüsselwort erzeugt.

Vor diesem Hintergrund ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und ein Steuerungssystem der eingangs genannten Art anzugeben, das einen einfachen und kostengünstigen Anschluss von verschiedenen Sensoren und Aktoren an eine zentrale Steuerungseinheit ermöglicht. Einfach und kostengünstig bezieht sich hier sowohl auf die erforderliche Hardware als auch auf den Aufwand und die Kosten für die Implementierung und den Betrieb. Ziel ist es unter anderem, eine effiziente Busauslastung mit möglichst günstiger Hardware und geringem Konfigurationsaufwand zu erreichen. Des weiteren sollen das Verfahren und das Steuerungssystem die Übertragung von sicherheitsrelevanten Informationen ermöglichen.

Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zum Übertragen von Daten in einem automatisierten Steuerungssystem mit einer Vielzahl

von räumlich verteilten Stationen gelöst, wobei die Stationen von Station zu Station zu einer Reihe von Stationen verbunden sind, wobei die Reihe eine erste Station, zumindest eine zweite Station und eine letzte Station aufweist, wobei die erste Station und jede zweite Station einen Nachfolger in der Reihe besitzen, und wobei jede zweite Station und die letzte Station einen Vorgänger in der Reihe besitzen, mit den Schritten:

- die erste Station erzeugt eine Anzahl von separaten Datentelegrammen, die gleich der Anzahl der zweiten Stationen plus der letzten Station ist, wobei jedes Datentelegramm an genau eine der Stationen adressiert ist,
- die erste Station versendet die Datentelegramme in definierten Zeitintervallen einzeln an ihren Nachfolger, wobei die Datentelegramme in umgekehrter Reihenfolge der Stationen adressiert sind,
- jede zweite Station empfängt ein Datentelegramm von ihrem jeweiligen Vorgänger und sendet das empfangene Datentelegramm nach Art einer Eimerkette an ihren jeweiligen Nachfolger, bis sie ein Datentelegramm erhält, das an sie selbst adressiert ist,
- die zweiten Stationen und die letzte Station erzeugen jeweils ein individuelles Antworttelegramm, das an die erste Station adressiert ist, und senden die individuellen Antworttelegramme nach Art einer Eimerkette an ihren jeweiligen Vorgänger.

Gemäß einem weiteren Aspekt wird diese Aufgabe durch ein Steuerungssystem mit einer Vielzahl von räumlich verteilten Stationen gelöst, von denen zumindest einige Eingangsanschlüsse zum Anschluss von Sensoren oder Ausgangsanschlüsse zum Anschluss von Aktoren aufweisen, wobei die Stationen von Station zu Station zu einer Reihe von Stationen verbunden sind, wobei die Reihe eine erste Station, zumindest eine zweite Station und eine letzte Station aufweist, wobei die erste Station

und jede zweite Station einen Nachfolger in der Reihe besitzen, und wobei jede zweite Station und die letzte Station einen Vorgänger in der Reihe besitzen, und wobei

- die erste Station dazu ausgebildet ist, eine Anzahl von separaten Datentelegrammen zu erzeugen, die gleich der Anzahl der zweiten Stationen plus der letzten Station ist, wobei jedes Datentelegramm an genau eine der Stationen adressiert ist,
- die erste Station ferner dazu ausgebildet ist, die Datentelegramme in definierten Zeitintervallen einzeln an ihren Nachfolger zu versenden, wobei die Datentelegramme in umgekehrter Reihenfolge der Stationen adressiert sind,
- jede zweite Station dazu ausgebildet ist, ein Datentelegramm von ihrem jeweiligen Vorgänger zu empfangen und das empfangene Datentelegramm nach Art einer Eimerkette an ihren jeweiligen Nachfolger zu versenden, bis sie ein Datentelegramm erhält, das an sie selbst adressiert ist, und
- die zweiten Stationen und die letzte Station jeweils dazu ausgebildet sind, ein individuelles Antworttelegramm, das an die erste Station adressiert ist, zu erzeugen und die individuellen Antworttelegramme nach Art einer Eimerkette an ihren jeweiligen Vorgänger zu senden.

Das neue Verfahren und das neue Steuerungssystem unterscheiden sich von den bislang bekannten Verfahren und Systemen in verschiedenen Aspekten, je nachdem, welches bekannte Verfahren oder System man zum Vergleich heranzieht. Einerseits sind die Stationen bei dem neuen Verfahren und dem neuen System von Station zu Station zu einer Reihe von Stationen verbunden. Das neue Verfahren und das neue System verwenden also eine Linientopologie anstelle einer Ringstruktur. Die Datentelegramme werden von der ersten Station einzeln und der Reihe nach an die benachbarte zweite Station gesendet und von dieser (und von allen weiteren Stationen

gleichermaßen) jeweils an die wiederum benachbarte Station weitergeleitet. Auf jedem Teilstück des Systems befindet sich folglich nur ein einziges Datentelegramm. Aufgrund der Punkt-zu-Punkt-Verbindung zwischen den einzelnen Stationen der Reihe sind Kollisionen zwischen Datentelegrammen für verschiedene Stationen ausgeschlossen. Der Aufwand für eine Arbitrierung ist gering. Bevorzugt senden die zweiten Stationen und die letzte Station ihre individuellen Antworttelegramme jeweils nur in Antwort auf ein an sie adressiertes Datentelegramm, so dass auch eine Kollision von Datentelegrammen und Antworttelegrammen auf den Teilstücken des Systems ausgeschlossen ist. In diesem Fall kann auf eine Arbitrierung praktisch gänzlich verzichtet werden.

Andererseits verwenden das neue Verfahren und das neue System jedoch einzelne Datentelegramme, die einzeln an die Stationen adressiert sind, sowie entsprechende individuelle Antworttelegramme. Jede Station erhält und versendet ein "eigenes" Telegramm. Keine Station muss die Telegramme der anderen Stationen lesen und/oder verstehen können, und es wird auch kein einheitlicher Datenrahmen für alle Stationen benötigt. Damit kann man einerseits auf spezielle Protokollchips verzichten, wie sie beim Interbus und ähnlichen Verfahren benötigt werden, um ein schnelles Lesen und Beschreiben von individuell zugewiesenen Datenfeldern eines systemweit einheitlichen Datenrahmens zu ermöglichen. Prinzipiell ist es denkbar, dass jede Station Datentelegramme erhält und Antworttelegramme versendet, die inkompatibel zu den entsprechenden Telegrammen der anderen Stationen sind, sofern ein reines Durchreichen der Datentelegramme durch alle Stationen gewährleistet ist. Es ist beispielsweise denkbar, dass die Adressdaten für eine zweite Station an einer anderen Stelle des Datentelegramms stehen als die Adressdaten für die letzte Station. Die Art und der Aufbau der Adressdaten kann auch von Station zu Station unterschiedlich sein. Maßgeblich ist allein, dass die adressierte Station ihre Adresse innerhalb eines empfangenen Datentelegramms erkennen und lesen kann. Auch die Länge der einzelnen Daten- und Antworttelegramme und der innere Protokollaufbau können von Station zu Station variieren, sofern die physikalische Ebene gemäß dem OSI-Referenzmodell insoweit einheitlich ist, dass die Daten- und Antworttelegramme einer anderen Station weitergereicht werden können.

