

(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
7. April 2005 (07.04.2005)

PCT

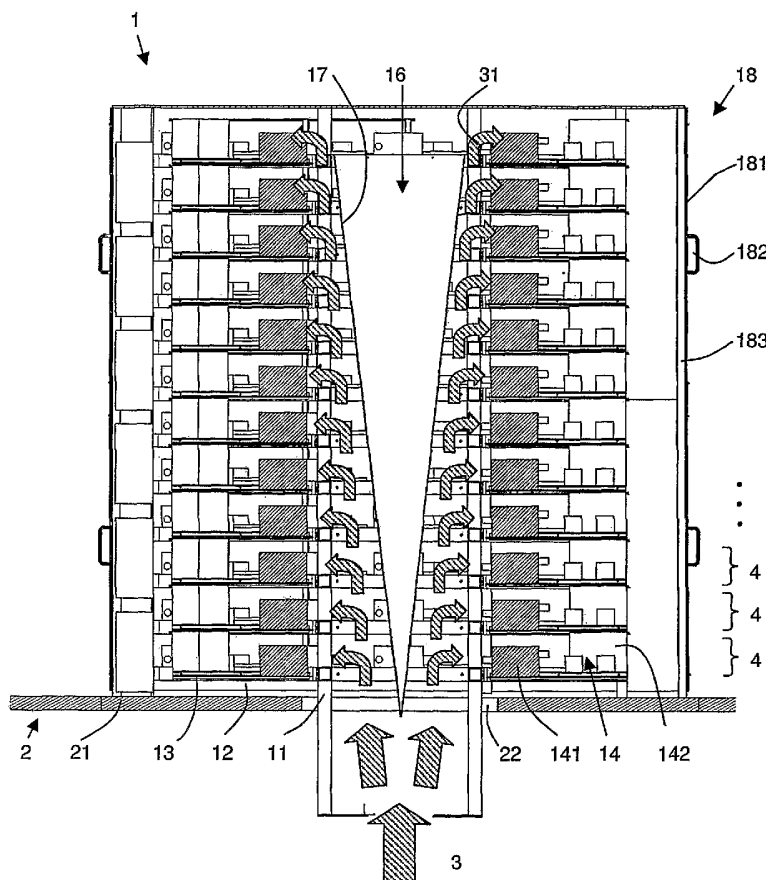
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/031549 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G06F 1/16 (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): UNIVERSITÄT ZÜRICH [CH/CH]; Prorektorat Forschung, Rämistrasse 71, CH-8006 Zürich (CH).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/CH2004/000603
- (22) Internationales Anmeldedatum: 28. September 2004 (28.09.2004) (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MOORE, Ben [GB/CH]; Grabenwiese 34, CH-8484 Weisslingen (CH). STADEL, Joachim [DE/CH]; Luchswiesenstrasse 140, CH-8057 Zürich (CH).
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 03405704.2 29. September 2003 (29.09.2003) EP (74) Anwalt: UNITECTRA; Möhrlistrasse 23, CH-8006 Zürich (CH).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: PARALLEL DATA PROCESSING DEVICE

(54) Bezeichnung: PARALLELE DATENVERARBEITUNGSEINRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to a parallel data processing device (1) consisting of a great number of data processing units (14). Each data processing unit is provided with a horizontally oriented plate (140) and at least one CPU or a store unit mounted thereon. Several processing units form a horizontal group (4), wherein data processing units of each horizontal group are disposed substantially on the same horizontal plane and surround a vertical opening. Several of said horizontal groups (4) of the data processing units (14) are superimposed in such way that said vertical openings form a vertical air guiding hole (16). Each data processing unit (14) is provided with means (142) for connecting at least one network cable (151, 152, 153, 154) disposed on the external surfaces of the data processing arrangement (1). A deflector (17) for deviating air is also disclosed.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine parallele Datenverarbeitungseinrichtung (1), die eine Mehrzahl von Datenverarbeitungseinheiten (14) umfasst. Jede Datenverarbeitungseinheit (14) weist eine horizontal

ausgerichtete Platine (140) und mindestens eine darauf montierte

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2005/031549 A2



(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, 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, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

CPU oder Speichereinheit auf. Jeweils eine Mehrzahl von Datenverarbeitungseinheiten (14) bilden eine horizontale Gruppe (4), wobei die Datenverarbeitungseinheiten jeder horizontalen Gruppe (4) im wesentlichen in der selben horizontalen Ebene angeordnet sind und eine vertikale Öffnung umschliessen. Eine Mehrzahl von solchen horizontalen Gruppen (4) von Datenverarbeitungseinheiten (14) sind so übereinander angeordnet, dass die genannten vertikalen Öffnungen einen vertikalen Schacht (16) zur Führung von Luft (3) bilden. Jede Datenverarbeitungseinheit (14) weist Mittel (142) zum Anschluss mindestens einen Netzkabels (151, 152, 153, 154) auf, die an den Aussenseiten der parallelen Datenverarbeitungsanlage (1) angeordnet sind. Des weiteren wird ein Deflektor (17) zur Umlenkung von Luft offenbart.

Parallele Datenverarbeitungseinrichtung

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft eine parallele Datenverarbeitungseinrichtung, d.h., eine Einrichtung mit einer Vielzahl gleichartiger Datenverarbeitungseinheiten.

Hintergrund der Erfindung

In den letzten Jahren hat die Computertechnologie eine dramatische Entwicklung erfahren. Computer, insbesondere auch Arbeitsplatzrechner, mit hoher Leistung sind heute für einen verhältnismässig geringen Betrag kommerziell erhältlich. Dies hatte und hat auch Auswirkungen auf die Entwicklung von so genannten Supercomputern. Unter einem Supercomputer versteht man einen Computer, dessen Leistungsfähigkeit erheblich über dem von üblichen Arbeitsplatzrechnern oder Workstations liegt und der für die Bewältigung von sehr rechenintensiven Aufgaben optimiert ist.

Supercomputer zeichnen sich im allgemeinen durch eine spezielle Architektur aus, welche sich von der Architektur üblicher Arbeitsplatzrechner unterscheidet. Ein Bauprinzip, das sich in den letzten Jahren fast vollständig durchgesetzt hat, ist der Einsatz einer Vielzahl von zentralen Mikroprozessoren (engl. Central Processing Units oder CPUs). Die hohe Rechenleistung ergibt sich durch den gleichzeitigen („parallelen“) Einsatz vieler CPUs. Im Bereich dieser so genannten Parallel-

rechner unterscheidet man wiederum eine Reihe verschiedener Bauformen, z.B. so genannte Shared-Memory-Parallelrechner (SMP), Message-Passing-Parallelrechner (MPP) oder weitere Architekturen. Im Rahmen dieser Beschreibung ist unter einem Parallelrechner jeder Rechner zu verstehen, der eine Mehrzahl von CPUs, z.B. mehr als vier CPUs, sowie Mittel zum Austausch von Daten zwischen den CPUs aufweist.

Eine Klasse, die sich in den letzten Jahren vermehrt durchsetzt, sind die so genannten Beowulf-Cluster. Diese enthalten eine Vielzahl von kommerziell erhältlichen Recheneinheiten, wie sie in üblichen Arbeitsplatzrechnern Verwendung finden. Die Recheneinheiten, die üblicherweise jeweils auf einer einzelnen Hauptplatine (häufig als Motherboard oder Mainboard bezeichnet) montiert sind, werden in der Regel in ein eigens dafür hergestelltes Gestell eingebaut. Häufig werden sie mit einer speziellen Lüftungsanordnung gekühlt. Die einzelnen Recheneinheiten sind durch ein schnelles Netzwerk untereinander sowie mit einem zentralen Server verbunden. Als Betriebssystem wird häufig Linux verwendet. Ein Vorteil eines solchen Beowulf-Clusters besteht darin, dass weitgehend kommerzielle Komponenten verwendet werden, die im Massenmarkt Verwendung finden und daher kostengünstig erhältlich sind.

