

(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
31. Januar 2013 (31.01.2013)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/013823 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01N 29/26 (2006.01) *G10K 11/34* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/003160
- (22) Internationales Anmeldedatum:
26. Juli 2012 (26.07.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2011 108 730.7 28. Juli 2011 (28.07.2011) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **NDT SYSTEMS & SERVICES GMBH & CO. KG** [DE/DE]; Friedrich-List-Strasse 1, 76297 Stutensee (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BARBIAN, Otto, Alfred** [DE/DE]; Biesinger Strasse 67, 66440 Blieskastel (DE). **WILLEMS, Herbert** [DE/DE]; Tannenweg 56a, 66809 Nalbach (DE). **ERNST, Hardy** [DE/CH]; Hauptgasse 20, CH-3280 Murten (CH).
- (74) Anwalt: **JANY UND PETERSEN**; Patentanwälte Partnerschaft, Karlstraße 87, 76137 Karlsruhe (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, 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, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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, RS, SE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND APPARATUS FOR ULTRASOUND TESTING USING A MATRIX PHASED ARRAY PROBE

(54) Bezeichnung : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ULTRASCHALLPRÜFUNG MIT EINEM MATRIX PHASED ARRAY PRÜFKOPF

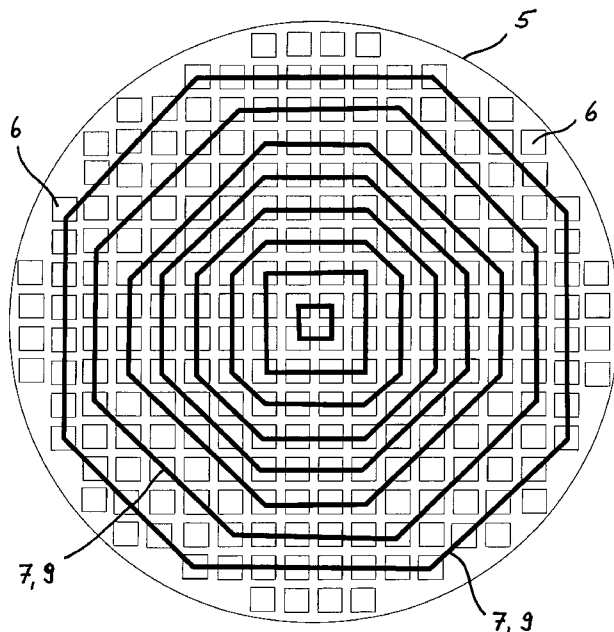


Fig. 5

(57) Abstract: In order to reduce the number of electronic channels required for ultrasound testing of an object under test using a matrix phased array probe (5) which comprises a two-dimensional arrangement of a number of ultrasound sensors/individual elements (6), the invention proposes combining and electrically interconnecting in each case a plurality of individual elements (6) of the matrix array into groups (7) in a suitable manner, for example in lines or in polygons (9), by means of a switching unit and in each case jointly actuating the individual elements (6) of one group (7).

(57) Zusammenfassung: Für die Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes mit einem Matrix Phased Array Prüfkopf (5), der eine zweidimensionale Anordnung einer Anzahl von Ultraschallsensoren/Einzelementen (6) umfasst, wird zur Verringerung der Zahl der erforderlichen elektronischen Kanäle vorgeschlagen, mittels einer Schaltungseinheit jeweils mehrere Einzelemente (6) des Matrix-Arrays in geeigneter Weise in Gruppen (7) zusammenzufassen und elektrisch zusammenschalten, beispielsweise in Linien oder in Vielecken (9), und die Einzelemente (6) einer Gruppe (7) jeweils gemeinsam anzusteuern.

WO 2013/013823 A1



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

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)*

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

— *hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)*

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

5

Verfahren und Vorrichtung zur Ultraschallprüfung
mit einem Matrix Phased Array Prüfkopf

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes mit einem Matrix Phased Array Prüfkopf. Im Deutschen wird für einen solchen Ultraschall-Prüfkopf auch der Ausdruck Gruppenstrahler verwendet. Ein Array Prüfkopf kann eine lineares Array (Linearer Phased Array Prüfkopf, im Englischen linear phased array probe) oder ein Matrix-Array (Matrix Phased Array Prüfkopf, im Englischen matrix phased array probe) sein. Ein Matrix Phased Array Prüfkopf umfasst eine zweidimensionale Anordnung einer Anzahl (N) von Ultraschallsensoren. Diese Ultraschallsensoren werden zur Unterscheidung von einem konventionellen Ultraschall-Prüfkopf auch als Einzelelemente bezeichnet. Mittels der Ultraschallsensoren/Einzelelemente wird eine Ultraschallwelle in das Prüfobjekt eingeschallt und ein reflektiertes Ultraschallsignal wieder empfangen, wobei jeweils eine erste Auswahl von Einzelelementen des Prüfkopfes mittels einer Steuereinheit als Sender zur Emission einer Ultraschallwelle ausgewählt wird und die ausgewählten Einzelelemente mittels einer Sendeeinheit angeregt werden, jeweils eine zweite Auswahl von Einzelelementen des Prüfkopfes mittels der Steuereinheit als Empfänger zum Empfangen eines Ultraschallsignals ausgewählt wird und die Ultraschallsignale der ausgewählten Einzelelemente mittels einer Empfangseinheit empfangen werden und die empfangenen Ultraschallsignale zum Prüfen des Prüfobjektes ausgewertet werden.

Ultraschallwellen sind mechanische Schwingungen, die meist durch einen elektrisch angeregten, piezoelektrischen Sender in einem elastischen Medium (dem Prüfobjekt) induziert werden. Die piezoelektrische Anregung ist der Normalfall. Es gibt auch andere Möglichkeiten der Anregung, wie z.B. Laseranregung oder EMUS (elektromagnetische Ultraschall-Anregung). Typische Frequenzen von Ultraschallwellen liegen im Bereich von 0,1 MHz bis 50 MHz, wobei die meisten industriellen Anwendungen Frequenzen zwischen 0,5 MHz und 15 MHz erfordern.

10

Der Einsatz von Phased Array Technologien ist aus der Radartechnik und aus medizinischen Anwendungen bekannt. Phased Array Prüfköpfe finden zunehmend Verwendung in der zerstörungsfreien Ultraschall-Materialprüfung. Im Gegensatz zu konventionellen Ultraschallprüfköpfen besteht ein Phased Array-Prüfkopf aus einer Anzahl N von Einzelelementen (Ultraschallsensoren, Sonden). Wo bisher mehrere Prüfköpfe für eine Prüfaufgabe erforderlich waren, können damit durch rein elektronische Ansteuerung mit einem einzigen Matrix-Prüfkopf mehrere Prüffunktionen (z.B. unterschiedliche Einschallwinkel oder unterschiedliche Fokussierung) ausgeführt werden oder auch mechanische Bewegungen ersetzt werden. Mit sogenannten Linear-Arrays kann die Ultraschall-Ausbreitung in einer Ebene beeinflusst werden. Wesentlich flexibler sind dagegen Matrix-Arrays, mit denen im Prinzip die Schallausbreitung in eine beliebige Richtung eingestellt werden kann.

25

Bei einem Matrix Phased Array Prüfkopf kann jedes Element als Quelle einer Ultraschallwelle angesehen werden. Im Idealfall stellt jedes Einzelelement eine Punktquelle dar. Die einzelnen Wellenfronten interferieren und erzeugen eine Gesamtwellenfront mit konstruktiv und destruktiv interferierenden Bereichen. Die einzelnen Wellenfronten können zeitverzögert und hinsichtlich Phase synchronisiert werden und ggf. mit unterschiedlichen Amplituden belegt werden, um eine gewünschte Wellenfront

30

zu erzeugen. Die Synchronisation erfolgt über die zeitlichen Verzögerungen zwischen den Einzelementen. Amplitudenanpassungen können über unterschiedliche Sendespannungen der Einzelemente bzw. über unterschiedliche Verstärkungen auf der Empfangsseite realisiert werden. Diese Wellenfront basiert auf der Überlagerung und konstruktiven Interferenz und erzeugt einen Strahl, dessen Richtung gesteuert werden kann und der ggf. auch fokussiert werden kann. Ein Kennzeichen einer Ultraschallprüfung mit der Phased Array Ultraschalltechnologie ist die computergesteuerte bzw. elektronisch gesteuerte Anregung (Amplitude und Verzögerung) von individuellen Elementen in einem Multielementprüfkopf. Die Anregung der piezoelektrischen Elemente kann Schallfelder mit definierten Parametern wie Einschallwinkel, Brennweite/Fokusabstand und Fokusgröße mittels Software bzw. Software gesteuert unter Nutzung sogenannter Focal Laws erzeugen. Zur Ultraschallprüfung des Prüfobjektes werden die Echosignale wieder mit dem Prüfkopf aufgenommen und ausgewertet. Empfangsseitig wird im Normalfall genauso synchronisiert wie beim Senden.

Die Anzahl der Elemente eines Matrix-Arrays ist allerdings proportional zur Prüfkopffläche und steigt damit quadratisch mit der Prüfkopfabmessung. Um die volle Flexibilität eines Matrix-Arrays ausnützen zu können, ist für jedes Element ein eigener Ultraschallkanal mit einem Sender und einem Empfänger erforderlich. Für ein 16x16 Matrix-Array wären z.B. 256 Kanäle erforderlich, d.h. der elektronische Aufwand erhöht sich mit zunehmender Anzahl der Elemente beträchtlich.

Aus der Druckschrift DE 11 2005 003 446 T5 sind für medizinische Anwendungen Schaltkonfigurationen für rekonfigurierbare Arrays von Phase-Array Wandlern, die aus Subelementen bestehen, bekannt. Bei dem dort beschriebenen rekonfigurierbaren Ultraschallarray werden Gruppen von Subelementen in dynamischer Weise miteinander verbunden, wobei ein Subelement als eine Gruppe von elektrisch verbundenen Zellen

definiert ist und ein Subelement die kleinste unabhängig steuerbare Einheit ist. Es wird ein iterativer Algorithmus eingesetzt, mit dem Ultraschallbilder optimiert werden können, indem durch dynamische Rekonfiguration gewünschte Wellenfronten erzeugt werden. Die Rekonfigurierbarkeit
5 kann mittels eines Schaltnetzwerks erreicht werden. Die Kanalanzahl wird insofern reduziert, als dass die kleinste Anzahl von Kanälen angestrebt wird, mit der man für eine bestimmte Anwendung noch eine brauchbare Bildqualität erzeugen kann.