Für den Fall, dass die Leitung zwischen zwei Stationen unterbrochen oder anderweitig gestört ist, ist eine Kommunikation zwischen denjenigen Stationen, die vor und nach der Unterbrechung liegen, prinzipiell weiterhin möglich. Ein Leitungsfehler muss folglich nicht das gesamte System lahmlegen und kann anhand des Telegrammverkehrs lokalisiert werden.

Des weiteren lässt sich mit dem neuen Verfahren eine hohe Busauslastung auf dem ersten Teilstück zwischen der ersten Station und ihrem Nachfolger erreichen. Hier kann die Busauslastung optimal an die Arbeitsgeschwindigkeit der ersten Station angepasst werden. Je weiter die anderen Stationen von der ersten Station entfernt liegen, desto mehr sinkt zwar die Busauslastung der entsprechenden Teilstücke. Dies hat jedoch auf die Leistungsfähigkeit des Steuerungssystems insgesamt keinen negativen Einfluss, solange die erste Station über das erste Teilstück mit ihrem Nachfolger in optimaler Taktrate kommunizieren kann.

Schließlich ermöglichen das neue Verfahren und das neue System aufgrund der einheitlich festgelegten Kommunikation nach dem "First in/Last Out"-Prinzip (aus Sicht der ersten Station) eine sehr effiziente automatische Adresszuweisung an die einzelnen Stationen, wie weiter unten anhand eines bevorzugten Ausführungsbeispiels beschrieben ist. Damit entfällt ein großer Teil des Konfigurationsaufwandes, der bei anderen adressbasierten Systemen erforderlich ist. Besonders vorteilhaft ist dies, wenn die Daten- und Antworttelegramme zumindest teilweise sicherheitsrelevante Daten beinhalten, weil die Adresszuweisung zu Stationen, die solche sicherheitsrelevanten Daten erzeugen oder verarbeiten, ein sicherheitsrelevanter Schritt ist. Aufgrund der eindeutig bestimmten Kommunikationsstruktur kann auch sicherheitsrelevanten Stationen eine Adresse fehlersicher im Sinne der Kategorien 3 oder 4 der europäischen Norm EN 954-1 (oder vergleichbarer Anforderungen gemäß ISO 13849 oder IEC/EN 61 508) zugewiesen werden.

Insgesamt lassen sich das neue Verfahren und das neue Steuerungssystem daher mit relativ einfachen und kostengünstigen Hardwarekomponenten, einem geringen

Verwaltungs- und Konfigurationsaufwand und einer hohen Busauslastung realisieren. Die oben genannte Aufgabe ist vollständig gelöst.

In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung senden die Stationen die Datentelegramme alle weitgehend zeitgleich an ihren jeweiligen Nachfolger.

Diese Ausgestaltung trägt vorteilhaft dazu bei, die Busauslastung insgesamt zu optimieren. Es ist jedoch nicht notwendig, dass die Stationen die Datentelegramme exakt zeitgleich versenden, da es sich weiterhin um separate Datentelegramme handelt.

In einer weiteren Ausgestaltung verarbeiten die zweiten Stationen und die letzte Station die empfangenen Datentelegramme weitgehend zeitgleich zueinander, um die individuellen Antworttelegramme weitgehend zeitgleich zu erzeugen.

Auch diese Ausgestaltung trägt vorteilhaft dazu bei, die Busauslastung zu optimieren und die Datenkommunikation zwischen den einzelnen Stationen zu beschleunigen. Darüber hinaus eignet sich diese Ausgestaltung besonders gut für ein automatisiertes Steuerungssystem, in dem häufig viele Schritte synchron oder zumindest in einer zeitlichen Abstimmung zueinander ausgeführt werden müssen.

In einer weiteren Ausgestaltung erzeugt die erste Station vor dem erstmaligen Versenden von Datentelegrammen eine Vielzahl von Adressvergabetelegrammen und versendet diese an ihren Nachfolger, wobei den zweiten Stationen und der letzten Station jeweils eine eindeutige Stationsadresse anhand der Adressvergabetelegramme zugewiesen wird.

Das Erzeugen und Versenden von Adressvergabetelegrammen erfolgt vorteilhafterweise in einem Initialisierungsmodus, der durch einen Bediener gestartet werden kann und/oder bei jeder erneuten Inbetriebnahme oder Spannungswiederkehr automatisch gestartet wird. Alternativ oder ergänzend ist es in anderen Ausgestaltungen denkbar, dass die einzelnen Stationen eine Schnittstelle und/oder einen oder

mehrere Schalter besitzen, mit deren Hilfe der jeweiligen Station eine Adresse individuell zugewiesen werden kann. Die bevorzugte Ausgestaltung kommt ohne solche Schnittstellen und Schalter aus, wenngleich es denkbar ist, die bevorzugte automatische Adresszuweisung in Ergänzung zu einer manuellen Adresszuweisung zu ermöglichen. Die bevorzugte Ausgestaltung mit automatischer Adresszuweisung ermöglicht eine einfachere und schnellere Konfiguration des Systems. Außerdem werden Fehler durch manuelle Eingaben vermieden. Darüber hinaus lassen sich die einzelnen Stationen einfacher und kostengünstiger in Gehäusen der Schutzart IP 67 integrieren, was eine Verwendung in spritz- oder schwallwassergefährdeten Bereichen erleichtert. Das Verwenden von Adressvergabetelegrammen von der ersten Station aus bietet außerdem den Vorteil, dass die erste Station die Kontrolle über alle anderen Stationen erhält und Adresskollisionen einfach vermieden werden können.

In einer weiteren Ausgestaltung versenden alle zweiten Stationen, die eine eindeutige Stationsadresse erhalten haben, die Adressvergabetelegramme an ihren jeweiligen Nachfolger.

In dieser Ausgestaltung erfolgt eine automatische Adresszuweisung innerhalb der Reihe der Stationen von vorne nach hinten, d.h. von dem Nachfolger der ersten Station bis zu der letzten Station. In besonders bevorzugten Varianten dieser Ausgestaltung versendet jede Station, die eine Adresse zugewiesen bekommen hat, ein Adressbestätigungstelegramm an die erste Station. Auf diese Weise kann eine fehler-sichere Adresszuweisung sehr schnell und einfach realisiert werden.

In einer weiteren Ausgestaltung besitzt jede zweite Station einen ersten und einen separaten zweiten Busanschluss, wobei jede zweite Station über den ersten Busanschluss mit ihrem Vorgänger und über den zweiten Busanschluss mit ihrem Nachfolger verbunden ist.

In dieser Ausgestaltung besitzt zumindest jede zweite Station (vorzugsweise auch die letzte Station) zwei unabhängige Schnittstellen. Bevorzugt sind die beiden Bus-

anschlüsse galvanisch getrennt. Die zweiten Stationen können Daten- und Antworttelegramme somit zeitgleich und unabhängig voneinander empfangen und versenden. Dies ermöglicht eine sehr schnelle und flexible Datenkommunikation und ist besonders vorteilhaft, wenn die Daten- und Antworttelegramme der einzelnen Stationen verschieden lang sein können. In einer besonders bevorzugten Variante dieser Ausgestaltung beinhaltet jeder Busanschluss einen separaten Controllerbaustein, der das Sendesignal erzeugt. Damit fungiert jede Station als Repeater, so dass relativ große Leitungslängen zwischen den Stationen überbrückt werden können.