Bei der Konstruktion eines Beowulf-Clusters, aber auch bei der Konstruktion eines beliebigen anderen Parallelrechners, stellen sich verschiedene Probleme. Eines dieser Probleme hängt mit der Kühlung der Wärmeleistung abgebenden Komponenten zusammen, insbesondere der Mikroprozessoren. Wegen der hohen Zahl und Dichte solcher Komponenten in einem Parallelrechner kann eine sehr erhebliche Leistungsdichte der Wärmeabgabe resultieren. Die Wärme muss folglich effizient abgeführt werden. Hierfür wird häufig eine Vielzahl von einzelnen

Lüftern eingesetzt, welche Luft durch jede einzelne Recheneinheit hindurch blasen oder saugen. Eine solche Anordnung wird zum Beispiel in der US-Patentschrift 6,374,627 an Schumacher et al. vorgeschlagen. Eine Vielzahl von Recheneinheiten sind in mehreren Reihen von geraden Gestellen angeordnet. Jeweils zwischen zwei Gestellreihen wird kalte Luft vom Boden her nach oben zugeführt. Mit Hilfe einer Vielzahl von einzeln elektrisch betriebenen Lüftern wird die kalte Luft umgelenkt und an den Wärme erzeugenden Teilen vorbei geführt. Dies führt bei einer grossen Zahl von Recheneinheiten jedoch zu Problemen, weil schon der Ausfall eines einzelnen Lüfters zu Betriebsstörungen führen kann.

Es sind daher verschiedene Anordnungen vorgeschlagen worden, die dieses und andere Probleme umgehen sollen. So wird in der US-Patentschrift 5,150,279 an Collins et al. eine ringförmige Anordnung von Computerplatinen vorgeschlagen. Die Kühlluft wird axial in das Innere des Rings zugeführt, wo eine Struktur mit einer Vielzahl von Kühlblechen angebracht ist, die jeweils einen Teil des Kühlluftstromes in eine radiale Richtung hin zu horizontalen Platinen ablenken. Die horizontalen Platinen enthalten nur Speicherbausteine und Bausteine zur Datenweiterleitung. Die CPUs sind dagegen am äusseren Rand des Rings auf eigenen, vertikal angeordneten Platinen angebracht. Diese Struktur ist relativ komplex und nicht auf den Aufbau eines Clusters von unabhängigen Recheneinheiten übertragbar.

Ein weiteres Problem betrifft die Vernetzung der einzelnen Recheneinheiten. Um eine schnelle Datenübertragung zu gewährleisten, ist es wünschenswert, die Verbindungen zwischen den Recheneinheiten möglichst kurz zu halten. Um dieses Problem zu lösen, ist zum Beispiel in der US-Patentschrift 6,327,143

vorgeschlagen worden, eine Mehrzahl von Recheneinheiten entlang eines Kreisbogens anzuordnen. Die Verbindung zwischen den Recheneinheiten erfolgt mittels Kabeln auf der Innenseite des Kreisbogens. Hierdurch wird gegenüber einer linearen Anordnung eine Verkürzung der Kabellängen gewährleistet. Ein Nachteil einer solchen Anordnung ist jedoch die schlechte Zugänglichkeit der Netzwirkabel.

Ähnliche Probleme bestehen auch bei anderen parallelen Datenverarbeitungseinrichtungen, insbesondere bei parallelen Speichereinrichtungen, bei denen eine Vielzahl gleichartiger Speichereinheiten vorhanden sind, Wärme produzieren und miteinander vernetzt werden müssen.

Zusammenfassung der Erfindung

Es stellt sich daher die Aufgabe, eine parallele Datenverarbeitungseinrichtung mit einer Mehrzahl von Datenverarbeitungseinheiten zu schaffen, die eine effiziente Kühlung ohne die genannten Nachteile ermöglicht, die einfach aufgebaut ist, eine einfache Zugänglichkeit der Datenverarbeitungseinheiten aufweist, und die eine gut zugängliche Vernetzung der einzelnen Datenverarbeitungseinheiten ermöglicht.

Die Aufgabe wird gelöst durch eine parallele Datenverarbeitungseinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Demgemäss ist eine Mehrzahl von unabhängigen Datenverarbeitungseinheiten vorhanden, die jeweils über eine (Haupt-) Platine mit mindestens einer eigenen, darauf montierten CPU oder eine eigene Speichereinheit verfügen. In der Regel werden auf jeder der Hauptplatinen noch weitere Komponenten angeordnet sein. Die Platinen sind horizontal ausgerichtet. Sie sind so

angeordnet, dass sich jeweils eine Anzahl von Datenverarbeitungseinheiten im wesentlichen in der selben horizontalen Ebene befinden; diese bilden eine horizontale Gruppe. Die Anordnung der Datenverarbeitungseinheiten innerhalb einer horizontalen Gruppe ist im wesentlichen ringförmig, d.h., die Datenverarbeitungseinheiten sind so angeordnet, dass sie eine zentrale, vertikale Öffnung definieren, umschliessen und freilassen. Mehrere horizontale Gruppen von Datenverarbeitungseinheiten sind übereinander angeordnet und dabei in der Regel auch gleich orientiert. Die zentralen Öffnungen der horizontalen Gruppen kommen auf diese Weise übereinander zu liegen und bilden einen vertikalen Schacht. Dieser dient zur Zuführung oder Abführung von Luft, die zur Kühlung der Datenverarbeitungseinheiten eingesetzt werden kann. Um die einzelnen Datenverarbeitungseinheiten miteinander zu vernetzen, sind auf jeder Datenverarbeitungseinheit Mittel zum Anschluss mindestens eines Netzkabels vorhanden. Um eine leichte Zugänglichkeit zu gewährleisten, sind diese Mittel, in der Regel Netzwerkkarten, an den Aussenseiten der parallelen Datenverarbeitungseinrichtung angeordnet.

Durch den erfindungsgemässen Aufbau kann ein Kühlluftstrom zentral zugeführt werden und gleichmässig auf die horizontalen Gruppen von Datenverarbeitungseinheiten aufgeteilt werden. Die Anordnung der Netzwerkkarten an der Aussenseite ermöglicht eine einfache Zugänglichkeit der Netzwerkverbindungen.

Weiterhin umfasst die Erfindung eine parallele Datenverarbeitungseinheit mit den Merkmalen des Anspruchs 8 sowie einen Deflektor mit den Merkmalen des Anspruchs 9. Indem ein Deflektor mit kontinuierlicher, sich stetig aufweitender Form vorgesehen wird, d.h., ein Deflektor, dessen horizontale

Querschnittsfläche in einer vertikalen Richtung stetig zunimmt, ermöglicht dieser eine gleichmässige Umlenkung von dem vertikalen Schacht zugeführter Luft in die horizontalen Gruppen von Datenverarbeitungseinheiten oder eine gleichmässige Absaugung von Luft aus den Datenverarbeitungseinheiten in den Schacht.

Die Erfindung umfasst ferner ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 10 zum Betrieb einer parallelen Datenverarbeitungseinheit mit einem vertikalen Schacht. In diesem Verfahren wird Kühlluft dem vertikalen Schacht von unten her zugeführt, was eine besonders effiziente Kühlung ermöglicht.

Unter einer parallelen Datenverarbeitungseinrichtung ist dabei jede Datenverarbeitungseinrichtung zu verstehen, bei der eine Mehrzahl von gleichartigen Datenverarbeitungseinheiten zum Einsatz kommt, die miteinander so verbunden sind, dass sie untereinander Daten austauschen können. Insbesondere sind unter diesem Begriff zu verstehen: Parallelrechner und parallele Speichereinrichtungen.

Vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung wird im folgenden anhand von bevorzugten Ausführungsformen mit Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert, in denen

Fig. 1 eine schematische seitliche Schnittdarstellung eines Parallelrechners zeigt;

Fig. 2 eine schematische perspektivische Ansicht eines

- Teils eines Parallelrechners zeigt;
- Fig. 3 eine schematische perspektivische Ansicht eines Parallelrechners zeigt;
- Fig. 4 ein Temperaturprofil durch den Parallelrechner zeigt; sowie
- Fig. 5 drei mögliche Profile eines Deflektors zeigt.