10 Die Druckschrift DE 27 33 920 C2 offenbart ein Gerät zur Untersuchung von Körpern durch Abtastung mittels Ultraschall, bei der eine Ansteuer-
vorrichtung in verschachteltem Send/Empfangstakt Gruppen von Wand-
lerelementen schaltet. Das Ziel dabei ist, homogene Echostrukturen über
eine Kathodenstrahlröhre mit gleichbleibender Helligkeit aufzuzeichnen.
15 Der eingesetzte Ultraschallwandler besteht aus parallel angeordneten
Elementen, die im Sinne einer Phased Array-Technik als lineares Array,
aber nicht als Matrix-Array bezeichnet würden. Es handelt sich jedoch
nicht um eine Phased Array-Anwendung, da alle aktiven Elemente immer
gleichzeitig eingesetzt werden. Der erzeugte Ultraschall breitet sich also
20 senkrecht zur Elementebene aus. Eine Steuerung der Einschallrichtung
oder der Fokussiertiefe ist damit nicht möglich. Weiterhin sind nur ein
Sender und ein Empfänger vorgesehen, die beide nach Bedarf mit unter-
schiedlichen Kombinationen von Ultraschall-Elementen kombiniert werden
können, wobei die Zuordnung über Schalter erfolgt. Es sind ebenso viele
25 Schalter wie Elemente erforderlich, daher wird keine Vereinfachung
erzielt.

Aus der Druckschrift US 2010/0251821 A1 ist die Verwendung eines
Matrix Phased Array Prüfkopfes bekannt. Es werden dabei Elementgrup-
30 pen sowohl sendeseitig als auch empfangsseitig ausgewählt, um
bestimmte Prüfaufgaben zu optimieren, insbesondere um eine 360°-
Erfassung von Fehlern in dem Prüfobjekt ohne mechanisches Scannen

durchführen zu können. Es wird für jedes Einzelement des Matrix-Arrays ein eigener Sender und Empfänger benutzt. Das bedeutet, dass bei der Benutzung von insgesamt N Einzelementen auch N Sender und N Empfänger und ein dementsprechend hoher elektronischer Aufwand erforderlich sind.

Aus der DE 10202432 A1 und der Literaturstelle J. Bosch et al., Phased Array-Technologie für automatisierte Pipeline-Inspektion, DACH-Jahrestagung 2004 Salzburg, Herausgeber DGfZP ist die Anwendung eines Ultraschall-Prüfverfahrens unter Verwendung sogenannter Phased Arrays zur Werkstoffprüfung in Rohrleitungen bekannt, wobei durch eine zeitlich variable individuelle Ansteuerung einzelner Sensorelemente eine umfassende hochaufgelöste Werkstoffprüfung ermöglicht wird. Dabei werden einzelne Sensorelemente der Messsensoren, insbesondere einzelne Sensorelemente einer einen virtuellen Sensor bildenden Teilgruppe von Sensorelementen eines Messsensors, in geeigneter Weise zeitlich versetzt angesteuert, so dass eine Ausbreitungsrichtung und/oder eine Fokussierungstiefe des ausgesandten Messimpulses in Umfangsrichtung bzw. in radialer Richtung veränderbar ist. Auf diese Weise lässt sich mit jedem Messsensor eine Vielzahl von Signaleinstrahlungen in die Rohrwandung unter verschiedenen Einstrahlwinkeln realisieren, deren Eindringverhalten in die Rohrwandung in einem weiten Bereich an die Messanforderungen anpassbar ist. Bei diesen bekannten Anwendungen mit Linear Arrays mit sehr vielen Einzelementen wird nur ein jeweils kleiner Teil der Elemente als (virtueller) Prüfkopf benutzt, um so z.B. elektronisch zu scannen. Dabei wird allerdings auch für jedes aktive Einzelement immer ein eigener Ultraschall-Kanal benötigt.

Eine bekannte Möglichkeit, den elektronischen Aufwand zu verringern, besteht darin, die Anzahl der erforderlichen elektronischen Kanäle durch Multiplexen zu verkleinern, insbesondere indem nur eine Empfangseinheit verwendet wird, die von einer Steuereinheit gesteuert wird und einen

Multiplexer für die N auszulesenden Einzelementen des Prüfkopfes, aber nur einen Verstärker, einen Analog-Digital-Converter und eine Signalverarbeitung aufweist. Allerdings vergrößert sich durch die sequenzielle Verarbeitung der Signale die Messdauer.

5

Ausgehend von diesem Stand der Technik liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Möglichkeit zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes mit einem Matrix Phased Array Prüfkopf zu schaffen, bei der die Anzahl der elektronischen Ultraschallkanäle erheblich reduziert ist, um auf diese Weise eine optimierte Anwendung von Matrix-Arrays für die Ultraschallprüfung ohne wesentliche Einschränkung der Funktionalität zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Ultraschallprüfung mit den Merkmalen des beigefügten Anspruchs 1 gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen, Weiterbildungen und Verwendungen der Erfindung ergeben sich aus den nebengeordneten und abhängigen Ansprüchen und der nachfolgenden Beschreibung mit zugehörigen Zeichnungen.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes mit einem Matrix Phased Array Prüfkopf, der eine zweidimensionale Anordnung einer Anzahl (N) von Einzelementen (Ultraschallsensoren) umfasst, wobei mittels der Einzelemente eine Ultraschallwelle in das Prüfobjekt eingeschallt und ein reflektiertes Ultraschallsignal wieder empfangen wird, wobei jeweils eine erste Auswahl von Einzelementen des Prüfkopfes mittels einer Steuereinheit als Sender zur Emission einer Ultraschallwelle ausgewählt wird und die ausgewählten Einzelemente mittels einer Sendeeinheit angeregt werden, jeweils eine zweite Auswahl von Einzelementen des Prüfkopfes mittels der Steuereinheit als Empfänger zum Empfangen eines Ultraschallsignals ausgewählt wird und die Ultraschallsignale der ausgewählten Einzelemente mittels einer Empfangseinheit empfangen werden und die empfangenen Ultraschallsignale

zum Prüfen des Prüfobjektes ausgewertet werden, weist also die Besonderheit auf, dass jeweils eine Auswahl von Einzelementen des Prüfkopfes mittels einer Schaltungseinheit zu einer Sendegruppe einer Anzahl (M) von in der Steuereinheit vorkonfigurierten Gruppen zusammengefasst und elektrisch miteinander verbunden wird, so dass die
5 zusammengefassten Einzelemente einer der Sendegruppen jeweils gemeinsam senden, jeweils eine Auswahl von Einzelementen des Prüfkopfes mittels der Schaltungseinheit zu einer Empfangsgruppe einer Anzahl (M) von in der Steuereinheit vorkonfigurierten Empfangsgruppen
10 zusammengefasst und elektrisch miteinander verbunden wird, so dass die zusammengefassten Einzelemente einer der Empfangsgruppen jeweils gemeinsam empfangen, die Sendeeinheit eine Anzahl (M) von Sendern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl (M) der in der Steuereinheit vorkonfigurierten Sendegruppen und die Empfangseinheit eine Anzahl von
15 Empfängern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl (M) der in der Steuereinheit vorkonfigurierten Empfangsgruppen, so dass mittels der Schaltungseinheit jede Sendegruppe mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen einem der Sender der Anzahl (M) von Sendern der Sendeeinheit zugeordnet wird und mittels der Schaltungseinheit jeweils
20 die Einzelemente (Sender) einer der Sendegruppen gemeinsam von einem zugeordneten Sender der Sendeeinheit angeregt werden und jede Empfangsgruppe mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen einem der Empfänger der Anzahl (M) von Empfängern der Empfangseinheit zugeordnet wird und jeweils die von den Einzelementen empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen (d.h. die Empfänger einer Empfangsgruppe) gemeinsam von einem zugeordneten Empfänger der Empfangseinheit empfangen werden, und die Sendegruppen mittels der Sender der Sendeeinheit entsprechend einem von der Steuereinheit vorgegebenen Takt angeregt werden und die von den
25 Einzelementen (6) empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen mittels der Empfänger der Empfangseinheit entsprechend dem von der Steuereinheit vorgegebenen Takt empfangen werden, wobei die

Steuereinheit die Schaltungseinheit, die Sendeeinheit und die Empfangseinheit steuert.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes mit einem Matrix Phased Array Prüfkopf, der eine zweidimensionale Anordnung einer Anzahl (N) von Einzelementen (Ultraschallsensoren) umfasst, wobei die Einzelemente zum Senden (bzw. Einschallen) einer Ultraschallwelle in das Prüfobjekt und zum Empfangen eines Ultraschallsignals ausgebildet sind, umfassend eine Sendeeinheit zum Anregen von Einzelementen des Prüfkopfes und eine Empfangseinheit zum Empfangen eines Ultraschallsignals mit Einzelementen des Prüfkopfes, eine Steuereinheit, mittels der jeweils eine erste Auswahl von Einzelementen des Prüfkopfes als Sender zur Emission einer Ultraschallwelle auswählbar ist und die ausgewählten Einzelemente mittels der Sendeeinheit anregbar sind, und mittels der jeweils eine zweite Auswahl von Einzelementen des Prüfkopfes als Empfänger zum Empfangen eines Ultraschallsignals auswählbar ist und die Ultraschallsignale der ausgewählten Einzelemente mittels einer Empfangseinheit empfangbar sind, und eine Signalverarbeitungseinheit zum Verarbeiten und/oder Auswerten der empfangenen Ultraschallsignale zum Prüfen des Prüfobjektes, weist die Besonderheit auf, dass sie eine Schaltungseinheit aufweist, die zum Zusammenfassen und elektrisch miteinander Verbinden jeweils einer Auswahl von Einzelementen zu einer Sendegruppe einer Anzahl (M) von in der Steuereinheit vorkonfigurierten Sendegruppen ausgebildet ist, so dass die zusammengefassten Einzelemente einer Sendegruppe jeweils gemeinsam senden, und die zum Zusammenfassen und elektrisch miteinander Verbinden jeweils einer Auswahl von Einzelementen zu einer Empfangsgruppe einer Anzahl (M) von in der Steuereinheit vorkonfigurierten Empfangsgruppen ausgebildet ist, so dass die zusammengefassten Einzelemente einer Empfangsgruppe jeweils gemeinsam empfangen, die Sendeeinheit eine Anzahl (M) von Sendern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl (M) der in der Steuereinheit vorkonfigurierten Sendegruppen