In einer weiteren Ausgestaltung sind die Busanschlüsse CAN-Bus-kompatibel.

In dieser Ausgestaltung wird eine CAN-Bus-Hardware mit einer Kommunikationsstruktur nach Art einer Eimerkette kombiniert. Diese Ausgestaltung ist von Vorteil, weil CAN-Bus-kompatible Bausteine eine große Verbreitung besitzen und dementsprechend kostengünstig zur Verfügung stehen. Des Weiteren besitzen CAN-Bus-Bausteine integrierte und bewährte Fehlerbeherrschungs- und Korrekturmechanismen auf unterer Ebene des OSI-Modells, die für die vorliegende Erfindung sehr einfach genutzt werden können. Charakteristisch an dieser Ausgestaltung ist allerdings, dass von den beim CAN-Bus vorhandenen Arbitrierungsmöglichkeiten aufgrund der neuen Komplikationsstruktur kein Gebrauch gemacht wird.

In einer weiteren Ausgestaltung versendet die erste Station die Datentelegramme in zyklisch wiederkehrenden Zeitintervallen, wobei jedes Datentelegramm ein Codewort enthält, das von Zeitintervall zu Zeitintervall variiert, und wobei die zweiten Stationen und die letzte Station die jeweiligen individuellen Antworttelegramme in Abhängigkeit von dem zeitlich variierenden Codewort erzeugen.

Diese Ausgestaltung ist sehr vorteilhaft, wenn sicherheitsrelevante Daten zwischen der ersten Station und den weiteren Stationen ausgetauscht werden. Sicherheitsrelevante Daten in diesem Sinne sind beispielsweise die Information über den Zustand eines Not-Aus-Tasters (betätigt, nicht-betätigt, undefiniert) oder ein daraus

resultierender Abschaltbefehl an einen Aktor. Diese Ausgestaltung ermöglicht es, solche sicherheitsrelevanten Daten auf einer einzigen Datenleitung zu übertragen. Mit Hilfe des variierenden Codewortes ist es möglich, die übertragenen sicherheitsrelevanten Daten auf Plausibilität zu prüfen, selbst wenn sich die Daten über viele Zeitintervalle hinweg nicht verändern, was beispielsweise bei einem Not-Aus-Taster häufig der Fall ist.

In einer weiteren Ausgestaltung erzeugt und versendet die erste Station für jede zweite Station und für die letzte Station ein individuelles Datentelegramm, wobei die individuellen Datentelegramme für zumindest zwei verschiedene Stationen strukturell unterschiedlich sind.

Strukturell unterschiedliche Datentelegramme sind insbesondere solche, deren Aufbau und Zusammensetzung unterschiedlich ist. Beispielsweise könnte es sein, dass die Adressdaten in dem einen Datentelegramm relativ weit vorne stehen, während sie in einem Datentelegramm zu einer anderen Station relativ weit hinten oder an einer beliebigen anderen Stelle stehen. Auch der Aufbau und/oder die Länge der Adressdaten, die Anzahl und Verwendung von Protokolldaten, wie etwa eine Prüfsumme (CRC), oder diversitäre Mehrfachübertragungen von Daten unter Verwendung von variierenden Codewörtern können strukturelle Unterschiede begründen. Diese Ausgestaltung macht von den vorteilhaften Möglichkeiten der neuen Kommunikationsstruktur Gebrauch, die sich daraus ergeben, dass die Stationen keinen gemeinsamen Datenrahmen teilen müssen, sondern über separate Datentelegramme kommunizieren.

Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine vereinfachte Darstellung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels des neuen Steuerungssystems,
- Fig. 2 eine schematische Darstellung zur Erläuterung des zyklischen Datenverkehrs in dem Steuerungssystem gemäß Fig. 1, und
- Fig. 3 das Steuerungssystem aus Fig. 1 zu einem späteren Zeitpunkt während der Datenkommunikation nach dem neuen Verfahren.

In Fig. 1 ist ein Ausführungsbeispiel des neuen Steuerungssystems in seiner Gesamtheit mit der Bezugsziffer 10 bezeichnet. Das Steuerungssystem 10 dient hier zum Absichern eines Roboters 12, dessen Bewegungen aufgrund der Geschwindigkeit und Masse des Roboters 12 eine Gefahr für Personen darstellen können. Typischerweise werden solche Roboter mit Hilfe von festen Schutzzäunen und beweglichen Schutztüren, Lichtgittern und ähnlichen Zugangssicherungen sowie mit Hilfe von Not-Aus-Tastern abgesichert. Der Einfachheit halber ist in Fig. 1 lediglich ein Not-Aus-Taster 14 dargestellt. Bei den Bezugsziffern 16 und 18 ist jeweils ein Schütz dargestellt. Die Arbeitskontakte der Schütze 16, 18 sind in Reihe zueinander in dem Stromversorgungspfad für die Antriebe des Roboters 12 angeordnet. Beim Betätigen des Not-Aus-Tasters 14, beim Öffnen einer Schutztür oder beim Durchtreten eines Lichtgitters muss der Roboter 12 mit Hilfe der Schütze 16, 18 fehlersicher abgeschaltet werden. "Fehlersicher" bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Sicherheitsfunktion nicht verlorenggeht, auch wenn innerhalb des Steuerungssystems 10 ein Fehler auftritt. Es könnte beispielsweise sein, dass die Arbeitskontakte des Schützes 16 aufgrund eines vorherigen Schaltvorgangs verschweißt sind und sich nicht mehr öffnen lassen. Dieser Fehler führt jedoch nicht zum Verlust der Sicherheit, da die Unterbrechung der Stromversorgung durch die Arbeitskontakte des Schützes 18 weiterhin möglich ist. In ähnlicher Weise kann durch Redundanz und/oder integrierte Testfunktionen

die geforderte Einfehlersicherheit für andere Komponenten des Steuerungssystems 10 erreicht werden.

Fig. 1 zeigt der Einfachheit halber nur das Steuerungssystem 10 zum Absichern des Roboters 12, nicht jedoch ein Steuerungssystem, das den Arbeitsbetrieb des Roboters 12 steuert. Prinzipiell können beide Steuerungssysteme in einer Steuereinheit realisiert sein. In vielen Fällen wird jedoch bis heute für die Sicherheitsfunktionen eine separate Steuereinheit verwendet, die hier bei Bezugsziffer 20 dargestellt ist. Die Steuereinheit 20 ist in den bevorzugten Ausführungsbeispielen fehlersicher ausgebildet, was hier vereinfacht anhand von zwei redundanten Prozessoren 22a, 22b dargestellt ist, die sämtliche Operationen redundant ausführen und miteinander vergleichen. Letzteres ist mit dem Pfeil 24 symbolisiert.