Ausführliche Beschreibung der Erfindung

Fig. 1 zeigt eine parallele Datenverarbeitungseinrichtung in Form eines Parallelrechners 1 in einer schematischen seitlichen Schnittdarstellung. Der Parallelrechner 1 ist auf einem Fussboden 2 mit Bodenplatten 21 aufgestellt. Der Fussboden 2 ist ein Blindboden, d.h., unter dem Fussboden 2 befindet sich ein Hohlraum, durch den Kabel und Luftzuführungen verlaufen können. Der Parallelrechner 1 umfasst ein Gestell 11, an dem eine Vielzahl von horizontal angeordneten Rahmen 12 als Haltemittel angebracht sind. In der vorliegenden Ausführungsform sind achtundvierzig solche Rahmen 12 vorhanden. In jedem Rahmen 12 kann eine Basisplatte 13 eingeschoben werden. Jede Basisplatte 13 trägt drei Recheneinheiten (Datenverarbeitungseinheiten) 14. Insgesamt sind also einhundertvierundvierzig Recheneinheiten im Parallelrechner 1 vorhanden. Jede Recheneinheit 14 umfasst eine Hauptplatine 140, wie sie in ähnlicher Form auch in handelsüblichen Arbeitsplatzrechnern eingesetzt wird. Auf jeder Hauptplatine 140 sind verschiedene Komponenten der Recheneinheit 14 montiert, unter anderem zwei CPUs, Speicherbausteine, ein Netzteil 141, sowie eine Netzwerkkarte 142. Somit sind insgesamt zweihundertachtundachtzig CPUs vorhanden. Der Parallelrechner 1 umfasst des weiteren ein Gehäuse 18, welches wenigstens an den Seiten des Rechners zu Schutzzwecken angeordnet ist. Das Gehäuse 18 wird im wesentlichen von gelochten Blechplatten 181 gebildet, die an

vertikalen Stützen 183 aus Winkelprofilen befestigt sind und die ein Durchströmen von Luft vom Inneren des Gehäuses in den umgebenden Aussenraum zulassen, und an denen Handgriffe 182 zum Anbringen und Abnehmen der Blechplatten 181 angebracht sind. Das Gehäuse ist jedoch nicht kritisch für die Funktion des Parallelrechners, und so kann z.B. anstelle von gelochten Blechplatten ein beliebiges anderes Material verwendet werden, welches das Ausströmen von Luft gewährleistet. Gelochtes Blech hat den Vorteil, dass es geeignet ist, elektromagnetische Störungen durch die Wirkung als Faradayscher Käfig abzuschirmen.

Ein innerer Teil des Gestells 11 erstreckt sich in eine Öffnung 22 des Fussbodens 2 hinein. Der innere Teil wird im wesentlichen aus vier vertikalen Vierkantrohren 111 an den vertikalen Kanten eines Turmes sowie einer Vielzahl von horizontalen Vierkantrohren 112 gebildet, die die vertikalen Vierkantrohre 111 verbinden. Das Innere des Gestells 11 lässt einen vertikalen Schacht 16 frei. Der Schacht ist nach unten hin offen und besitzt zu den Seiten hin eine Vielzahl von Öffnungen 113, die von den vertikalen und horizontalen Vierkantrohren 111, 112 begrenzt sind. In diesem Schacht 16 ist ein Deflektor 17 angeordnet, welcher die Form einer auf der Spitze stehenden geraden, regulären, vierseitigen Pyramide mit quadratischer Grundfläche aufweist. Der Deflektor 17 schliesst den Schacht 16 nach oben hin ab. Er dient dazu, einen dem Schacht 16 von unten zugeführten Kühlluftstrom 3 aufzuteilen und in Richtung auf die Recheneinheiten 14 umzulenken.

In Fig. 2 ist ein Teil des Parallelrechners 1 in einer schematischen perspektivischen Darstellung gezeigt, die ein klareres Erkennen des Aufbaus ermöglicht. Teile des Gestells 11,

das Gehäuse 18, der Deflektor 17 sowie eine Anzahl von Rahmen 12 mit Basisplatten 13 und Recheneinheiten 14 wurden zwecks klarerer Darstellung weggelassen. Gleiche Teile sind mit den selben Bezugsziffern wie in der Fig. 1 versehen. Man erkennt insbesondere das Gestell 11 und den in seinem Inneren verlaufenden Schacht 16, in welchen der in Fig. 2 nicht dargestellte Deflektor eingesetzt wird. Des weiteren erkennt man die einzelnen Rahmen 12, die jeweils eine Basisplatte 13 mit je drei Recheneinheiten 14 halten. Eine Netzwerkkarte 142 ist in jeder Recheneinheit 14 an der nach aussen zeigenden Seite der Recheneinheit 14 montiert.

Ebenfalls ist exemplarisch in der Fig. 2 das Konzept der Netzwerkverbindungen zwischen den Recheneinheiten gezeigt. Unter einer Netzwerkverbindung ist in dieser Anmeldung jede Verbindung zu verstehen, die zur Datenübertragung zwischen den Recheneinheiten geeignet ist. Dasselbe gilt für den Begriff Netzwerkkabel und andere auf ein Netzwerk bezogene Begriffe. Insbesondere kann es sich bei einer Netzwerkverbindung um eine Verbindung handeln, bei der elektrische Signale übertragen werden, oder um eine Verbindung, bei der optische Signale übertragen werden. Dementsprechend kann es sich bei einem Netzwerkkabel um ein geeignetes elektrisches Kabel oder ein geeignetes optisches Lichtwellenleiter-Kabel handeln. Auch hybride Datenübertragungsformen sind denkbar. Jede Recheneinheit ist mit den beiden nächsten Recheneinheiten, die in der selben horizontalen Ebene liegen, durch ein Netzwerkkabel 151 oder 152 verbunden, welches an der Netzwerkkarte der Recheneinheit angeschlossen ist. Dadurch ist in jeder horizontalen Ebene ein geschlossener horizontaler Ring von Netzwerkkabeln 151, 152 vorhanden, über den jede Recheneinheit 14 mit jeder anderen Recheneinheit 14 in der selben horizontalen Ebene verbunden ist. Zudem sind alle Recheneinhei-

ten, die vertikal übereinander liegen, durch einen zweiten, vertikalen Ring von Netzkabeln 153, 154 miteinander verbunden. Dieser vertikale Ring folgt dem folgenden Schema: Die jeweils unterste Recheneinheit eines Stapels von vertikal übereinander liegenden Recheneinheiten ist mit der zweituntersten Recheneinheit über ein kurzes vertikales Netzkabel 153 verbunden. Ebenfalls ist die unterste Recheneinheit mit der drittuntersten Recheneinheit über ein längeres vertikales Netzkabel 154 verbunden. In ähnlicher Weise ist die oberste Recheneinheit über zwei vertikale Netzkabel mit der zweit- und drittobersten Recheneinheit verbunden. Alle weiteren Recheneinheiten sind mit der jeweils übernächsten Recheneinheit in vertikaler Richtung sowohl nach unten als auch nach oben verbunden. Insgesamt ergibt sich so ein geschlossener vertikaler Ring. Da in der gezeigten Anordnung zwölf vertikale Stapel von je zwölf Recheneinheiten vorhanden sind, bilden die vertikalen Ringe von Netzkabeln zusammen einen Torus von Netzkabeln. Zusammen mit den zwölf horizontalen Ringen spricht man von einem doppel-toroidalen Schema der Verkabelung. Es versteht sich, dass die Darstellung in der Fig. 2 nur schematisch ist, insbesondere, dass zwischen allen und nicht nur zwischen den gezeigten Recheneinheiten Netzwerkverbindungen bestehen. Auch sind andere Netzwerktopologien möglich, wie eine Kommunikation über einen einzigen zentralen Switch oder eine Vernetzung von mehreren unabhängigen doppel-toroidalen Anordnungen. Auch sind dreidimensional-toroidale Vernetzungen beschrieben worden. Im vorliegenden Fall widerspiegelt jedoch das hier beschriebene doppel-toroidale Schema des Datenaustausches das physikalische Bauprinzip des Parallelrechners besonders gut.