und die Empfangseinheit eine Anzahl von Empfängern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl (M) der in der Steuereinheit vorkonfigurierten Empfangsgruppen, so dass mittels der Schaltungseinheit jede Sendegruppe mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen einem der Sender der Anzahl (M) von Sendern der Sendeeinheit zuordbar ist und jeweils die Einzelemente (Sender) einer der Sendegruppen gemeinsam von einem zugeordneten Sender der Sendeeinheit anregbar sind und mittels der Schaltungseinheit jede Empfangsgruppe mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen einem der Empfänger der Anzahl (M) von Empfängern der Empfangseinheit zuordbar ist und jeweils die von den Einzelementen (Empfängern) empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen gemeinsam von einem zugeordneten Empfänger der Empfangseinheit empfangbar sind, und die Sendegruppen mittels der Sender der Sendeeinheit entsprechend einem von der Steuereinheit vorgegebenen Takt anregbar sind und die von den Einzelementen empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen mittels der Empfänger der Empfangseinheit entsprechend dem von der Steuereinheit vorgegebenen Takt empfangbar sind, wobei die Schaltungseinheit, die Sendeeinheit und die Empfangseinheit mittels der Steuereinheit steuerbar sind.

Der Vorteil der Erfindung besteht darin, dass durch die Zusammenfassung von Ultraschallsensoren (Sonden, Einzelementen) eines Matrix Phased Array Prüfkopfes in Gruppen, bei denen jeweils die Einzelemente einer Gruppe zusammengeschaltet und gemeinsam angesteuert bzw. ausgelesen werden, die Zahl der erforderlichen elektronischen Kanäle gegenüber einer Einzelansteuerung jedes Einzelements erheblich reduziert werden kann. Jede Gruppe zusammengefasster Einzelemente bildet einen elektronischen Kanal, somit werden weniger elektronische Kanäle als Einzelemente benötigt. Beispielsweise können vorteilhafte Ausführungsformen darin bestehen, dass die Anzahl (M) der in der Steuereinheit vorkonfigurierten Sende- und/oder Empfangsgruppen kleiner als die

Anzahl (N) der Einzelemente des Prüfkopfes ist. Weitere vorteilhafte Ausführungsformen können darin bestehen, dass die Anzahl (M) der in der Steuereinheit vorkonfigurierten Sende- und/oder Empfangsgruppen kleiner als ein Drittel, besonders bevorzugt kleiner als ein Fünftel, weiter
5 bevorzugt kleiner als ein Achtel oder ein Zehntel der Anzahl (N) der Einzelemente des Prüfkopfes ist.

Durch die Reduzierung der Anzahl der erforderlichen elektronischen Kanäle ergeben sich nicht nur erhebliche Einsparungen, sondern es werden auch neue Möglichkeiten der Anwendung von Matrix Phased Array
10 Prüfköpfen geschaffen, die wegen des bisher erforderlichen erheblichen elektronischen Aufwandes nicht gegeben waren. So besteht beispielsweise eine vorteilhafte Anwendung eines erfindungsgemäßen Verfahrens in der Durchführung einer Wanddickenmessung und/oder einer Rissprüfung mit-
15 tels eines Molchs in einer Rohrleitung, insbesondere einer Pipeline, wobei auf dem Molch angeordnete Prüfköpfe mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und/oder einer erfindungsgemäßen Vorrichtung angesteuert und ausgelesen werden oder entsprechend ausgestaltet sind.

20 Die Erfindung wird nachfolgend anhand in den Figuren dargestellter Ausführungsbeispiele näher erläutert. Die darin beschriebenen Besonderheiten können einzeln oder in Kombination miteinander eingesetzt werden, um bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung zu schaffen. Gleiche oder gleich wirkende Teile werden in den verschiedenen Figuren mit denselben
25 Bezugszeichen bezeichnet und gewöhnlich nur einmal beschrieben, auch wenn sie bei anderen Ausführungsformen vorteilhaft eingesetzt werden können. Es zeigen:

Figur 1 das Prinzip einer Wanddickenmessung (linkes Teilbild) und einer Rissprüfung mit Ultraschall (rechtes Teilbild),

- Figur 2 eine Aufsicht auf ein Prüfobjekt mit Ultraschallprüfköpfen zur Wanddickenmessung und zur Prüfung auf Risse bzw. rissartige Längs- und Querfehler,
- Figur 3 ein schematisches Beispiel eines Matrix Phased Array Prüfkopfes mit kreisförmiger Ausführung,
- Figur 4 den Prüfkopf von Figur 3 mit einer Gruppe zusammengefasster Einzelemente, die in einer Linie angeordnet sind,
- Figur 5 den Prüfkopf von Figur 3 mit zu Gruppen zusammengefassten Einzelementen, die für die Wanddickenmessung in konzentrischen Polygonen angeordnet sind,
- Figur 6 den Prüfkopf von Figur 3 mit zu Gruppen zusammengefassten Einzelementen, die für die Prüfung auf Risse bzw. rissartige Längsfehler in Linien parallel zur Fahrtrichtung angeordnet sind,
- Figur 7 den Prüfkopf von Figur 3 mit zu Gruppen zusammengefassten Einzelementen, die für die Prüfung auf Risse bzw. rissartige Querfehler in Linien senkrecht zur Fahrtrichtung angeordnet sind,
- Figur 8 ein Blockschaltbild einer konventionellen Ultraschall-Mehrkanal-elektronik,
- Figur 9 ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Aufbaus zum Einsatz eines Matrix Phased Array Prüfkopfes mit N Einzelementen und
- Figur 10 ein Beispiel einer Zuordnung der Gruppen von zusammengefassten Einzelementen zu Ultraschallkanälen.

25

Die Figur 1 veranschaulicht in einer Seitenansicht das Prinzip einer Wanddickenmessung und einer Rissprüfung mit Ultraschall in einem Prüfobjekt 1. Dabei handelt es sich beispielsweise um die Prüfung eines Rohres, einer Platte oder um eine gebräuchliche Pipelineprüfung mit einem Molch, auf dem die Prüfköpfe 2 angeordnet sind. Ein Prüfkopf 2 dient jeweils als

30

Sender und Empfänger und umfasst jeweils ein piezoelektrisches Element. Die Wanddickenmessung des Prüfobjekts 1 ist links und die Rissprüfung eines Risses 3 bzw. rissartigen Fehlers ist rechts in Figur 1 dargestellt. Für die Wanddickenmessung, mittels der Korrosionsstellen gefunden werden können, wird Ultraschall senkrecht eingeschallt, wobei Longitudinalwellen
5 benutzt werden. Für die Rissprüfung werden Transversalwellen unter einem Winkel von beispielsweise 45° schräg in die Rohrwand eingeschallt.

Die Figur 2 veranschaulicht in einer Aufsicht auf ein Prüfobjekt 1, z.B. ein Rohr oder eine Platte, eine konventionelle Wanddickenmessung und Rissprüfung auf Längs- und Querfehler mit einzelnen Ultraschallprüfköpfen 2. Bezogen auf die Rohrachse 4 bzw. Laufrichtung oder Fahrriichtung der beispielsweise auf einem Molch bewegten Prüfköpfe 2 unterscheidet man die Risse 3a, 3b bzw. rissartigen Fehler nach Längsfehlern 3a und Querfehlern
15 3b. Gleichzeitig soll die Wanddicke des Prüfobjekts 1 mittels Senkrechteinschallung mit hoher Ortsauflösung (d.h. mit fokussiertem Schallfeld) gemessen werden. Mit konventioneller Technik sind für die Durchführung der Prüfung fünf Prüfköpfe 2 erforderlich. Ein Prüfkopf 2a dient für die Wanddickenmessung. Zur Rissprüfung wird mit den Prüfköpfen 2b, 2c im
20 Uhrzeigersinn bzw. Gegenuhrzeigersinn (Längsfehler 3a) bzw. mit den Prüfköpfen 2d, 2e in Laufrichtung 4 und gegen die Laufrichtung 4 eingeschallt (Querfehler 3b). Wenn es sich dabei um eine Pipelineprüfung mit einem Molch handelt, sind also drei getrennte Durchläufe des Molches durch die Pipeline erforderlich, d.h. einmal für die Wanddickenmessung,
25 einmal für die Längsfehlerprüfung und einmal für die Querfehlerprüfung, außer wenn es die baulichen Verhältnisse gestatten, einen Molchzug mit drei hintereinander angeordneten Sensorträgerereinheiten zu benutzen.

Wenn die fünf Prüfköpfe 2a, 2b, 2c, 2d, 2e durch einen Prüfkopf mit in
30 dem dargestellten Beispiel einem 16×16 Matrix-Array (in anderen Fällen beispielsweise mit einem 12×12 Matrix-Array oder allgemein mit einem $N \times N$ Matrix-Array) ersetzt werden, kann die Prüfaufgabe statt mit fünf

Prüfköpfen 2 mit einem einzigen Matrix Phased Array Prüfkopf gelöst werden, somit auch in einem einzigen Durchlauf eines Molches im Falle der Prüfung einer Pipeline. Allerdings sind nach dem Stand der Technik nun $16 \times 16 = 256$ Ultraschall-Kanäle erforderlich, nämlich für jedes Element bzw. jeden Sensor des Matrix-Arrays des Ultraschallprüfkopfes ein elektronischer Kanal, was eine erhebliche Zunahme des geräteseitigen elektronischen Aufwandes und damit der Prüfkosten bedeutet. Hier setzt die Erfindung an, denn durch diese kann dieser Aufwand von 256 Kanälen auf ca. 20 Kanäle reduziert werden. Dies geschieht dadurch, dass für jede der Einzelprüfungen mehrere Elemente des Matrix-Arrays in geeigneter Weise so zusammengefasst werden, so dass die gleiche Prüfung nun mit wesentlich weniger Ultraschall-Kanälen ohne Beeinträchtigung des Prüfergebnisses möglich ist. Mit anderen Worten, für die Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes mit einem Matrix Phased Array Prüfkopf, der eine zweidimensionale Anordnung einer Anzahl von Ultraschallsensoren/Einzelementen umfasst, wird erfindungsgemäß zur Verringerung der Zahl der erforderlichen elektronischen Kanäle vorgeschlagen, mittels einer Schaltungseinheit jeweils mehrere Einzelemente des Matrix-Arrays in geeigneter Weise in Gruppen zusammenzufassen und elektrisch zusammenschalten, beispielsweise in Linien oder in Vielecken, und die Einzelemente einer Gruppe jeweils gemeinsam anzusteuern.