Mit der Bezugsziffer 26 ist ein so genanntes Busmodul bezeichnet, das in der Steuereinheit 20 integriert sein kann oder als separate Baugruppe mit der Steuereinheit 20 verbunden ist. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist das Busmodul 26 eine Baugruppe in einem eigenen Gehäuse, das an dem Gehäuse der Steuereinheit 20 befestigt werden kann. Das Busmodul 26 ist in diesem Ausführungsbeispiel eine erste Station im Sinne der Erfindung.

Mit den Bezugsziffern 28, 30, 32 und 34 sind weitere Stationen bezeichnet, wobei die Station 34 hier eine letzte Station im Sinne der Erfindung ist. Die Stationen 28 bis 34 besitzen jeweils zwei Busanschlüsse 36, 38, die galvanisch getrennt und unabhängig voneinander verwendbar sind. Das Busmodul 26 und die Stationen 28 bis 34 sind über Leitungsstücke 40 von Station zu Station zu einer Reihe 41 von Stationen verbunden. Beispielsweise verbindet ein erstes Leitungsstück 40a den Busanschluss (hier einzigen) 36 des Busmoduls 26 mit dem ersten Busanschluss 36 der Station 28. Ein zweites Leitungsstück 40b verbindet den zweiten Busanschluss 38 der Station 28 mit dem ersten Busanschluss 36 der nachfolgenden Station 30. Alle Stationen einschließlich des Busmoduls 26 sind somit über Punkt-zu-Punkt-Verbindungen mit zumindest einem und maximal zwei Nachbarn verbunden. Die Station 28 ist Nach-

folger des Busmoduls 26 und Vorgänger der Station 30. Keine Station ist hier mit mehr als zwei anderen Stationen verbunden.

Die Stationen 28 bis 34 sind hier abgesetzte E/A-Einheiten zum Anschluss von Sensoren einschließlich handbetätigten Meldegeräten, wie etwa dem Not-Aus-Taster 14, sowie zum Anschluss von Aktoren, wie etwa den Schützen 16, 18. In bevorzugten Ausführungsbeispielen sind die Stationen 28 bis 34 in einem Gehäuse nach Schutzart IP 67 untergebracht und somit spritzwasser- oder sogar schwallwassergeschützt. In anderen Ausführungsbeispielen können die Stationen 28 bis 34 Steckmodule sein, die auf einen Modulträger aufgesteckt werden, oder sie können in anderen Gehäusebauformen untergebracht sein.

Jede Station 28 bis 34 besitzt hier einen Schnittstellenbaustein 42, der mit beiden Busanschlüssen 36, 38 verbunden ist. Der Schnittstellenbaustein 42 ist in bevorzugten Ausführungsbeispielen ein Mikrocontroller oder ein ASIC, der in der Lage ist, definierte Signal- oder Datenverarbeitungsschritte auszuführen, die dazu dienen, Sensordaten zum Versenden an die Steuereinheit 20 aufzubereiten und Aktordaten von der Steuereinheit 20 zu verarbeiten, um in Abhängigkeit davon Aktoren, wie etwa die Schütze 16, 18, anzusteuern.

Jede Station 28 bis 34 besitzt eine Anzahl von Anschlussbuchsen 44, an die Sensoren und/oder Aktoren angeschlossen werden können. In dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 ist der Not-Aus-Taster 14 über eine Hinleitung 46 und eine Rückleitung 48 an eine Anschlussbuchse 44 angeschlossen. Über die Hinleitung 46 wird ein Taktsignal 50 an den Not-Aus-Taster 14 übertragen, welches über die Rückleitung 48 zurückgelesen wird. Auf diese Weise kann die Station 32 den Betätigungszustand des Not-Aus-Tasters 14 bestimmen und mit Hilfe eines Datentelegramms an die Steuereinheit 20 berichten.

Gemäß dem neuen Verfahren erzeugt das Busmodul 26 eine Anzahl von separaten Datentelegrammen 52, die nach Art einer Eimerkette von einer Station zur nächsten

weitergereicht werden. In Fig. 1 ist ein erstes Datentelegramm 52a vom Busmodul 26 über das erste Leitungsstück 40a an die Station 28 gesendet worden. Die Station 28 hat dasselbe Datentelegramm 52a an die Station 30 weitergereicht. Die Station 30 versendet dasselbe Datentelegramm 52a ohne Änderung an die nächstfolgende Station 32. Zum gleichen Zeitpunkt, d.h. im selben Zeitintervall, versendet die Station 28 ein zweites Datentelegramm 52b an die Station 30. Ebenfalls zum gleichen Zeitpunkt versendet das Busmodul 26 ein drittes Datentelegramm 52c an die Station 28. Insgesamt erzeugt das Busmodul 26 in diesem Ausführungsbeispiel vier separate Datentelegramme (das vierte Datentelegramm ist in Fig. 1 nicht dargestellt), und versendet diese in vier aufeinanderfolgenden Zeitintervallen an die Reihe 41 der Stationen. Jedes Datentelegramm 52 enthält ein Adressfeld 54, in dem eine Adresse (hier nicht gesondert dargestellt) enthalten ist, die mit einer Stationsadresse 56 korreliert. In dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 besitzt die Station 28 die Adresse 001, die Station 30 besitzt die Adresse 010, die Station 32 besitzt die Adresse 011, und die Station 34 besitzt die Adresse 100. Die Adresszuweisung an die Stationen 28 bis 34 erfolgt in bevorzugten Ausführungsbeispielen mit Hilfe von Adressvergabetelegrammen 58, die in Fig. 1 nur in gepunkteten Linien dargestellt sind, weil die Adressvergabe vor dem in Fig. 1 gezeigten Versenden von Datentelegrammen 52 erfolgt.

In einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel enthält jedes Datentelegramm 52 ferner ein Codewort 60, das von Zeitintervall zu Zeitintervall variiert. In einem Ausführungsbeispiel wird das Codewort 60 jeweils geändert, nachdem ein vollständiger Kommunikationszyklus abgeschlossen ist, was nachfolgend anhand von Fig. 2 näher erläutert wird. In anderen Ausführungsbeispielen wird das Codewort in größeren oder noch kleineren Zeitabständen von der Steuereinheit geändert.

Fig. 2 zeigt einen Kreis 64, der einen vollständigen Kommunikationszyklus symbolisiert. Der Kommunikationszyklus 64 beginnt mit einem ersten Zeitintervall 66a, in dem das Busmodul 26 das erste Datentelegramm 52a an seinen Nachfolger, d.h. die Station 28, sendet. Die anderen Stationen 30 bis 34 senden in diesem Zeitintervall 66a keine Datentelegramme 52, es sei denn, dass in solchen "ungenutzten" Zeitintervallen eine direkte Querkommunikation zwischen einzelnen Stationen erfolgen soll,

was in Ausführungsbeispielen der Erfindung durchaus möglich ist. In einem bevorzugten Ausführungsbeispiel findet jedoch keine derartige Querkommunikation zwischen den einzelnen Stationen statt.