Jede Netzkarte stellt eine Schnittstelle zwischen dem internen Datenbus (z.B. PCI-Bus) der Recheneinheit und einem

oder mehreren Netzwerkkabeln her. Ein bevorzugtes Protokoll für den Betrieb der Netzwerkverbindungen ist das sog. SCI (scalable coherent interface)-Protokoll. Dieses steht seit ca. 1992 zur Verfügung und ist unter der ANSI/IEEE-Norm 1596 standardisiert.

In der vorliegenden Ausführungsform erlaubt eine einzige Netzwerkkarte pro Recheneinheit den Anschluss sowohl der horizontalen als auch der vertikalen Netzwerkkabel, d.h., es stehen pro Netzwerkkarte mindestens vier Anschlüsse für Netzwerkkabel zur Verfügung; es können jedoch auch mehrere Netzwerkkarten, insbesondere zwei Netzwerkkarten vorhanden sein, wobei z.B. eine Netzwerkkarte für die Kommunikation mit den Recheneinheiten in der selben horizontalen Ebene und eine weitere Netzwerkkarte für die Kommunikation mit den Recheneinheiten innerhalb des selben vertikalen Stapels zuständig ist.

Die Netzwerkverbindungen zwischen den Recheneinheiten müssen möglichst grosse Datenmengen pro Zeiteinheit übertragen können. Für die schnelle Datenübertragung sind verschiedene Systeme auf dem Markt erhältlich. Alle Systeme haben gemeinsam, dass ihre Latenzzeit mit der Wegstrecke, über die Daten übertragen werden, zunimmt. Dies ist physikalisch bedingt, da die Daten maximal mit der jeweiligen Gruppengeschwindigkeit des Übertragungsmediums, maximal mit der Vakuumlichtgeschwindigkeit, übertragen werden können. Sofern es sich um Systeme handelt, bei denen elektrische Signale übertragen werden, haben diese Systeme ferner das Problem gemeinsam, dass die Wegstrecken, über die Daten übertragen werden können, mit zunehmender Übertragungsrates oder Bandbreite kürzer werden. Um eine kurze Latenzzeit und hohe Bandbreite der Datenübertragung zu gewährleisten, müssen die Verbindungen also möglichst kurz

gehalten werden. Diese Anforderung ist beim vorliegenden Parallelrechner gut erfüllt. Zwischen den Recheneinheiten, die auf der selben Basisplatte montiert sind (hier jeweils drei Stück) sind die Verbindungslängen im wesentlichen mit der Breite einer Recheneinheit identisch. Zur Verbindung dienen die kürzeren horizontalen Netzkabel 151. Für die Verbindungen zur jeweils nächsten Basisplatte sind längere horizontale Netzkabel 152 erforderlich. Die kürzeren und längeren horizontalen Kabel können von der selben Bauart oder von unterschiedlicher Bauart sein. Ein grosser Vorzug des vorliegenden Aufbaus ist, dass keine Netzkabel notwendig sind, die erheblich grössere Längen als die durchschnittliche Kabellänge aufweisen. Dies lässt sich bei vielen anderen Bauarten von Parallelrechnern dagegen nicht vermeiden.

Eine weitere, nicht in den Zeichnungen gezeigte Netzwerkverbindung besteht zwischen jeder Recheneinheit und einem zentralen Server oder Switch (ebenfalls nicht dargestellt). Bei diesen Verbindungen handelt es sich bevorzugt um handelsübliche Ethernet-Verbindungen, z.B. 100 Mbit oder 1 Gbit-Ethernet-Verbindungen. Die dafür benötigten Komponenten (insbesondere Netzwerkkarten und Kabel) finden auch im Massenmarkt Verwendung und sind dadurch kostengünstig erhältlich. Die Leistungsfähigkeit dieser Verbindungen ist nicht von kritischer Bedeutung, da während der Berechnungen in der Regel ein Grossteil der Kommunikation, soweit diese nötig ist, zwischen den Recheneinheiten über das schnelle doppel-toroidale Netzwerk des Parallelrechners stattfindet. Der zentrale Server umfasst bevorzugt einen sog. Ethernet-Switch, der dazu in der Lage ist, die einhundertvierundvierzig einzelnen Netzwerkverbindungen zu den Recheneinheiten zu steuern und so eine Kommunikation zwischen dem Server und jeder Recheneinheit zu ermöglichen. Für die Netzwerkverbindung jeder Rechenein-

heit mit dem zentralen Server ist auf jeder Recheneinheit eine zweite, in den Zeichnungen nicht dargestellte Netzwerkkarte vorhanden. Auch diese ist bevorzugt aussen angeordnet, um eine leichte Zugänglichkeit zu gewährleisten.

Die Fig.3 zeigt den gesamten Parallelrechner nochmals in einer stark schematischen, perspektivischen Darstellung. Um die einzelnen Teile des Rechners sichtbar zu machen, sind die Blechplatten 181 des Gehäuses 18 transparent dargestellt. Man erkennt insbesondere weitere vertikale Stützen 113 des Gestells 11 an den Aussenkanten des Parallelrechners 1, welche die Stabilität und Standsicherheit erhöhen.

Ein wichtiges Merkmal des vorliegenden Parallelrechners ist der vertikale Schacht 16. Dieser dient zur Zuführung von gekühlter Luft, die durch die seitlichen Öffnungen des Gestells 11 den Recheneinheiten 14 zur Kühlung zugeführt wird. Hierzu kann z.B. ein Umluftkühler vorgesehen werden, der im selben oder einem benachbarten Raum wie der Parallelrechner aufgestellt wird. Durch den Blindboden 2 wird kalte Luft vom Umluftkühler zum Schacht 16 geführt und in diesen als Primärluftstrom 3 eingeblasen. Um eine gleichmässige Verteilung der Luft vom Schacht in die Recheneinheiten der verschiedenen horizontalen Ebenen zu gewährleisten, ist der Deflektor 17 vorgesehen. In der Fig. 1 weist der Deflektor die Form einer auf der Spitze stehenden geraden, regulären, vierseitigen Pyramide auf. Ein wichtiges Merkmal des Deflektors ist seine kontinuierliche Form. Es sind keine hervorstehenden Teile, z.B. Ablenkbleche, am Deflektor angeordnet. Dies ermöglicht eine einfache und elegante Konstruktion. Der Primärluftstrom 3 wird durch den Deflektor aufgeteilt und gleichmässig auf die horizontalen Ebenen von Recheneinheiten abgelenkt. Dadurch wird jede Recheneinheit 14 von einem Teilluftstrom 31

durchströmt und gekühlt. Die Abluft verlässt radial die Recheneinheiten 14 und gelangt durch das durchlässige Gehäuse 18 in den Aussenraum des Parallelrechners 1. Hier kann sie vom Umluftkühler wieder angesaugt, gefiltert und erneut gekühlt werden. Der Deflektor 17 kann aus jedem geeigneten Material hergestellt sein, z.B. Kunststoff, Metallblech, Holz oder Pappe. Bevorzugt weist das Material aber eine niedrige Wärmeleitfähigkeit auf, um Wärmeverluste vom Aussenraum zu vermeiden.