Die Figur 3 zeigt ein schematisches Beispiel eines solchen Matrix Phased Array Prüfkopfes 5. Gezeigt ist ein Beispiel für ein kreisförmiges, rundes Matrix-Array. Üblich sind auch quadratische Arrays. Im Beispiel sind alle 216 Einzelemente (Sensoren) 6 gleich groß. Die Elementanzahl ist dann proportional zur Array-Fläche. Je nach Anwendung können auch unterschiedliche Elementgrößen vorteilhaft sein.

Die Figur 4 zeigt den Prüfkopf 5 von Figur 3 mit zu einer Gruppe 7 zusammengefassten Einzelementen 6, die in einer Linie 8 angeordnet sind. Zusammenfassen bedeutet, dass die einzelnen Einzelemente 6 bzw.

Sensoren elektrisch miteinander zu einer Gruppe 7 verbunden werden. Das Zusammenschalten und Verbinden der Einzelemente 6 zu einer Gruppe 7 erfolgt mittels einer elektrischen Schaltungseinheit, die in dieser Figur nicht dargestellt ist. Die Schaltungseinheit kann auf dem Prüfkopf 5
5 oder außerhalb von diesem angeordnet sein. Die Linie 8, in der die Einzelemente 6 einer Gruppe 7 angeordnet sind, kann beispielsweise eine Zeile, Spalte, Reihe, oder Diagonale sein.

Die Figur 5 zeigt den Prüfkopf 5 von Figur 3 mit zu acht Gruppen 7
10 zusammengefassten Einzelementen 6, die für die Wanddickenmessung in konzentrischen Vielecken 9 angeordnet sind. Gezeigt ist eine mögliche Zusammenfassung von Elementen 6, wie man sie für eine Senkrechteinschallung benötigt. Zusammenfassen bedeutet auch hier, dass die einzelnen Einzelemente 6 bzw. Sensoren elektrisch miteinander zu einer
15 Gruppe 7 verbunden werden. Durch das Zusammenfassen der 216 Einzelemente 6 in acht Gruppen 7 kann der Prüfkopf 5 erfindungsgemäß statt mit 216 nur mit acht elektronischen Kanälen betrieben werden.

Das Zusammenschalten und Verbinden der Einzelemente 6 zu einer
20 Gruppe 7 erfolgt mittels einer elektrischen Schaltungseinheit, die in dieser Figur nicht dargestellt ist. Die Schaltungseinheit kann auf dem Prüfkopf 5 oder außerhalb von diesem angeordnet sein. Allgemein ist es vorteilhaft, wenn für eine senkrechte Einschallung in das Prüfobjekt 1, beispielsweise für eine Wanddickenmessung, Einzelemente 6 zu Sende- und/oder
25 Empfangsgruppen 7 zusammengefasst werden, die so angeordnet sind, dass die Sende- und/oder Empfangsgruppen 7 die Form konzentrischer Kreise, Ringe, Vielecke 9 oder Polygone haben. Das Zusammenfassen erfolgt möglichst konzentrisch, um ein zu einem kreisförmigen Einzelschwinger vergleichbares Schallfeld zu erzeugen. Über geeignete Zeitverschiebungen zwischen den sukzessiven Anregeimpulsen für die einzelnen
30 Gruppen 7, d.h. Vielecke 9 bzw. Ringe, kann das Schallfeld auch in einem bestimmten Bereich fokussiert werden.

Dabei werden in der Regel alle Einzelemente 6, die auf einer veranschaulichenden Linie liegen, die eine Gruppe 7 veranschaulicht, miteinander zu der Gruppe 7 verbunden. Es kann aber in manchen Anwendungsfällen zweckmäßig sein, manche der unter einer veranschaulichenden Linie liegende Einzelemente 6 nicht in die zugehörige Gruppe 7 einzuschließen, beispielsweise um sie für eine andere Gruppe 7 freizuhalten. Ebenso kann es auch zweckmäßig sein, dicht neben einer veranschaulichenden Linie liegende Einzelemente 6 in die zugehörige Gruppe 7 einzuschließen. Die Kreise, Ringe, Vielecke 9 oder Polygone müssen dabei weder eine geometrisch exakte Form haben noch einen präzisen gemeinsamen Mittelpunkt aufweisen, was bei einer praktisch vorgegebenen räumlichen Matrix-Anordnung ohnehin kaum möglich sein wird, sondern es genügt, wenn sie die genannten geometrischen Bedingungen ungefähr erfüllen.

Die Figur 6 zeigt den Prüfkopf 5 von Figur 3 mit zu Gruppen 7 zusammengefassten Einzelementen 6, die für die Rissprüfung auf Längsfehler in Linien 8 angeordnet sind. Hier sind die Elemente 6 in Linien 8 zusammengefasst. Durch das Zusammenfassen der 216 Einzelemente 6 in achtzehn Gruppen 7 kann der Prüfkopf 5 erfindungsgemäß statt mit 216 nur mit achtzehn elektronischen Kanälen betrieben werden. Durch geeignete zeitliche Verzögerung der Anregungsimpulse für die einzelnen Gruppen 7 kann damit eine Winkel- bzw. Schrägeinschallung in das Prüfobjekt bewerkstelligt werden, so dass eine Prüfung auf Längsfehler ermöglicht wird. Im vorliegenden Fall wird die Verzögerungsbelegung beispielsweise so eingestellt, dass man im Prüfobjekt eine sich unter 45° ausbreitende Transversalwelle erhält. Durch Umkehrung der Verzögerungszeiten erhält man entsprechend eine Einschallung in die entgegengesetzte Richtung.

30

Zusammenfassen bedeutet auch hier, dass die einzelnen Einzelemente 6 bzw. Elemente elektrisch miteinander zu einer Gruppe 7 verbunden wer-

den. Das Zusammenschalten und Verbinden der Einzelemente 6 zu einer Gruppe 7 erfolgt mittels einer elektrischen Schaltungseinheit, die in dieser Figur nicht dargestellt ist. Die Schaltungseinheit kann auf dem Prüfkopf 5 oder außerhalb von diesem angeordnet sein. Allgemein ist es vorteilhaft, wenn für eine schräge Einschallung in das Prüfobjekt, beispielsweise für eine Rissprüfung, Einzelemente 6 zu Sende- und/oder Empfangsgruppen 7 zusammengefasst werden, die so angeordnet sind, dass die Sende- und/oder Empfangsgruppen 7 die Form nebeneinander verlaufender gerader Linien 8 haben. Über geeignete Zeitverschiebungen zwischen den sukzessiven Anregeimpulsen für die einzelnen Gruppen 7 kann das Schallfeld in einer bestimmten, beliebigen Einschallrichtung bzw. Einschallrichtung 10 unter einem bestimmten Einschallwinkel erzeugt werden.

Dabei werden in der Regel alle Einzelemente 6, die auf einer Linie 8 liegen, die eine Gruppe 7 veranschaulicht, miteinander zu der Gruppe 7 verbunden. Es kann aber in manchen Anwendungsfällen zweckmäßig sein, manche der unter einer Linie 8 liegende Einzelemente 6 nicht in die zugehörige Gruppe 7 einzuschließen, beispielsweise um sie für eine andere Gruppe 7 freizuhalten. Ebenso kann es auch zweckmäßig sein, dicht neben einer Linie 8 liegende Einzelemente 6 in die zugehörige Gruppe 7 einzuschließen. Die Linien 8 müssen dabei weder eine geometrisch exakte Form haben noch parallel liegen, was bei einer praktisch vorgegebenen räumlichen Matrix-Anordnung ohnehin kaum möglich sein wird, sondern es genügt, wenn sie die genannten geometrischen Bedingungen ungefähr erfüllen.

Die Figur 7 zeigt den Prüfkopf 5 von Figur 3 mit zu Gruppen 7 zusammengefassten Einzelementen 6, die für die Rissprüfung auf Querfehler mit einer gegenüber Figur 6 um 90° gedrehten Linienanordnung zusammengefasst sind. Mit einem Matrix-Array kann nicht nur in Längs- und

Querrichtung, sondern in einer beliebigen Richtung (z.B. im Falle von Spiralnähten) geprüft werden.

Die Figur 8 zeigt ein Blockschaltbild einer konventionellen Ultraschall-Mehrkanalelektronik für eine Anzahl N von Prüfköpfen 2 oder eine Anzahl N von Sensoren/Einzelementen 6 eines Matrix Phased Array Prüfkopfes 5. Für jeden Kanal (Prüfkopf) wird ein eigener Sender 11 benutzt, d.h. insgesamt N Sender 11. Empfangsseitig werden meist nicht N Empfänger oder Empfangseinheiten 12 verwendet, sondern es wird seriell gearbeitet, wobei die Prüfköpfe 2 oder Einzelemente 6 über einen Multiplexer 13 umgeschaltet werden. Wie viele Kanäle gemultiplext werden können, hängt von der Anforderung an die maximale Prüfgeschwindigkeit ab. Die Empfangseinheit 12 umfasst einen Multiplexer 13, einen Verstärker 14, einen ADC 15 und eine Signalverarbeitung 16. Der gesamte Prüfablauf wird von einer Steuereinheit 17 gesteuert, die die Sender 11 und die Empfangseinheit 12 ansteuert.

Die Figur 9 zeigt ein Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Aufbaus zum Einsatz eines Matrix Phased Array Prüfkopfes 5 mit N Einzelsensoren. Die gepunktete Linie in Figur 9 enthält das eigentliche Matrix-Array. Die N Einzelemente des Arrays sind jeweils an eine Schaltungseinheit 18 angeschlossen. Die Schaltungseinheit 18 hat N Ausgänge, an die die N Einzelemente angeschlossen sind, und M Eingänge, wobei M kleiner, bevorzugt viel kleiner als N ist. Ferner umfasst die Anordnung eine Ultraschall-Sendeeinheit 19 mit M Sendern, eine Ultraschall-Empfangseinheit 20 mit M Empfängern, eine Signalverarbeitung 21 (zur Digitalisierung, Summation etc.) und eine Steuereinheit 17, die u.a. M Konfigurationen von zu jeweils einer Gruppe zusammengefassten Einzelementen aufweist.