Im zweiten Zeitintervall 66b sendet die Station 28 das empfangene Datentelegramm 52a an die Station 30 weiter. Außerdem empfängt sie innerhalb desselben Zeitintervalls 66b ein zweites Datentelegramm 52b von dem Busmodul 26. Im dritten Zeitintervall 66c sind drei Datentelegramme 52a, 52b, 52c auf den verschiedenen Leitungstücken zwischen den Stationen 26, 28, 30 und 32 unterwegs. Im vierten Zeitintervall 66d versendet das Busmodul 26 ein viertes Datentelegramm an die Station 28, während die letzte Station 34 das erste Datentelegramm 52a erhält. Nach einer Anzahl von Zeitintervallen 66a bis 66d, die der Anzahl der zweiten Stationen plus der letzten Station entspricht, hat also jede Station ein an sie adressiertes Datentelegramm 52 empfangen. In dem bevorzugten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 erkennen die einzelnen Stationen 28 bis 34 jeweils anhand der Adressfelder 54 in den Datentelegrammen 52, ob ein Datentelegramm an sie selbst adressiert ist. Alternativ hierzu ist es in anderen Ausführungsbeispielen denkbar, dass die Stationen ihre jeweilige Position innerhalb der Reihe von Stationen kennen und die Anzahl von weitergereichten Datentelegrammen 52 mitzählen, um auf diese Weise zu erkennen, ob ein Datentelegramm an sie selbst adressiert ist. In einem solchen Ausführungsbeispiel ist es denkbar, auf ein explizites Adressfeld 54 in den Datentelegrammen 52 zu verzichten, weil sich die Adresse implizit aus der Anzahl der Datentelegramme ergibt.

Nachdem jede Station ein an sie adressiertes Datentelegramm empfangen hat, verarbeiten die Stationen 28 bis 34 die empfangenen Datentelegramme weitgehend zeitgleich. Die für die Datenverarbeitung benötigte Zeit ist in Fig. 2 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt. Anschließend sendet jede Station 28 bis 34 ein Antworttelegramm 70, das an die erste Station 26 adressiert ist, an ihren Vorgänger. Diese Situation ist in Fig. 3 dargestellt. Im ersten Antwortintervall 66e sendet die letzte Station 34 ihr Antworttelegramm 70a an ihren Vorgänger 32. Im gleichen Intervall sendet die Station 28 ihr Antworttelegramm 70d an das Busmodul 26 und damit an die Steuereinheit 20. Im nächsten Zeitintervall 66f empfängt das Busmodul

26 das Antworttelegramm 70c der Station 30. Im nächsten Zeitintervall 66g empfängt das Busmodul 26 das Antworttelegramm 70b der Station 32. Im letzten Zeitintervall 66h des Kommunikationszyklus 64 empfängt das Busmodul 26 das Antworttelegramm 70a der letzten Station 34. Nun kann ein neuer Kommunikationszyklus 64 beginnen, was mit dem Pfeil 72 in Fig. 2 dargestellt ist.

Die Adresse der ersten Station 26 kann in den Antworttelegrammen 70 implizit enthalten sein, da sich die Adresse der ersten Station 26 bereits aus der Sende- bzw. Empfangsrichtung der Antworttelegramme 70 ergibt. Die erste Station kann jedoch auch eine explizite Adresse besitzen, wie etwa die Adresse 000. Es ist also prinzipiell nicht erforderlich, dass die Antworttelegramme 70 eine explizite Adressinformation beinhalten, um die erste Station 26 zu adressieren.

Das erste Leitungsstück 40a (erstes Bussegment) wird bei diesem Verfahren ohne größere Wartezeiten optimal ausgenutzt, da über dieses Leitungsstück 40a während des gesamten Kommunikationszyklus 64 Daten- und Antworttelegramme übertragen werden. Mit anderen Worten wird in jedem Zeitintervall 66 ein Daten- oder Antworttelegramm über das erste Leitungsstück 40a übertragen. Das zweite Leitungsstück 40b ist etwas weniger ausgelastet, weil im ersten Zeitintervall 66a und im letzten Zeitintervall 66h kein Daten- oder Antworttelegramm über dieses Leitungsstück 40b übertragen wird. In allen anderen Zeitintervallen 66 findet eine Übertragung von Telegrammen statt. Je weiter ein Leitungsstück oder Bussegment von der ersten Station 26 entfernt liegt, desto geringer ist die Busauslastung auf dem Segment, was jedoch kein Nachteil ist, da das erste Leitungsstück 40a optimal ausgenutzt und an die Verarbeitungsgeschwindigkeit des Busmoduls 26 bzw. der Steuereinheit 20 angepasst sein kann.

Die erste Station 26 sendet im ersten Zeitintervall 66a also ein Datentelegramm 52a an die letzte Station 34. Anschließend sendet die Station 26 weitere Datentelegramme, die an die zweiten Stationen in umgekehrter Reihenfolge zur Entfernung von der ersten Station adressiert sind. Die Antworttelegramme 70 senden alle Stationen 28 bis 34 hier weitgehend zeitgleich an die erste Station 26, wobei die Antworttelegramme

70 aufgrund der unterschiedlichen Entfernungen in aufeinanderfolgenden Zeitintervallen 66e bis 66h bei der ersten Station 26 eintreffen. Im Gegensatz zu einem gemeinsamen Datenrahmen, wie er beim Interbus oder ähnlichen Verfahren eingesetzt wird, findet die Datenkommunikation anhand von separaten, voneinander unabhängigen und individuell adressierbaren Daten- und Antworttelegrammen statt. Grundsätzlich ist es denkbar, dass die erste Station 26 nicht jede weitere Station 28 bis 34 in jedem Kommunikationszyklus 64 adressiert, so dass die Stationen 28 bis 34 in voneinander abweichenden Zyklen abgefragt werden können. Dies macht es möglich, die Busauslastung noch individueller an die Eigenschaften des Steuerungssystems 10 anzupassen.

In den bevorzugten Ausführungsbeispielen wird jeder Station 28 bis 34 eine eindeutige Adresse 56 zugewiesen. Bevorzugt erfolgt dies mit Hilfe der Adressvergabetelegramme 58 in einem Initialisierungsmodus, der entweder manuell gestartet werden kann oder, was sehr vorteilhaft ist, bei einer Spannungswiederkehr automatisch gestartet wird. In dem Initialisierungsmodus versendet die erste Station 26 ein erstes Adressvergabetelegramm 58 an ihren Nachfolger 28. Wenn der Nachfolger 28 noch keine Adresse zugewiesen bekommen hat, übernimmt er die im Adressvergabetelegramm 58 enthaltene Adresse (hier Adresse 001) und bestätigt die Adressübernahme durch ein Bestätigungstelegramm an die erste Station 26. Anschließend versendet die erste Station 26 ein weiteres Adressvergabetelegramm mit einer weiteren (anderen) Adresse an ihren Nachfolger 28. Da der Nachfolger 28 bereits eine Adresse zugewiesen bekommen hat, leitet er das Adressvergabetelegramm 58 an die nachfolgende Station 30 weiter. Diese übernimmt die Adresse und bestätigt die Adresszuweisung. Auf diese Weise erhalten alle Stationen der Reihe nach eine eindeutige Adresse, die im einfachsten Fall der Position der jeweiligen Station innerhalb der Reihe entspricht. Aufgrund der Bestätigungstelegramme erfährt die erste Station 26, wie viele nachfolgende Stationen angeschlossen sind. Bei sicherheitsrelevanten Stationen kann eine zugewiesene Adresse vorteilhaft mit Hilfe von weiterem Telegrammverkehr verifiziert werden.