Der durch den Schacht auf die Recheneinheiten gerichtete Kühlluftstrom weist eine Reihe von Vorteilen auf. Als wohl wichtigster Vorteil ist zu nennen, dass keine aktiven Geräte erforderlich sind, um Luft aus dem Primärluftstrom 3 in die einzelnen Recheneinheiten umzuleiten. In vielen Parallelrechnern des Standes der Technik sind dazu beispielsweise elektrisch angetriebene Ventilatoren vorgesehen, die jedoch häufig ausfallen können und so lokale Überhitzungen verursachen können. Zudem ist die Wartung von derlei mit aktiven Geräten gekühlten Rechnern verhältnismässig aufwändig. Demgegenüber benötigen die im Innern des vorliegenden Parallelrechners vorhandenen Komponenten zur Kühlung keinerlei Wartung. Als weiterer Vorteil ist zu nennen, dass vom Kühler her saubere, gefilterte Luft dem Schacht 16 zugeführt werden kann. Durch den gleichmässigen Luftstrom von innen nach aussen, der den Parallelrechner 1 durchströmt, wird das Eindringen von Staub auch von aussen verhindert, so dass sich keinerlei Staub im Rechner ablagern kann, der den Betrieb des Rechners beeinträchtigen könnte. Staubschutzmassnahmen im Gehäuse 18, wie sie in anderen Rechnern des Standes der Technik üblich sind, erübrigen sich so. Des weiteren ist die Kühlleistung bei der vorliegenden Anordnung von Luftströmungen innerhalb des umgebenden Raums wie auch der Temperatur im umgebenden Raum weit-

gehend unabhängig.

Selbstverständlich können zusätzlich in den einzelnen Recheneinheiten dennoch aktive Lüfter vorgesehen sein. So wird im Regelfall jede CPU einen eigenen CPU-Lüfter aufweisen, der einen gerichteten Luftstrom auf die CPU erzeugt. Im Falle eines Ausfalls eines solchen Lüfters, wie auch bei sonstigen Fehlern, bietet der vorliegende Parallelrechner weitere Vorteile. So ist es aufgrund der Konstruktion mit einem Gestell, an dem Rahmen angeordnet sind, in denen je eine Basisplatte eingeschoben ist, aufgrund der aussen liegenden Netzwerkkabel, und aufgrund der doppel-toroidalen Verkabelung einfach, eine einzelne Basisplatte 13 mit drei Recheneinheiten 14 für Wartungszwecke aus dem Parallelrechner zu entfernen. Hierzu können sogar andere Teile des Parallelrechners fast unbeeinträchtigt in Betrieb bleiben.

Der gezeigte Parallelrechner wurde im Labor aufgebaut und getestet. Es wurden einhundertvierundvierzig Recheneinheiten eingesetzt. Jede Recheneinheit wies in der Breite wenig mehr als die Standardbreite einer Hauptplatine, also weniger als 35 cm auf. Der vertikale Abstand zwischen zwei Recheneinheiten betrug ca. 3 Standard-Rack-Units, d.h. rund 14 cm. Durch den relativ grossen vertikalen Abstand konnten Standard-Netzteile und -Lüfter eingesetzt werden; zudem konnten die Netzwerkkarten direkt, ohne Zwischenadapter, auf den Platinen der Recheneinheiten montiert werden. Weiterhin stellt der relativ grosse Abstand eine gute Durchströmung mit Kühlluft sicher. Der quadratische Querschnitt des vertikalen Schachts 16 wies eine Kantenlänge von ca. 35 cm auf. Dies erwies sich als vollkommen angemessen, um einen ausreichenden Luftstrom zu erreichen. Der Deflektor 17 hatte die in Fig. 1 gezeigte pyramidale Form und wurde aus Pappe gefertigt. Insgesamt wies

der Parallelrechner Abmessungen von ca. $175 \times 175 \text{ cm}^2$ bei einer Höhe von ca. 190 cm auf. Jede Recheneinheit verfügte über zwei CPUs. Somit wurden insgesamt zweihundertundachtundachtzig CPUs, mit einer Taktfrequenz von 1,8 GHz, eingesetzt. Jede Recheneinheit verfügte über 1 GByte RAM-Speicherplatz. Insgesamt waren zusätzlich 11,5 TByte Festplattenkapazität vorhanden. Das Netzwerk zwischen den Recheneinheiten erreichte eine Übertragungsrate von 4 GBit pro Sekunde mit einer Latenzzeit von 5 Mikrosekunden. Insgesamt wurde so eine Rechenleistung von 0,57 Tflops ($5,7 \times 10^{11}$ Gleitkommaoperationen pro Sekunde) beim sog. Linpack-Benchmark (ein weit verbreiteter Leistungstest) erreicht. Im Betrieb erzeugte der Parallelrechner eine Wärmeleistung von ca. 45 kW. Zur Kühlung dienten zwei Umluftluftkühler. Die erzeugte Wärme konnte problemlos abgeführt werden, trotz einer umgebenden Raumtemperatur von bis zu 32 °C.

Fig. 4 zeigt eine graphische Darstellung der Temperaturen T (in °C) in den CPUs der einzelnen horizontalen Gruppen von Recheneinheiten. Hierzu wurde die Temperatur jeder CPU gemessen, und die so ermittelten Temperaturen wurden jeweils über eine horizontale Gruppe (d.h. Ebene) gemittelt. Die Darstellung zeigt diese gemittelte Temperatur (horizontale Achse) in Abhängigkeit von der Ebene N (vertikale Achse). Man sieht, dass eine relativ gleichförmige Temperaturverteilung vorliegt, wobei die höchsten Temperaturen in der dritt- und viertuntersten Ebene auftreten. Keine der Temperaturen übersteigt 60 °C. Die CPUs bleiben bis ca. 75 °C funktionsfähig.

Um die Gleichförmigkeit der Temperaturverteilung weiter zu verbessern, kann das Profil (d.h. die Form eines mittigen Längsschnittes) des Deflektors verändert werden. In der Fig. 5 sind drei mögliche Profile 501, 502 und 503 gezeigt. Durch

ein solches Profil, dessen Steigung (d.h., Zunahme der horizontalen Weite bezogen auf eine Höheneinheit) im unteren Bereich grösser ist als im oberen Bereich, wird erreicht, dass eine grössere Luftmenge in die unteren Ebenen von Recheneinheiten abgelenkt wird und diese dadurch stärker gekühlt werden. Die optimale Form kann leicht empirisch angepasst werden. Alle Deflektoren mit solchen Profilen haben mit der Pyramidenform gemeinsam, dass die Weite des Deflektors in einer vertikalen Richtung stetig zunimmt.

Statt eines Deflektors mit quadratischer Grundfläche ist auch ein Deflektor denkbar, der eine andersartige, z.B. runde oder mehreckige Grundfläche aufweist, z.B. ein Deflektor in Form eines Kegels. Wichtig ist, dass dadurch nicht die Fähigkeit des Deflektors beeinträchtigt wird, zugeführte Luft gleichmässig in die Ebenen des Parallelrechners zu verteilen. Ebenso ist es nicht zwingend nötig, dass der Deflektor an einem Ende eine Spitze aufweist. Eine Form z.B. eines Pyramidenstumpfes kann insbesondere dann vorteilhaft sein, wenn die horizontalen Abmessungen des Parallelrechners grösser sind als im hier dargelegten Fall, insbesondere, wenn die Querschnittsbreite des Schachtes zunimmt, z.B. über 40 cm oder 50 cm hinausgeht. In diesem Fall kann es vorteilhaft sein, den Primärluftstrom schon vor der Zuführung zum Deflektor in eine Anzahl von Teilluftströmen aufzuteilen, die bevorzugt der Zahl der Seitenflächen des Deflektors entspricht.

Selbstverständlich sind diverse Änderungen am Aufbau des Parallelrechners möglich, ohne die zugrunde liegenden Prinzipien zu verlassen. So kann die Anzahl der Recheneinheiten und Prozessoren ohne weiteres herauf- oder herabskaliert werden, ohne das Bauprinzip ändern zu müssen. Anstelle der Rahmen 12 können auch andere geeignete Haltemittel für die Basisplatten

13 eingesetzt werden. Statt jeweils drei Recheneinheiten 14 auf einer Basisplatte 13 anzuordnen, können dies auch mehr oder weniger Recheneinheiten sein, z.B. zwei oder vier. Die Basisplatten 13 können auch ganz weggelassen werden, und stattdessen kann jeweils eine Recheneinheit 14 einzeln von einem Haltemittel gehalten sein. Statt einer Anordnung mit quadratischem Grundriss ist auch eine Anordnung mit dreieckigem, fünf- oder mehreckigem Grundriss denkbar. Dementsprechend kann eine horizontale Gruppe von Recheneinheiten statt zwölf auch mehr oder weniger Recheneinheiten umfassen. Der Deflektor wird dann entsprechend angepasst sein. Das Gestell kann anstatt aus Vierkantrohren auch aus anderen Materialien gefertigt sein, so lange es eine radiale Durchströmung vom Schacht zu den Recheneinheiten zulässt.