30

Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes 1 mit einem Matrix Phased Array Prüfkopf 5, der eine zwei-

dimensionale Anordnung einer Anzahl N von Einzelementen (Ultraschallsensoren) 6 umfasst, wobei mittels der Einzelemente 6 eine Ultraschallwelle in das Prüfobjekt 1 eingeschallt und ein reflektiertes Ultraschallsignal wieder empfangen wird, wird jeweils eine erste Auswahl von Einzelementen 6 des Prüfkopfes 5 mittels einer Steuereinheit 17 als Sender zur Emission einer Ultraschallwelle ausgewählt und die ausgewählten Einzelemente 6 werden mittels einer Sendeeinheit 19 angeregt, jeweils eine zweite Auswahl von Einzelementen 6 des Prüfkopfes 5 wird mittels der Steuereinheit 17 als Empfänger zum Empfangen eines Ultraschallsignals ausgewählt und die Ultraschallsignale der ausgewählten Einzelemente 6 werden mittels einer Empfangseinheit 20 empfangen und die empfangenen Ultraschallsignale werden zum Prüfen des Prüfobjektes 1 ausgewertet. Jeweils eine Auswahl von Einzelementen 6 des Prüfkopfes 5 wird mittels einer Schaltungseinheit 18 zu einer Sendegruppe 7 einer Anzahl M von in der Steuereinheit 17 vorkonfigurierten Gruppen 7 zusammengefasst und elektrisch miteinander verbunden, so dass die zusammengefassten Einzelementen 6 einer der Sendegruppen 7 jeweils gemeinsam senden. Jeweils eine Auswahl von Einzelementen 6 des Prüfkopfes 5 wird mittels der Schaltungseinheit 18 zu einer Empfangsgruppe 7 einer Anzahl M von in der Steuereinheit 17 vorkonfigurierten Empfangsgruppen 7 zusammengefasst und elektrisch miteinander verbunden, so dass die zusammengefassten Einzelementen 6 einer der Empfangsgruppen 7 jeweils gemeinsam empfangen. Die Sendeeinheit 19 weist eine Anzahl M von Sendern auf, die so groß ist wie die Anzahl M der in der Steuereinheit 17 vorkonfigurierten Sendegruppen 7 und die Empfangseinheit 20 weist eine Anzahl M von Empfängern auf, die so groß ist wie die Anzahl M der in der Steuereinheit 17 vorkonfigurierten Empfangsgruppen 7, so dass mittels der Schaltungseinheit 18 jede Sendegruppe 7 mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen 6 einem der Sender der Anzahl M von Sendern der Sendeeinheit 19 zugeordnet wird und jeweils die Einzelemente 6 (Sender) einer der Sendegruppen 7 gemeinsam von einem zugeordneten Sender der Sendeeinheit 19 ange-

regt werden und mittels der Schaltungseinheit 18 jede Empfangsgruppe 7 mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen 6 einem der Empfänger der Anzahl M von Empfängern der Empfangseinheit 20 zugeordnet wird und jeweils die von den Einzelementen 6 empfangenen
5 Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen 7 gemeinsam von einem zugeordneten Empfänger der Empfangseinheit 20 empfangen werden. Die Anzahl M der Empfangselemente kann sich in Spezialfällen auch von der Anzahl M der Sendeelemente unterscheiden. In der Regel wird man jedoch die gleiche Anzahl benutzen. Die Sendegruppen 7 werden mittels
10 der Sender der Sendeeinheit 19 entsprechend einem von der Steuereinheit 17 vorgegebenen Takt angeregt und die von den Einzelementen 6 empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen 7 werden mittels der Empfänger der Empfangseinheit 20 entsprechend dem von der Steuereinheit 17 vorgegebenen Takt empfangen, wobei die Steuereinheit
15 17 die Schaltungseinheit 18, die Sendeeinheit 19 und die Empfangseinheit 20 steuert.

In der Schaltungseinheit 18 werden die Einzelemente des Prüfkopfes 5 gemäß dem von der Steuereinheit 17 vorgegebenen Prüftakt (Wanddickenmessung, Prüfung Längsfehler im Uhrzeigersinn etc.) elektrisch
20 zusammengefasst. Ebenfalls über die Schaltungseinheit 18 werden die zusammengefassten Elementgruppen 7 (Anzahl M) den M Sendekanälen der Sendeeinheit 19 und den M Empfangskanälen der Empfangseinheit 20 zugeordnet. Bevorzugt sind die Sendegruppen 7 gleich den Empfangsgruppen 7. Über die Steuereinheit 17 wird die Messung ausgelöst. Die
25 Steuereinheit 17 steuert die Schaltungseinheit 18, die Sendeeinheit 19 und die Empfangseinheit 20. Die Anregung der M Elementgruppen erfolgt über die M Sender der Sendeeinheit 19 entsprechend der dem jeweiligen Prüftakt zugeordneten Zeitbelegung. Empfangsseitig werden die Empfangssignale der M Empfänger der Empfangseinheit 20 entsprechend der
30 dem jeweiligen Prüftakt zugeordneten Zeitbelegung erfasst, verstärkt,

digitalisiert und in der Signaleinheit 21 für die weitere Verarbeitung zugeführt.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes 1 mit einem Matrix Phased Array Prüfkopf 5, der eine zweidimensionale Anordnung einer Anzahl N von Einzelementen (Ultraschallsensoren) 6 umfasst, wobei die Einzelemente 6 zum Senden (bzw. Einschallen) einer Ultraschallwelle in das Prüfobjekt 1 und zum Empfangen eines Ultraschallsignals ausgebildet sind, umfasst eine Sendeeinheit 19 zum Anregen von Einzelementen 6 des Prüfkopfes 5 und eine Empfangseinheit 20 zum Empfangen eines Ultraschallsignals mit Einzelementen 6 des Prüfkopfes 5, eine Steuereinheit 17, mittels der jeweils eine erste Auswahl von Einzelementen 6 des Prüfkopfes 5 als Sender zur Emission einer Ultraschallwelle auswählbar ist und die ausgewählten Einzelemente 6 mittels der Sendeeinheit 19 anregbar sind, und mittels der jeweils eine zweite Auswahl von Einzelementen 6 des Prüfkopfes 5 als Empfänger zum Empfangen eines Ultraschallsignals auswählbar ist und die Ultraschallsignale der ausgewählten Einzelemente 6 mittels einer Empfangseinheit 20 empfangbar sind, und eine Signalverarbeitungseinheit 21 zum Verarbeiten und/oder Auswerten der empfangenen Ultraschallsignale zum Prüfen des Prüfobjektes 1. Sie weist eine Schaltungseinheit 18 auf, die zum Zusammenfassen und elektrisch miteinander Verbinden jeweils einer Auswahl von Einzelementen 6 zu einer Sendegruppe 7 einer Anzahl M von in der Steuereinheit 17 vorkonfigurierten Sendegruppen 7 ausgebildet ist, so dass die zusammengefassten Einzelemente 6 einer Sendegruppe 7 jeweils gemeinsam senden, und die zum Zusammenfassen und elektrisch miteinander Verbinden jeweils einer Auswahl von Einzelementen 6 zu einer Empfangsgruppe 7 einer Anzahl M von in der Steuereinheit 17 vorkonfigurierten Empfangsgruppen 7 ausgebildet ist, so dass die zusammengefassten Einzelemente 6 einer Empfangsgruppe 7 jeweils gemeinsam empfangen. Die Sendeeinheit 19 weist eine Anzahl M von Sendern auf, die so groß ist wie die Anzahl M der in der Steuereinheit 17 vorkonfi-

gurierten Sendegruppen 7 und die Empfangseinheit 20 weist eine Anzahl von Empfängern auf, die so groß ist wie die Anzahl M der in der Steuereinheit 17 vorkonfigurierten Empfangsgruppen 7, so dass mittels der Schaltungseinheit 18 jede Sendegruppe 7 mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelemente 6 einem der Sender der Anzahl M von Sendern der Sendeeinheit 19 zuordbar ist und jeweils die Einzelemente 6 (Sender) einer der Sendegruppen 7 gemeinsam von einem zugeordneten Sender der Sendeeinheit 19 anregbar sind und mittels der Schaltungseinheit 18 jede Empfangsgruppe 7 mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen 6 einem der Empfänger der Anzahl M von Empfängern der Empfangseinheit 20 zuordbar ist und jeweils die von den Einzelementen 6 empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen 7 gemeinsam von einem zugeordneten Empfänger der Empfangseinheit 20 empfangbar sind. Die Anzahl M der Empfangselemente kann sich in Spezialfällen auch von der Anzahl M der Sendeelemente unterscheiden. In der Regel wird man jedoch die gleiche Anzahl benutzen. Die Sendegruppen 7 sind mittels der Sender der Sendeeinheit 19 entsprechend einem von der Steuereinheit 17 vorgegebenen Takt anregbar und die von den Einzelementen 6 empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen 7 sind mittels der Empfänger der Empfangseinheit 20 entsprechend dem von der Steuereinheit 17 vorgegebenen Takt empfangbar, wobei die Schaltungseinheit 18, die Sendeeinheit 19 und die Empfangseinheit 20 mittels der Steuereinheit 17 steuerbar sind.

Die Schaltungseinheit 18 kann beispielsweise als Complex Programmable Logic Device (CPLD), FPGA (Field Programmable Gate Array) oder Application Specific Integrated Circuit (ASIC) realisiert werden. Die Takt- bzw. Schaltrate der Schaltungseinheit 18 kann beispielsweise bis zu einigen kHz betragen.