Wie weiter oben schon angedeutet wurde, sind das neue Verfahren und die neue Vorrichtung insoweit flexibel, als dass sich die Datentelegramme 52a, 52b, die an verschiedene Stationen 34, 32 adressiert sind, strukturell voneinander unterscheiden können, was in Fig. 1 anhand der beiden Datentelegramme 52a, 52b symbolisch dargestellt ist.

Die Stationen 28 bis 34 codieren ihre Sendedaten an die erste Station 26 in den bevorzugten Ausführungsbeispielen mit einem Codewort 60, das von der ersten Station 26 mit jedem Datentelegramm 52 versendet wird. In den bevorzugten Ausführungsbeispielen ändert die erste Station das Codewort in jedem neuen Kommunikationszyklus 64. Zusätzlich senden die Stationen 28 bis 34 in den bevorzugten Ausführungsbeispielen auch die uncodierten Informationen, gewissermaßen also im „Klartext“. Auf diese Weise erhält die erste Station 26 die Daten der anderen Stationen zweifach und kann anhand der unterschiedlichen Übertragung (Klartext und variabel codiert) eine Plausibilitätsprüfung vornehmen. Insbesondere ist es mit Hilfe der variablen Codewörter möglich, stuck-at Fehler zu entdecken, auch wenn die Daten der einzelnen Stationen über viele Zeitintervalle gleichbleibend sind. In diesen Ausführungsbeispielen eignet sich das Steuerungssystem 10 besonders gut zur Steuerung von sicherheitsrelevanten Prozessen. Weitere Details zum Kodieren der Daten anhand der zeitlich variierenden Codewörter 60 sind in DE 103 20 522 A1 beschrieben, auf die hier vollumfänglich Bezug genommen ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Übertragen von Daten in einem automatisierten Steuerungssystem (10) mit einer Vielzahl von räumlich verteilten Stationen (26 – 34), die von Station zu Station zu einer Reihe (41) von Stationen verbunden sind, wobei die Reihe eine erste Station (26), zumindest eine zweite Station (28 – 32) und eine letzte Station (34) aufweist, wobei die erste Station (26) und jede zweite Station (28 – 32) einen Nachfolger in der Reihe (41) besitzen, und wobei jede zweite Station (28 – 32) und die letzte Station (34) einen Vorgänger in der Reihe (41) besitzen, mit den Schritten:
 - die erste Station (26) erzeugt eine Anzahl von separaten Datentelegrammen (52), die gleich der Anzahl der zweiten Stationen (28 – 32) plus der letzten Station (34) ist, wobei jedes Datentelegramm (52) an genau eine der Stationen (28 – 34) adressiert ist,
 - die erste Station (26) versendet die Datentelegramme (52) in definierten Zeitintervallen (66) einzeln an ihren Nachfolger (28), wobei die Datentelegramme (52) in umgekehrter Reihenfolge der Stationen adressiert sind,
 - jede zweite Station (28 – 32) empfängt ein Datentelegramm (52) von ihrem jeweiligen Vorgänger und sendet das empfangene Datentelegramm (52) nach Art einer Eimerkette an ihren jeweiligen Nachfolger, bis sie ein Datentelegramm (52) erhält, das an sie selbst adressiert ist,
 - die zweiten Stationen (28 – 32) und die letzte Station (34) erzeugen jeweils ein individuelles Antworttelegramm (70), das an die erste Station (26) adressiert ist, und senden die individuellen Antworttelegramme (70) nach Art einer Eimerkette an ihren jeweiligen Vorgänger.

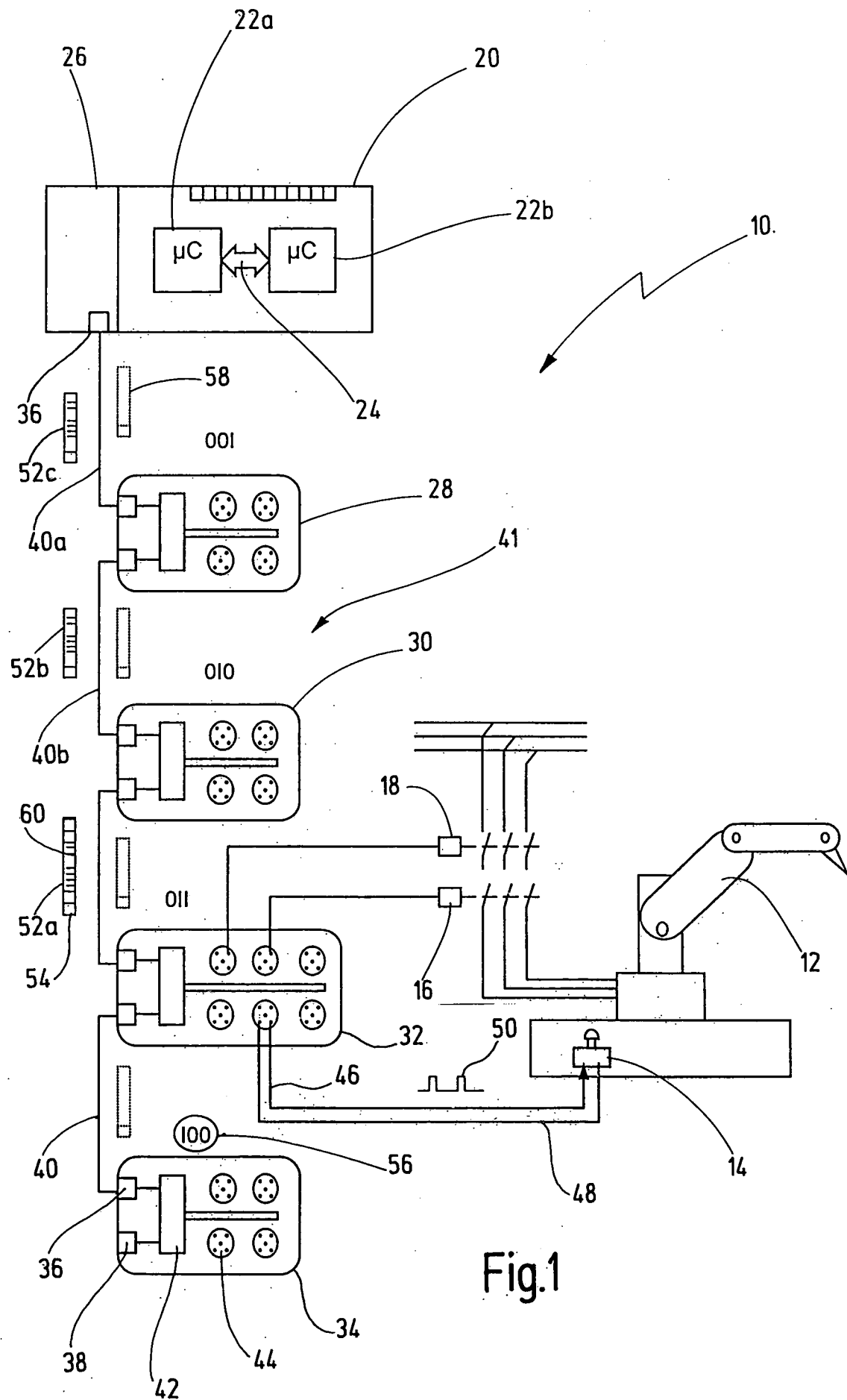
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stationen (26 – 34) die Datentelegramme (52) alle weitgehend zeitgleich an ihren jeweiligen Nachfolger senden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Stationen (28 – 32) und die letzte Station (34) die empfangenen Datentelegramme (52) weitgehend zeitgleich zueinander verarbeiten, um die individuellen Antworttelegramme (70) weitgehend zeitgleich zu erzeugen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Station (26) vor dem erstmaligen Versenden von Datentelegrammen (52) eine Vielzahl von Adressvergabetelegrammen (58) erzeugt und an ihren Nachfolger (28) versendet, wobei den zweiten Stationen (28 – 32) und der letzten Station (34) jeweils eine eindeutige Stationsadresse (56) anhand der Adressvergabetelegramme (58) zugewiesen wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass alle zweiten Stationen (28 – 32), die eine eindeutige Stationsadresse (56) erhalten haben, die Adressvergabetelegramme (58) an ihren jeweiligen Nachfolger versenden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass jede zweite Station (28 – 32) einen ersten und einen separaten zweiten Busanschluss (36, 38) besitzt, wobei jede zweite Station (28 – 32) über den ersten Busanschluss (36) mit ihrem Vorgänger und über den zweiten Busanschluss (38) mit ihrem Nachfolger verbunden ist.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Busanschlüsse (36, 38) CAN-Bus kompatibel sind.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Station (26) die Datentelegramme (52) in zyklisch wiederkehrenden