In einer Variante kann die Durchströmung mit Kühlluft in umgekehrter Richtung erfolgen. In diesem Falle wird ein Deflektor eingesetzt, der sich von oben nach unten aufweitet und den Schacht 16 am unteren Ende abschliesst. Am oberen Ende des Schachts wird Luft aktiv abgesaugt. Dadurch entsteht eine Durchströmung der Recheneinheiten radial von aussen nach innen. Der radiale Luftstrom wird vom Deflektor nach oben hin umgelenkt und abgeführt. Diese Variante eignet sich z.B. dann, wenn kein Blindboden zur Verfügung steht und daher eine Luftzufuhr von unten erschwert ist. Allerdings können bei einem solchen Konstruktionsprinzip Massnahmen notwendig werden, um ein Eindringen von Schmutz oder Staub in die Recheneinheiten zu verhindern. Weiterhin ist es bei dieser Variante nötig, zumindest einen abgegrenzten Teil des Aussenraums des Parallelrechners zu kühlen, was mit höheren Verlusten verbunden sein kann.

Schliesslich ist es für die Wirkungsweise des Deflektors 17

nicht unbedingt erforderlich, dass die Recheneinheiten den vertikalen Schacht umschliessen. So ist es auch möglich, dass die Recheneinheiten 14 in längs ausgerichteten Gestellen montiert werden, wie dies in normalen sog. Rack-Mount-Systemen der Fall ist (wie z.B. im Prinzip in der US-Patentschrift 6,374,627 gezeigt). Jeweils zwei solche Gestelle werden parallel angeordnet, und der Zwischenraum zwischen den Gestellen wird an den Enden der Gestelle mit geeigneten Mitteln abgeschlossen (z.B. durch je eine vertikale Wand). So bilden die zwei Gestelle zusammen mit den zwei Abschlussmitteln einen Schacht. In diesem wird ein Deflektor angebracht, der sich entlang einer vertikalen Richtung horizontal aufweitet. Im einfachsten Falle hat der Deflektor die Form eines geraden Prismas, d.h., einen rechteckigen Grundriss und einen Querschnitt in Form eines gleichschenkligen Dreiecks bei Schnitt entlang einer Ebene senkrecht zur Längsrichtung der Gestelle. Analog zur Beschreibung in Zusammenhang mit Fig. 5 kann der Deflektor auch die dort gezeigten Querschnitte 501, 502 oder 503 oder andere geeignete Formen aufweisen.

In den voranstehenden Ausführungen wurde meist auf einen Parallelrechner Bezug genommen. Ebenso ist aber auch eine andere Art von paralleler Datenverarbeitungseinrichtung damit erfasst, insbesondere auch eine solche Einrichtung, bei der die primäre Aufgabe der einzelnen Datenverarbeitungseinheiten nicht in der Ausführung von Algorithmen besteht, sondern in einer effizienten Speicherung und Zur-Verfügung-Stellung von Daten. Die Speicherung kann flüchtig bei Stromunterbruch sein, wie in RAM-Bausteinen (RAM = Random Access Memory), oder nichtflüchtig, wie insbesondere auf Festplatten. Von besonderer Bedeutung ist die effiziente Speicherung von grossen Datenmengen auf einer Vielzahl von Festplatten. Hierbei entstehen ähnliche Anforderungen wie bei einem Parallelrechner:

Es muss ein schneller, auch paralleler Datenzugriff auf mehrere Festplatten sowie ein Datenaustausch zwischen diesen gewährleistet sein, d.h., die einzelnen Speichereinheiten, auf denen die Festplatten montiert sind, müssen vernetzbar sein. Ferner produzieren die einzelnen Festplattenlaufwerke und Netzteile Wärme, die effizient abgeführt werden muss. So kann beispielsweise ein Parallelrechner der Beowulf-Klasse auch als solcher „Parallelspeicher“ verstanden und verwendet werden, da auf jeder Hauptplatine normalerweise eine handelsübliche Festplatte vorhanden ist. Bei einer Festplattenkapazität von 80 Gbyte pro Hauptplatine erreicht ein solcher Parallelspeicher eine Speicherkapazität von 11,5 TByte (TeraByte). Ein Mehrfaches davon ist leicht denkbar, insbesondere dann, wenn pro Hauptplatine mehrere Festplattenlaufwerke montiert werden.

Patentansprüche

1. Parallele Datenverarbeitungseinrichtung (1),
 - umfassend eine Mehrzahl von Datenverarbeitungseinheiten (14), wobei jede Datenverarbeitungseinheit (14) eine horizontal ausgerichtete Platine (140) und mindestens eine darauf montierte CPU oder eine darauf montierte Speichereinheit aufweist,
 - wobei jeweils eine Mehrzahl von Datenverarbeitungseinheiten (14) eine horizontale Gruppe (4) bilden, wobei die Datenverarbeitungseinheiten jeder horizontalen Gruppe (4) im wesentlichen in der selben horizontalen Ebene angeordnet sind und eine vertikale Öffnung umschliessen,
 - wobei eine Mehrzahl von solchen horizontalen Gruppen (4) von Datenverarbeitungseinheiten (14) so übereinander angeordnet sind, dass die genannten vertikalen Öffnungen übereinander angeordnet sind und einen vertikalen Schacht (16) zur Führung von Luft (3) bilden, und
 - wobei jede Datenverarbeitungseinheit (14) Mittel (142) zum Anschluss mindestens eines Netzkabels (151, 152, 153, 154) umfasst, und wobei diese Mittel (142) an den Aussenseiten der Datenverarbeitungseinrichtung (1) angeordnet sind.

2. Parallele Datenverarbeitungseinrichtung (1) gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Datenverarbeitungseinrichtung (1) weiterhin einen Deflektor (17) zur Umlenkung von Luft umfasst, der im Inneren des vertikalen Schachts (16) angeordnet ist und eine kontinuierliche Form aufweist, die sich entlang einer vertikalen Richtung horizontal stetig aufweitet.

3. Parallele Datenverarbeitungseinrichtung (1) gemäss Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Deflektor (17) sich von unten nach oben horizontal aufweitet und den vertikalen Schacht (16) am oberen Ende verschliesst.
4. Parallele Datenverarbeitungseinrichtung (1) gemäss Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der vertikale Schacht (16) einen quadratischen Grundriss aufweist und der Deflektor (17) die Form einer geraden vierseitigen Pyramide mit quadratischem Grundriss aufweist.
5. Parallele Datenverarbeitungseinrichtung (1) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Datenverarbeitungseinrichtung (1) weiterhin horizontale und vertikale Netzwerkkabel (151, 152, 153, 154) aufweist, die vollständig an den Aussenseiten der Datenverarbeitungseinrichtung (1) verlaufen, dass die horizontalen Kabel (151, 152) jeweils alle Datenverarbeitungseinheiten (14) einer horizontalen Gruppe (4) ringförmig verbinden, und dass die vertikalen Netzwerkkabel (153, 154) jeweils eine Mehrzahl von Datenverarbeitungseinheiten (14) aus verschiedenen horizontalen Gruppen (4) ringförmig verbinden.
6. Parallele Datenverarbeitungseinrichtung (1) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Datenverarbeitungseinrichtung (1) weiterhin ein Gestell (11) aufweist, welches den vertikalen Schacht (16) umschliesst und seitliche Öffnungen (113) zum Durchströmen von Luft besitzt, und dass an dem Gestell

(11) eine Mehrzahl von horizontal angeordneten Haltemitteln (12) befestigt ist, wobei von jedem Haltemittel (12) mindestens eine Datenverarbeitungseinheit (14) gehalten wird.