30

Die elektrische Verschaltung der Einzelemente 6 kann bevorzugt auf dem Prüfkopf 5 selbst erfolgen. Dementsprechend kann der Prüfkopf 5

beispielweise als in Figur 9 mit der gestrichelten Linie dargestellter Phased Array-Prüfkopf 22 mit integrierter Ultraschallelektronik und Signalverarbeitung ausgebildet werden. Alle Funktionseinheiten können, wie in dem dargestellten Ausführungsbeispiel durch die gestrichelte Linie veranschaulicht, in einen (miniaturisierten) Prüfkopf 22 integriert werden, der von außen mit maximal drei Leitungen (Spannungsversorgung 23, Signalleitung 24 und Steuerleitung 25) betrieben werden kann. Dies stellt gegenüber einer konventionellen Ansteuerung der N Kanäle einen sehr erheblich verringerten Aufwand dar.

10

Allgemein kann ein erfindungsgemäßer Matrix Phased Array Prüfkopf 22, insbesondere zur Verwendung in einem erfindungsgemäßen Verfahren oder einer erfindungsgemäßen Vorrichtung, zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes 1, der eine zweidimensionale Anordnung einer Anzahl N von Einzelementen (Ultraschallsensoren) 6 umfasst, wobei die Einzelemente 6 zum Senden (bzw. Einschallen) einer Ultraschallwelle in das Prüfobjekt 1 und zum Empfangen eines Ultraschallsignals ausgebildet sind, die Besonderheit aufweisen, dass der Prüfkopf 22 eine Schaltungseinheit 18 aufweist, die zum Zusammenfassen und elektrisch miteinander Verbinden jeweils einer ersten Auswahl von Einzelementen 6 des Prüfkopfes 22 zu einer Sendegruppe 7 einer Anzahl M von in einer Steuereinheit 17 vorkonfigurierten Sendegruppen 7 ausgebildet ist, so dass die zusammengefassten Einzelemente 6 einer der Sendegruppen 7 jeweils gemeinsam senden, und die zum Zusammenfassen und elektrisch miteinander Verbinden jeweils einer zweiten Auswahl von Einzelementen 6 des Prüfkopfes 22 zu einer Empfangsgruppe 7 einer Anzahl M von in der Steuereinheit 17 vorkonfigurierten Empfangsgruppen 7 ausgebildet ist, so dass die zusammengefassten Einzelemente 6 einer der Empfangsgruppen 7 jeweils gemeinsam empfangen, wobei die Schaltungseinheit 18 derart ausgebildet ist, dass sie mittels der Steuereinheit 17 ansteuerbar ist, um jeweils eine der ersten Auswahlen von Einzelementen 6 des Prüfkopfes 22 als Sender zur Emission einer Ultraschallwelle auszuwählen

und die ausgewählten Einzelemente 6 mittels einer Sendeeinheit 19 anzuregen, und um jeweils eine der zweiten Auswahlen von Einzelementen 6 des Prüfkopfes 22 als Empfänger zum Empfangen eines Ultraschallsignals auszuwählen und die Ultraschallsignale der ausgewählten Einzelemente 6 mittels einer Empfangseinheit 20 zu empfangen.

Der Ultraschallprüfkopf 22 kann dabei vorteilhafterweise eine Signalverarbeitungseinheit 21 zum Verarbeiten und/oder Auswerten der empfangenen Ultraschallsignale zum Prüfen des Prüfobjektes 1 aufweisen. Der Ultraschallprüfkopf 22 kann vorteilhafterweise aber auch eine oder mehrere der folgenden Einheiten umfassen: Eine Sendeeinheit 19 zum Anregen von Einzelementen 6, wobei die Sendeeinheit 19 eine Anzahl M von Sendern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl M der in der Steuereinheit 17 vorkonfigurierten Sendegruppen 7, eine Empfangseinheit 20 zum Empfangen eines Ultraschallsignals mit Einzelementen 6, wobei die Empfangseinheit 20 eine Anzahl von Empfängern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl M der in der Steuereinheit 17 vorkonfigurierten Empfangsgruppen 7. Somit ist mittels der Schaltungseinheit 18 jede Sendegruppe 7 mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen 6 einem der Sender der Anzahl M von Sendern der Sendeeinheit 19 zuordbar und jeweils die Einzelemente 6 einer der Sendegruppen 7 sind gemeinsam von einem zugeordneten Sender der Sendeeinheit 19 anregbar und mittels der Schaltungseinheit 18 ist jede Empfangsgruppe 7 mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen 6 einem der Empfänger der Anzahl M von Empfängern der Empfangseinheit 20 zuordbar und jeweils die von den Einzelementen 6 empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen 7 sind gemeinsam von einem zugeordneten Empfänger der Empfangseinheit 20 empfangbar. Die Sendegruppen 7 sind mittels der Sender der Sendeeinheit 19 entsprechend einem von der Steuereinheit 17 vorgegebenen Takt anregbar und die von den Einzelementen 6 empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen 7 sind mittels der Empfänger der Empfangseinheit 20 entsprechend dem

von der Steuereinheit 17 vorgegebenen Takt empfangbar, wobei die Schaltungseinheit 18, die Sendeeinheit 19 und die Empfangseinheit 20 mittels der Steuereinheit 17 steuerbar sind.

- 5 Ein Molch zur Durchführung einer Wanddickenmessung und/oder einer Rissprüfung in einer Rohrleitung, insbesondere einer Pipeline, weist vorteilhafterweise einen erfindungsgemäßen Ultraschallprüfkopf 22 auf. Ferner umfasst der Molche vorteilhafterweise auch eine Steuereinheit 17.
- 10 Die Figur 10 zeigt ein Beispiel einer Zuordnung der Gruppen 7 von zusammengefassten Einzelementen 6 zu Ultraschallkanälen 26. In diesem Beispiel ist dargestellt, wie die zusammengefassten Elementgruppen 7 (hier in einer Konfiguration für die Senkrechteinschallung analog zu Figur 5) den Ultraschallkanälen 26 zugeordnet werden können, und zwar
- 15 sowohl sendeseitig als auch empfangsseitig. Prinzipiell sind beliebige Zuordnungen möglich.

Bezugszeichenliste

5		
	1	Prüfobjekt
	2	Prüfkopf
	3	Riss bzw. rissartiger Fehler
10	4	Laufriechtung
	5	Matrix Phased Array Prüfkopf
	6	Einzelelement des Phased Array Prüfkopfes
	7	Gruppe
	8	Linie
15	9	Vieleck
	10	Einschallrichtung
	11	Sender
	12	Empfangseinheit
	13	Multiplexer
20	14	Verstärker
	15	ADC
	16	Signalverarbeitung
	17	Steuereinheit
	18	Schaltungseinheit
25	19	Sendeeinheit
	20	Empfangseinheit
	21	Signalverarbeitung
	22	Prüfkopf
	23	Spannungsversorgung
30	24	Signalleitung
	25	Steuerleitung
	26	Ultraschallkanal

Patentansprüche

5

1. Verfahren zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes (1) mit einem Matrix Phased Array Prüfkopf (5), der eine zweidimensionale Anordnung einer Anzahl (N) von Einzelementen (6) umfasst, wobei mittels der Einzelemente (6) eine Ultraschallwelle in das Prüfobjekt (1) eingeschallt und ein reflektiertes Ultraschallsignal wieder empfangen wird,
wobei jeweils eine erste Auswahl von Einzelementen (6) des Prüfkopfes (5) mittels einer Steuereinheit (17) als Sender zur Emission einer Ultraschallwelle ausgewählt wird und die ausgewählten Einzelemente (6) mittels einer Sendeeinheit (19) angeregt werden,
jeweils eine zweite Auswahl von Einzelementen (6) des Prüfkopfes (5) mittels der Steuereinheit (17) als Empfänger zum Empfangen eines Ultraschallsignals ausgewählt wird und die Ultraschallsignale der ausgewählten Einzelemente (6) mittels einer Empfangseinheit (20) empfangen werden
und die empfangenen Ultraschallsignale zum Prüfen des Prüfobjektes (1) ausgewertet werden,
dadurch gekennzeichnet, dass
jeweils eine Auswahl von Einzelementen (6) des Prüfkopfes (5) mittels einer Schaltungseinheit (18) zu einer Sendegruppe (7) einer Anzahl (M) von in der Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Gruppen (7) zusammengefasst und elektrisch miteinander verbunden wird, so dass die zusammengefassten Einzelemente (6) einer der Sendegruppen (7) jeweils gemeinsam senden,

jeweils eine Auswahl von Einzelementen (6) des Prüfkopfes (5) mittels der Schaltungseinheit (18) zu einer Empfangsgruppe (7) einer Anzahl (M) von in der Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Empfangsgruppen (7) zusammengefasst und elektrisch miteinander verbunden wird, so dass die zusammengefassten Einzelemente (6) einer der Empfangsgruppen (7) jeweils gemeinsam empfangen, die Sendeeinheit (19) eine Anzahl (M) von Sendern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl (M) der in der Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Sendegruppen (7) und die Empfangseinheit (20) eine Anzahl von Empfängern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl (M) der in der Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Empfangsgruppen (7), so dass mittels der Schaltungseinheit (18) jede Sendegruppe (7) mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen (6) einem der Sender der Anzahl (M) von Sendern der Sendeeinheit (19) zugeordnet wird und jeweils die Einzelemente (6) einer der Sendegruppen (7) gemeinsam von einem zugeordneten Sender der Sendeeinheit (19) angeregt werden und mittels der Schaltungseinheit (18) jede Empfangsgruppe (7) mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen (6) einem der Empfänger der Anzahl (M) von Empfängern der Empfangseinheit (20) zugeordnet wird und jeweils die von den Einzelementen (6) empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen (7) gemeinsam von einem zugeordneten Empfänger der Empfangseinheit (20) empfangen werden, und die Sendegruppen (7) mittels der Sender der Sendeeinheit (19) entsprechend einem von der Steuereinheit (17) vorgegebenen Takt angeregt werden und die von den Einzelementen (6) empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen (7) mittels der Empfänger der Empfangseinheit (20) entsprechend dem von der Steuereinheit (17) vorgegebenen Takt empfangen werden, wobei die

Steuereinheit (17) die Schaltungseinheit (18), die Sendeeinheit (19) und die Empfangseinheit (20) steuert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die
5 Sendegruppen (7) gleich den Empfangsgruppen (7) sind.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass die Anzahl (M) der in der Steuereinheit (17)
vorkonfigurierten Sende- und/oder Empfangsgruppen (7) kleiner als
10 die Anzahl (N) der Einzelelemente (6) des Prüfkopfes (5) ist.
4. Verfahren nach dem vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekenn-
zeichnet, dass die Anzahl (M) der in der Steuereinheit (17) vor-
konfigurierten Sende- und/oder Empfangsgruppen (7) kleiner als ein
15 Drittel, besonders bevorzugt kleiner als ein Fünftel, weiter bevorzugt
kleiner als ein Achtel oder ein Zehntel der Anzahl (N) der Einzelele-
mente (6) des Prüfkopfes (5) ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
20 gekennzeichnet, dass für eine senkrechte Einschallung in das Prüfobj-
jekt (1), beispielsweise für eine Wanddickenmessung, Einzelele-
mente (6) zu Sende- und/oder Empfangsgruppen (7) zusammenge-
fasst werden, die so angeordnet sind, dass die Sende- und/oder
Empfangsgruppen (7) die Form konzentrischer Kreise, Ringe, Viel-
25 ecke oder Polygone haben.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch
gekennzeichnet, dass für eine schräge Einschallung in das Prüfobjekt
(1), beispielsweise für eine Rissprüfung, Einzelelemente (6) zu
30 Sende- und/oder Empfangsgruppen (7) zusammengefasst werden,
die so angeordnet sind, dass die Sende- und/oder Empfangsgruppen
(7) die Form nebeneinander verlaufender gerader Linien (8) haben.