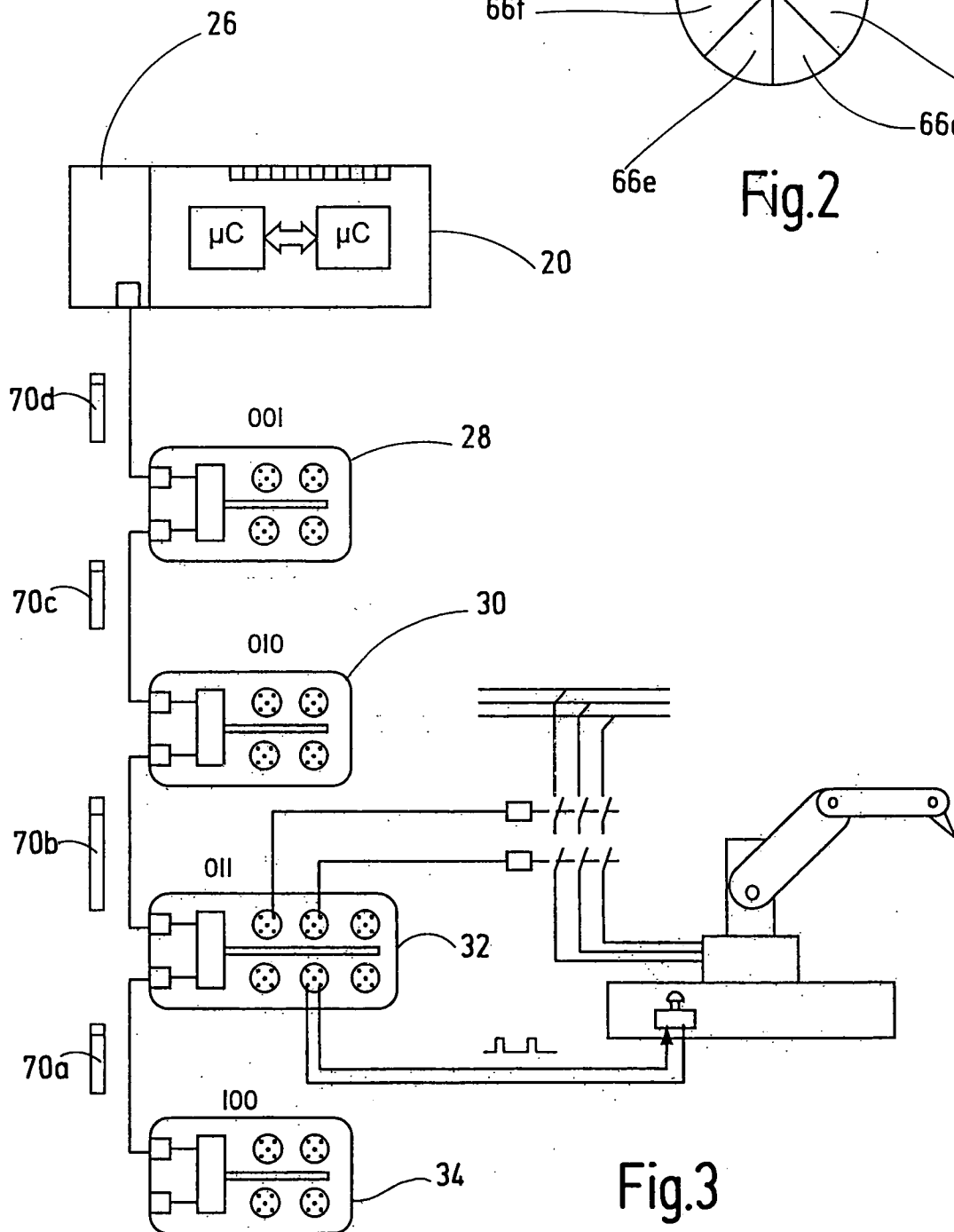
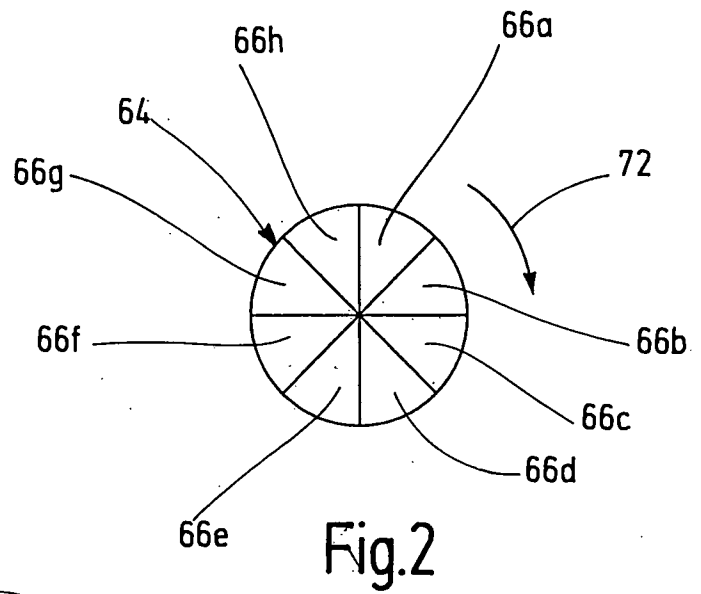
Zeitintervallen (66) versendet, wobei jedes Datentelegramm (52) ein Codewort (60) enthält, das von Zeitintervall zu Zeitintervall variiert, und wobei die zweiten Stationen (28 – 32) und die letzte Station (34) die jeweiligen individuellen Antworttelegramme (70) in Abhängigkeit von dem zeitlich variierenden Codewort (60) erzeugen.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Station (26) für jede zweite Station (28 – 32) und für die letzte Station (34) ein individuelles Datentelegramm (52) erzeugt und versendet, wobei die individuellen Datentelegramme (52) für zumindest zwei verschiedene Stationen (32, 34) strukturell unterschiedlich sind.
10. Steuerungssystem mit einer Vielzahl von räumlich verteilten Stationen (26 – 34), von denen zumindest einige Eingangsanschlüsse (44) zum Anschluss von Sensoren (14) oder Ausgangsanschlüsse zum Anschluss von Aktoren (16, 18) aufweisen, wobei die Stationen (26 – 34) von Station zu Station zu einer Reihe (41) von Stationen verbunden sind, wobei die Reihe (41) eine erste Station (26), zumindest eine zweite Station (28 – 32) und eine letzte Station (34) aufweist, wobei die erste Station (26) und jede zweite Station (28 – 32) einen Nachfolger in der Reihe (41) besitzen, und wobei jede zweite Station (28 – 32) und die letzte Station (34) einen Vorgänger in der Reihe (41) besitzen, und wobei
 - die erste Station (26) dazu ausgebildet ist, eine Anzahl von separaten Datentelegrammen (52) zu erzeugen, die gleich der Anzahl der zweiten Stationen (28 – 32) plus der letzten Station (34) ist, wobei jedes Datentelegramm (52) an genau eine der Stationen (28 – 34) adressiert ist,
 - die erste Station (26) ferner dazu ausgebildet ist, die Datentelegramme (52) in definierten Zeitintervallen (66) einzeln an ihren Nachfolger (28)