7. Parallele Datenverarbeitungseinrichtung (1) gemäss Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Datenverarbeitungseinrichtung (1) ferner eine Mehrzahl von Basisplatten (13) aufweist, dass jedes Haltemittel (12) ein Rahmen ist, dass jeder Rahmen eine Basisplatte (13) hält, und dass auf jeder Basisplatte (13) mindestens zwei Datenverarbeitungseinheiten (14) angeordnet sind.
8. Parallele Datenverarbeitungseinrichtung (1), aufweisend
 - eine Mehrzahl von Datenverarbeitungseinheiten (14);
 - einen vertikalen Schacht (16), an den eine Mehrzahl der Datenverarbeitungseinheiten (14) angrenzt; sowie
 - einen Deflektor (17) zur Umlenkung von Luft, der im Inneren des vertikalen Schachts (16) angeordnet ist und eine kontinuierliche Form aufweist, die sich entlang einer vertikalen Richtung horizontal stetig aufweitet.
9. Deflektor (17) zur Umlenkung von Luft, der zum Einsatz in einem vertikalen Schacht (16) einer parallelen Datenverarbeitungseinrichtung (1) ausgebildet ist, wobei der Deflektor (17) eine kontinuierliche Form aufweist, die sich entlang einer vertikalen Richtung horizontal stetig aufweitet.
10. Verfahren zum Betrieb einer parallelen Datenverarbeitungseinrichtung (1) gemäss einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass Kühlluft (3) dem vertikalen Schacht (16) von unten her zugeführt wird.

1/4

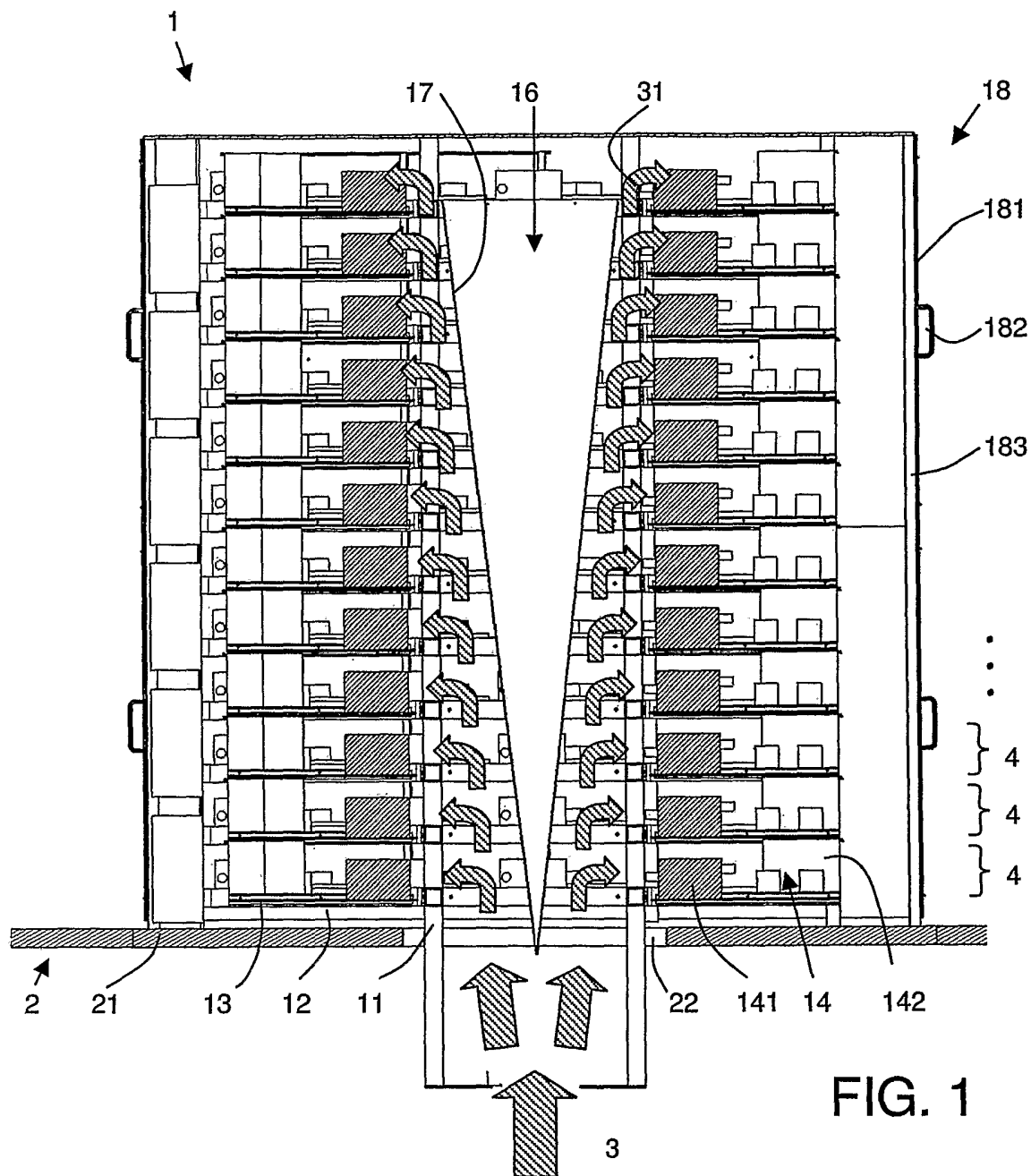
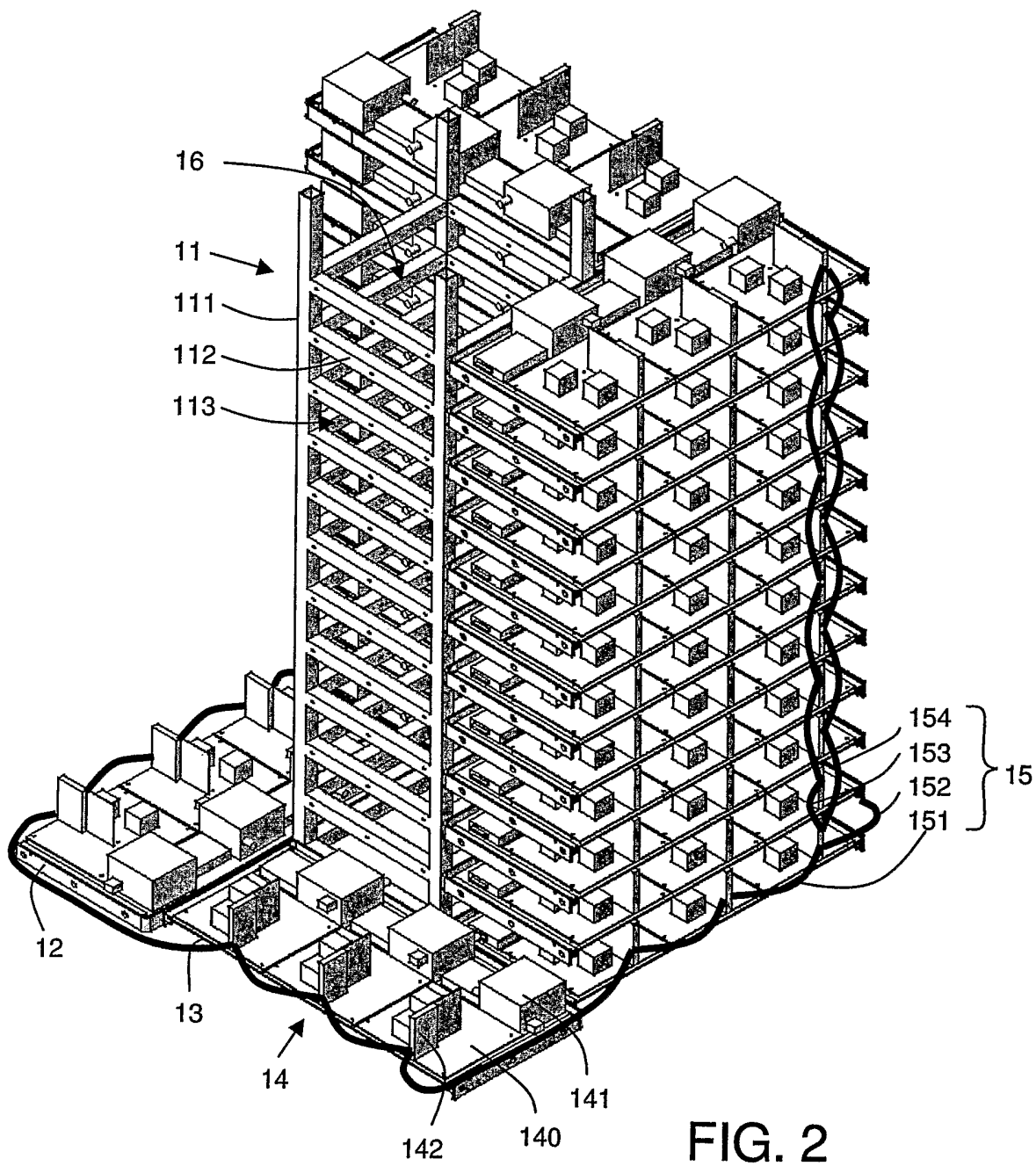