7. Anwendung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche zur Durchführung einer Wanddickenmessung und/oder einer Rissprüfung mittels eines Molchs in einer Rohrleitung, insbesondere einer Pipeline.
8. Vorrichtung zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes (1) mit einem Matrix Phased Array Prüfkopf (5), der eine zweidimensionale Anordnung einer Anzahl (N) von Einzelementen (6) umfasst, wobei die Einzelemente (6) zum Senden einer Ultraschallwelle in das Prüfobjekt (1) und zum Empfangen eines Ultraschallsignals ausgebildet sind,
- umfassend eine Sendeeinheit (19) zum Anregen von Einzelementen (6) des Prüfkopfes (5) und eine Empfangseinheit (20) zum Empfangen eines Ultraschallsignals mit Einzelementen (6) des Prüfkopfes (5),
- eine Steuereinheit (17), mittels der jeweils eine erste Auswahl von Einzelementen (6) des Prüfkopfes (5) als Sender zur Emission einer Ultraschallwelle auswählbar ist und die ausgewählten Einzelemente (6) mittels der Sendeeinheit (19) anregbar sind, und
- mittels der jeweils eine zweite Auswahl von Einzelementen (6) des Prüfkopfes (5) als Empfänger zum Empfangen eines Ultraschallsignals auswählbar ist und die Ultraschallsignale der ausgewählten Einzelemente (6) mittels einer Empfangseinheit (20) empfangbar sind,
- und eine Signalverarbeitungseinheit (21) zum Verarbeiten und/oder Auswerten der empfangenen Ultraschallsignale zum Prüfen des Prüfobjektes (1),
- dadurch gekennzeichnet, dass

sie eine Schaltungseinheit (18) aufweist, die zum Zusammenfassen und elektrisch miteinander Verbinden jeweils einer Auswahl von Einzelementen (6) zu einer Sendegruppe (7) einer Anzahl (M) von in der Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Sendegruppen (7) ausgebildet ist, so dass die zusammengefassten Einzelemente (6) einer Sendegruppe (7) jeweils gemeinsam senden, und die zum Zusammenfassen und elektrisch miteinander Verbinden jeweils einer Auswahl von Einzelementen (6) zu einer Empfangsgruppe (7) einer Anzahl (M) von in der Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Empfangsgruppen (7) ausgebildet ist, so dass die zusammengefassten Einzelemente (6) einer Empfangsgruppe (7) jeweils gemeinsam empfangen,

die Sendeeinheit (19) eine Anzahl (M) von Sendern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl (M) der in der Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Sendegruppen (7) und die Empfangseinheit (20) eine Anzahl von Empfängern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl (M) der in der Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Empfangsgruppen (7),

so dass mittels der Schaltungseinheit (18) jede Sendegruppe (7) mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen (6) einem der Sender der Anzahl (M) von Sendern der Sendeeinheit (19) zuordbar ist und jeweils die Einzelemente (6) einer der Sendegruppen (7) gemeinsam von einem zugeordneten Sender der Sendeeinheit (19) anregbar sind und

mittels der Schaltungseinheit (18) jede Empfangsgruppe (7) mit einer Auswahl von zusammengefassten Einzelementen (6) einem der Empfänger der Anzahl (M) von Empfängern der Empfangseinheit (20) zuordbar ist und jeweils die von den Einzelementen (6) empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen (7) gemeinsam von einem zugeordneten Empfänger der Empfangseinheit (20) empfangbar sind, und

die Sendegruppen (7) mittels der Sender der Sendeeinheit (19) entsprechend einem von der Steuereinheit (17) vorgegebenen Takt anregbar sind und die von den Einzelementen (6) empfangenen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen (7) mittels der Empfänger der Empfangseinheit (20) entsprechend dem von der Steuereinheit (17) vorgegebenen Takt empfangbar sind, wobei die Schaltungseinheit (18), die Sendeeinheit (19) und die Empfangseinheit (20) mittels der Steuereinheit (17) steuerbar sind.

9. Matrix Phased Array Prüfkopf (22), insbesondere zur Verwendung in einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 oder einer Vorrichtung nach Anspruch 8, zur Ultraschallprüfung eines Prüfobjektes (1), der eine zweidimensionale Anordnung einer Anzahl (N) von Einzelementen (6) umfasst, wobei die Einzelemente (6) zum Senden einer Ultraschallwelle in das Prüfobjekt (1) und zum Empfangen eines Ultraschallsignals ausgebildet sind,

dadurch gekennzeichnet, dass

der Prüfkopf (22) eine Schaltungseinheit (18) aufweist, die zum Zusammenfassen und elektrisch miteinander Verbinden jeweils einer ersten Auswahl von Einzelementen (6) des Prüfkopfes (22) zu einer Sendegruppe (7) einer Anzahl (M) von in einer Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Sendegruppen (7) ausgebildet ist, so dass die zusammengefassten Einzelemente (6) einer der Sendegruppen (7) jeweils gemeinsam senden, und die zum Zusammenfassen und elektrisch miteinander Verbinden jeweils einer zweiten Auswahl von Einzelementen (6) des Prüfkopfes (22) zu einer Empfangsgruppe (7) einer Anzahl (M) von in der Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Empfangsgruppen (7) ausgebildet ist, so dass die zusammengefassten Einzelemente (6) einer der Empfangsgruppen (7) jeweils gemeinsam empfangen,

- wobei die Schaltungseinheit (18) derart ausgebildet ist, dass sie mittels der Steuereinheit (17) ansteuerbar ist, um jeweils eine der ersten Auswahlen von Einzelementen (6) des Prüfkopfes (22) als Sender zur Emission einer Ultraschallwelle auszuwählen und die ausgewählten Einzelemente (6) mittels einer Sendeeinheit (19) anzu-
5 regen, und
- um jeweils eine der zweiten Auswahlen von Einzelementen (6) des Prüfkopfes (22) als Empfänger zum Empfangen eines Ultraschallsignals auszuwählen und die Ultraschallsignale der ausgewählten
10 Einzelemente (6) mittels einer Empfangseinheit (20) zu empfangen.
10. Ultraschallprüfkopf (22) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass er eine Signalverarbeitungseinheit (21) zum Verarbeiten und/oder Auswerten der empfangenen Ultraschallsignale zum Prüfen
15 des Prüfobjektes (1) aufweist.
11. Ultraschallprüfkopf (22) nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass er
20 eine Sendeeinheit (19) zum Anregen von Einzelementen (6), wobei die Sendeeinheit (19) eine Anzahl (M) von Sendern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl (M) der in der Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Sendegruppen (7), und/oder
- eine Empfangseinheit (20) zum Empfangen eines Ultraschallsignals mit Einzelementen (6), wobei die Empfangseinheit (20) eine Anzahl
25 von Empfängern aufweist, die so groß ist wie die Anzahl (M) der in der Steuereinheit (17) vorkonfigurierten Empfangsgruppen (7) umfasst.
- 30 12. Ultraschallprüfkopf (22) nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass er derart ausgebildet ist, dass mittels der Schaltungs-

einheit (18) jede Sendegruppe (7) mit einer Auswahl von
zusammengefassten Einzelementen (6) einem der Sender der
Anzahl (M) von Sendern der Sendeeinheit (19) zuordbar ist und
jeweils die Einzelemente (6) einer der Sendegruppen (7) gemein-
5 sam von einem zugeordneten Sender der Sendeeinheit (19) anreg-
bar sind und

mittels der Schaltungseinheit (18) jede Empfangsgruppe mit einer
Auswahl von zusammengefassten Einzelementen (6) einem der
Empfänger der Anzahl (M) von Empfängern der Empfangseinheit
10 (20) zuordbar ist und jeweils die von den Einzelementen 6 empfan-
genen Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen (7) gemeinsam
von einem zugeordneten Empfänger der Empfangseinheit (20)
empfangbar sind, und

die Sendegruppen (7) mittels der Sender der Sendeeinheit (19) ent-
15 sprechend einem von der Steuereinheit (17) vorgegebenen Takt
anregbar sind und die von den Einzelementen (6) empfangenen
Ultraschallsignale einer der Empfangsgruppen (7) mittels der
Empfänger der Empfangseinheit (20) entsprechend dem von der
Steuereinheit (17) vorgegebenen Takt empfangbar sind, wobei die
20 Schaltungseinheit (18), die Sendeeinheit (19) und die Empfangsein-
heit (20) mittels der Steuereinheit (17) steuerbar sind.

13. Molch zur Durchführung einer Wanddickenmessung und/oder einer
Rissprüfung in einer Rohrleitung, insbesondere einer Pipeline,
25 dadurch gekennzeichnet, dass er mindestens einen Ultraschallprüf-
kopf (22) nach einem der Ansprüche 9 bis 12 aufweist.