zu versenden, wobei die Datentelegramme (52) in umgekehrter Reihenfolge der Stationen adressiert sind,

- jede zweite Station (28 – 32) dazu ausgebildet ist, ein Datentelegramm (52) von ihrem jeweiligen Vorgänger zu empfangen und das empfangene Datentelegramm (52) nach Art einer Eimerkette an ihren jeweiligen Nachfolger zu versenden, bis sie ein Datentelegramm (52) erhält, das an sie selbst adressiert ist, und
 - die zweiten Stationen (28 – 32) und die letzte Station (34) jeweils dazu ausgebildet sind, ein individuelles Antworttelegramm (70), das an die erste Station (26) adressiert ist, zu erzeugen und die individuellen Antworttelegramme (70) nach Art einer Eimerkette an ihren jeweiligen Vorgänger zu senden.
11. Dezentrales Peripheriegerät für ein Steuerungssystem (10) nach Anspruch 10, mit einer Anzahl von Anschlüssen (44) zum Anschluss von Sensoren (14) und/oder Aktoren (16, 18), mit einem ersten und einem separaten zweiten Busanschluss (36, 38), und mit einem Kommunikationsbaustein (42), der dazu ausgebildet ist, das dezentrale Peripheriegerät als zweite oder letzte Station (28 – 34) in dem Steuerungssystem (10) nach Anspruch 10 zu betreiben.





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/008261

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G05B19/418 H04L12/417 H04L12/423

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G05B H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 195 45 566 A1 (VDO SCHINDLING [DE] MANNESMANN VDO AG [DE]) 12 June 1997 (1997-06-12)	1,10-11
Y	the whole document	4-9
A		2-3
Y	DE 10 2007 028387 A1 (MEMMINGER IRO GMBH [DE]) 7 August 2008 (2008-08-07)	1,4-11
A	the whole document	2-3
Y	EP 0 972 388 A2 (ELAN SCHALTELEMENTE GMBH & CO [DE]) 19 January 2000 (2000-01-19) paragraph [0019] - paragraph [0073]	1,6-11
	----- -/-- -----	

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

17 March 2010

Date of mailing of the international search report

24/03/2010

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Patsiopoulos, N

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2009/008261

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 570 215 A (MIURA MASATSUGU [JP] ET AL) 11 February 1986 (1986-02-11) figures 1-6 column 3, line 10 - column 4, line 42 column 6, line 16 - column 7, line 41 column 10, line 39 - column 12, line 20 -----	2-3
A	DE 199 28 517 A1 (PILZ GMBH & CO [DE]) 11 January 2001 (2001-01-11) the whole document -----	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2009/008261

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19545566	A1	12-06-1997	NONE
DE 102007028387	A1	07-08-2008	DE 102007029272 A1 07-08-2008 EP 2126642 A1 02-12-2009 WO 2008092589 A1 07-08-2008
EP 0972388	A2	19-01-2000	WO 9844469 A2 08-10-1998 WO 9844399 A2 08-10-1998 EP 0972389 A2 19-01-2000 JP 2001527713 T 25-12-2001 US 6853292 B1 08-02-2005
US 4570215	A	11-02-1986	NONE
DE 19928517	A1	11-01-2001	AT 237150 T 15-04-2003 AU 6428300 A 09-01-2001 WO 0079353 A1 28-12-2000 EP 1188096 A1 20-03-2002 JP 2003502770 T 21-01-2003 US 2002126620 A1 12-09-2002

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/008261

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G05B19/418 H04L12/417 H04L12/423

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

G05B H04L

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 195 45 566 A1 (VDO SCHINDLING [DE] MANNESMANN VDO AG [DE]) 12. Juni 1997 (1997-06-12)	1,10-11
Y	das ganze Dokument	4-9
A		2-3
Y	DE 10 2007 028387 A1 (MEMMINGER IRO GMBH [DE]) 7. August 2008 (2008-08-07)	1,4-11
A	das ganze Dokument	2-3
Y	EP 0 972 388 A2 (ELAN SCHALTELEMENTE GMBH & CO [DE]) 19. Januar 2000 (2000-01-19) Absatz [0019] - Absatz [0073]	1,6-11
	----- -/-	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

17. März 2010

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

24/03/2010

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Patsiopoulos, N

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2009/008261

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 570 215 A (MIURA MASATSUGU [JP] ET AL) 11. Februar 1986 (1986-02-11) Abbildungen 1-6 Spalte 3, Zeile 10 - Spalte 4, Zeile 42 Spalte 6, Zeile 16 - Spalte 7, Zeile 41 Spalte 10, Zeile 39 - Spalte 12, Zeile 20 -----	2-3
A	DE 199 28 517 A1 (PILZ GMBH & CO [DE]) 11. Januar 2001 (2001-01-11) das ganze Dokument -----	1-11

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/008261

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19545566	A1	12-06-1997	KEINE	
DE 102007028387	A1	07-08-2008	DE 102007029272 A1	07-08-2008
			EP 2126642 A1	02-12-2009
			WO 2008092589 A1	07-08-2008
EP 0972388	A2	19-01-2000	WO 9844469 A2	08-10-1998
			WO 9844399 A2	08-10-1998
			EP 0972389 A2	19-01-2000
			JP 2001527713 T	25-12-2001
			US 6853292 B1	08-02-2005
US 4570215	A	11-02-1986	KEINE	
DE 19928517	A1	11-01-2001	AT 237150 T	15-04-2003
			AU 6428300 A	09-01-2001
			WO 0079353 A1	28-12-2000
			EP 1188096 A1	20-03-2002
			JP 2003502770 T	21-01-2003
			US 2002126620 A1	12-09-2002