FIG. 1



3/4

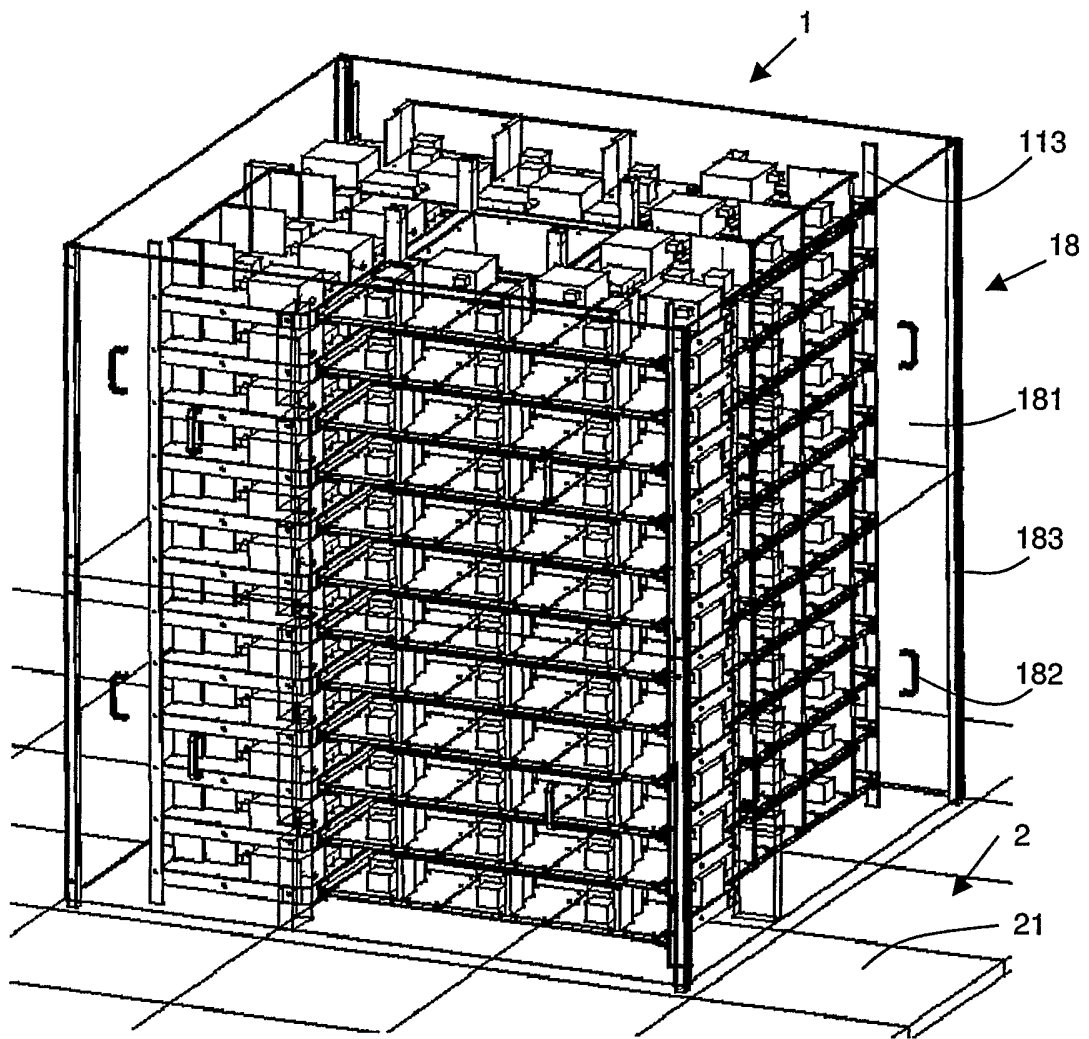


FIG. 3

4/4

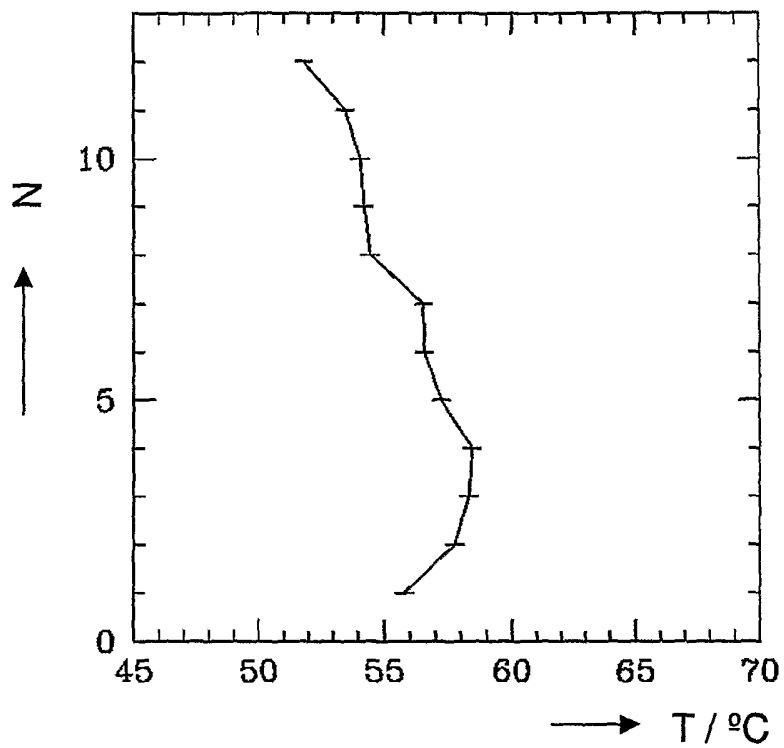


FIG. 4

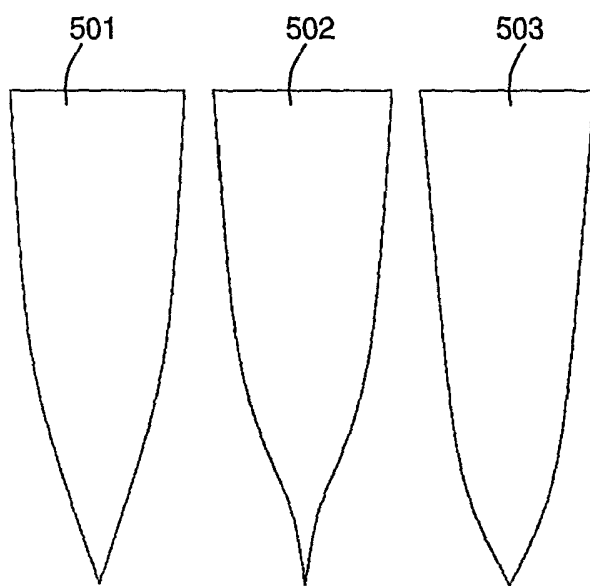


FIG. 5