14. Molch nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass er eine
Steuereinheit (17) aufweist.

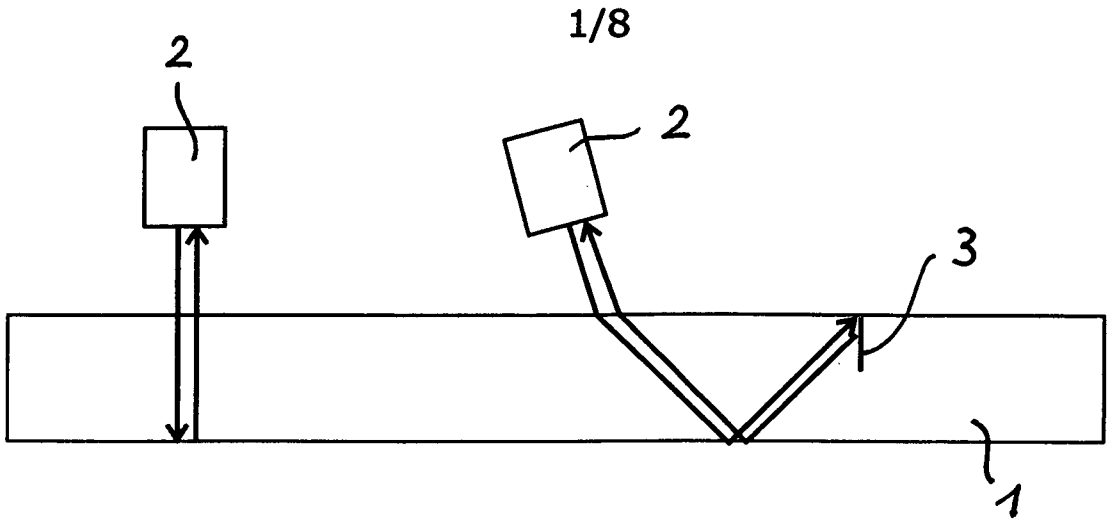


Fig. 1
Stand der Technik

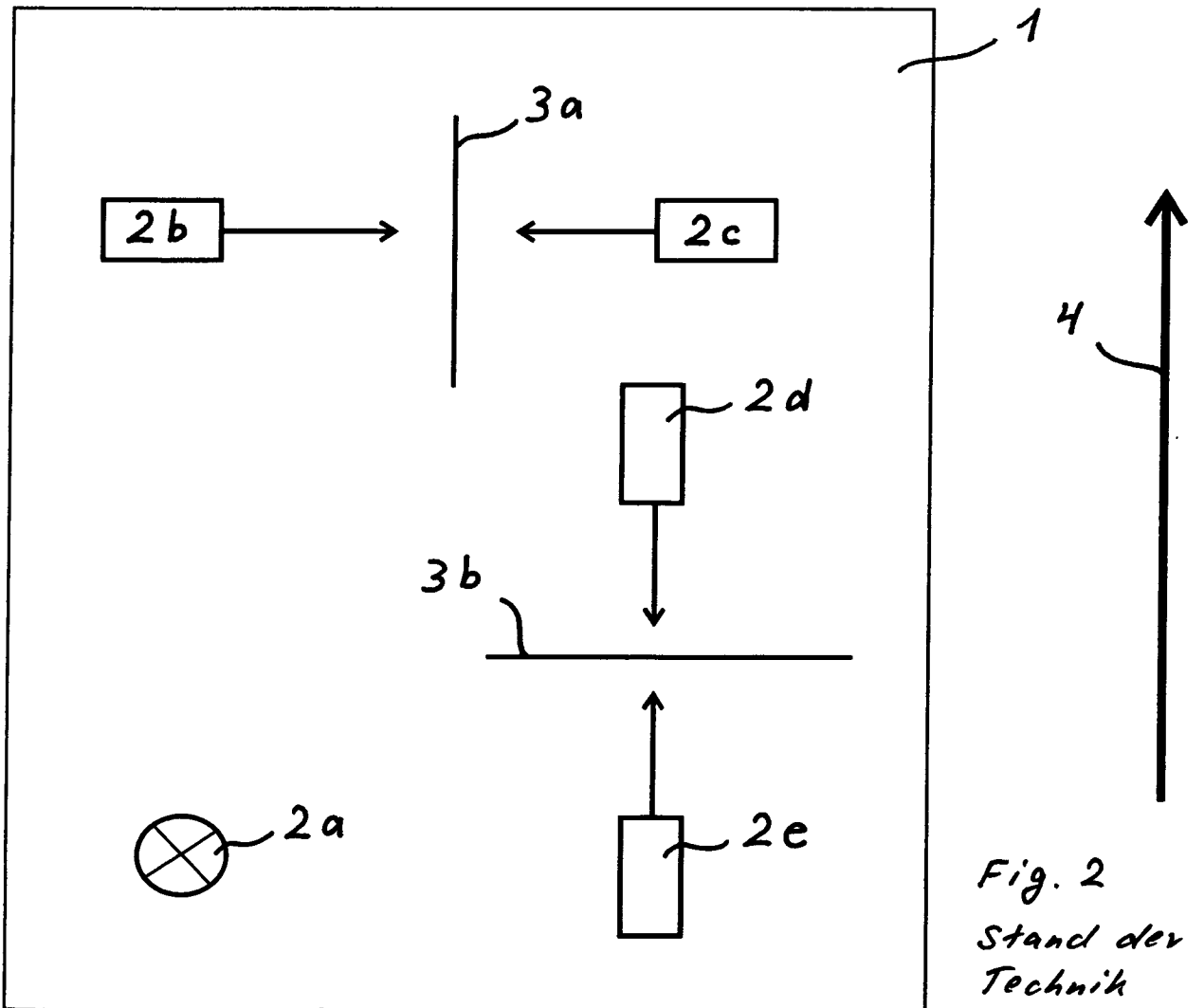


Fig. 2
Stand der Technik

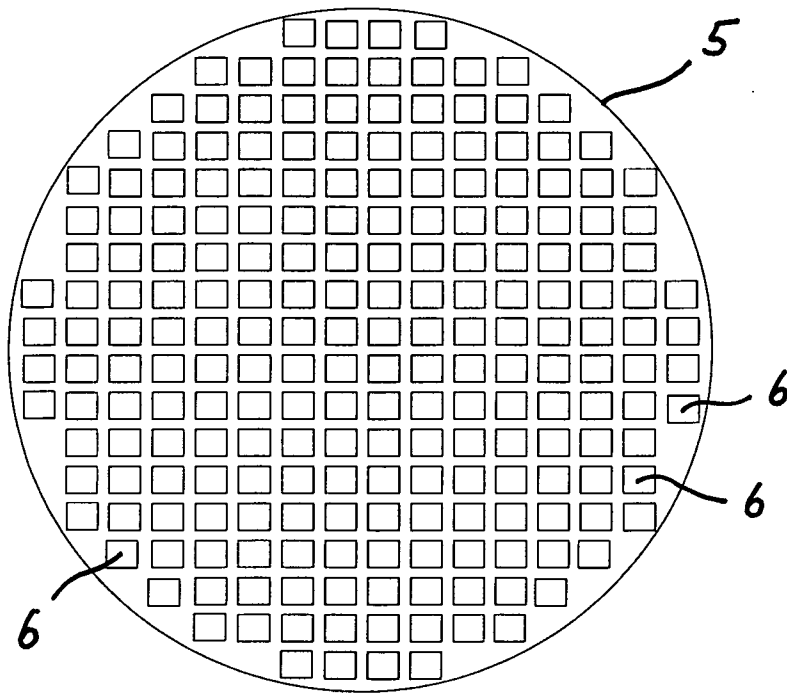


Fig. 3

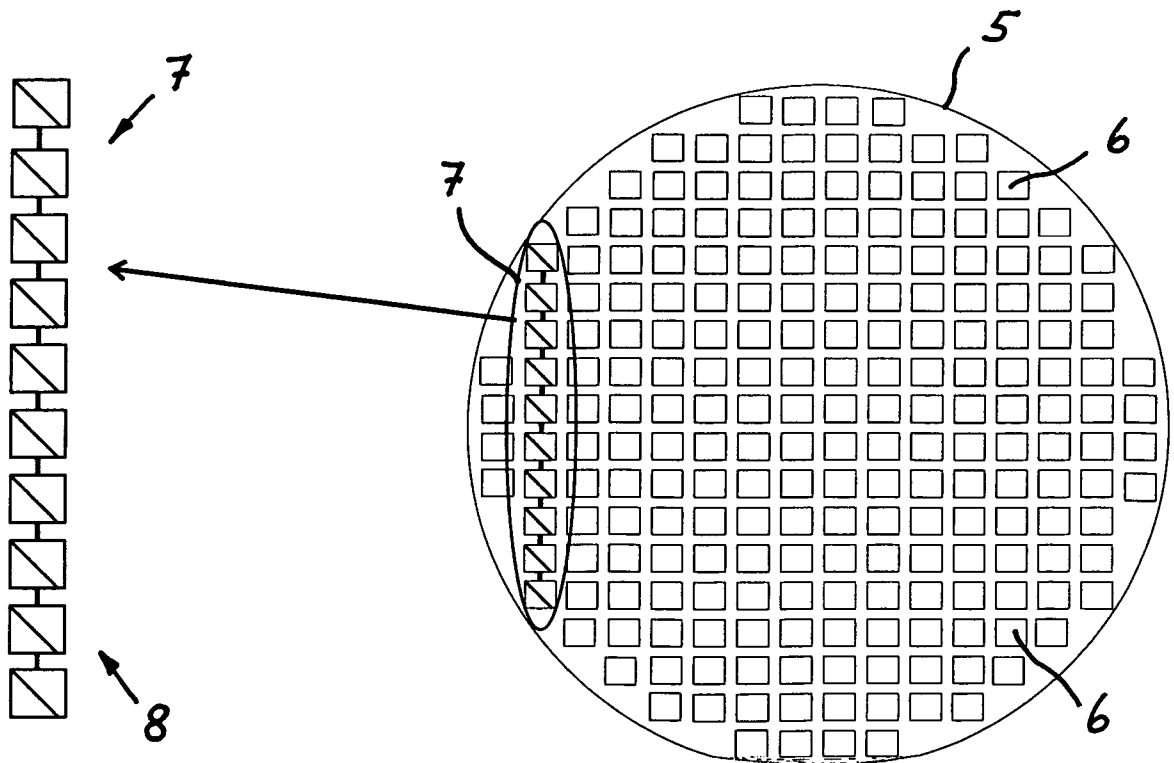


Fig. 4

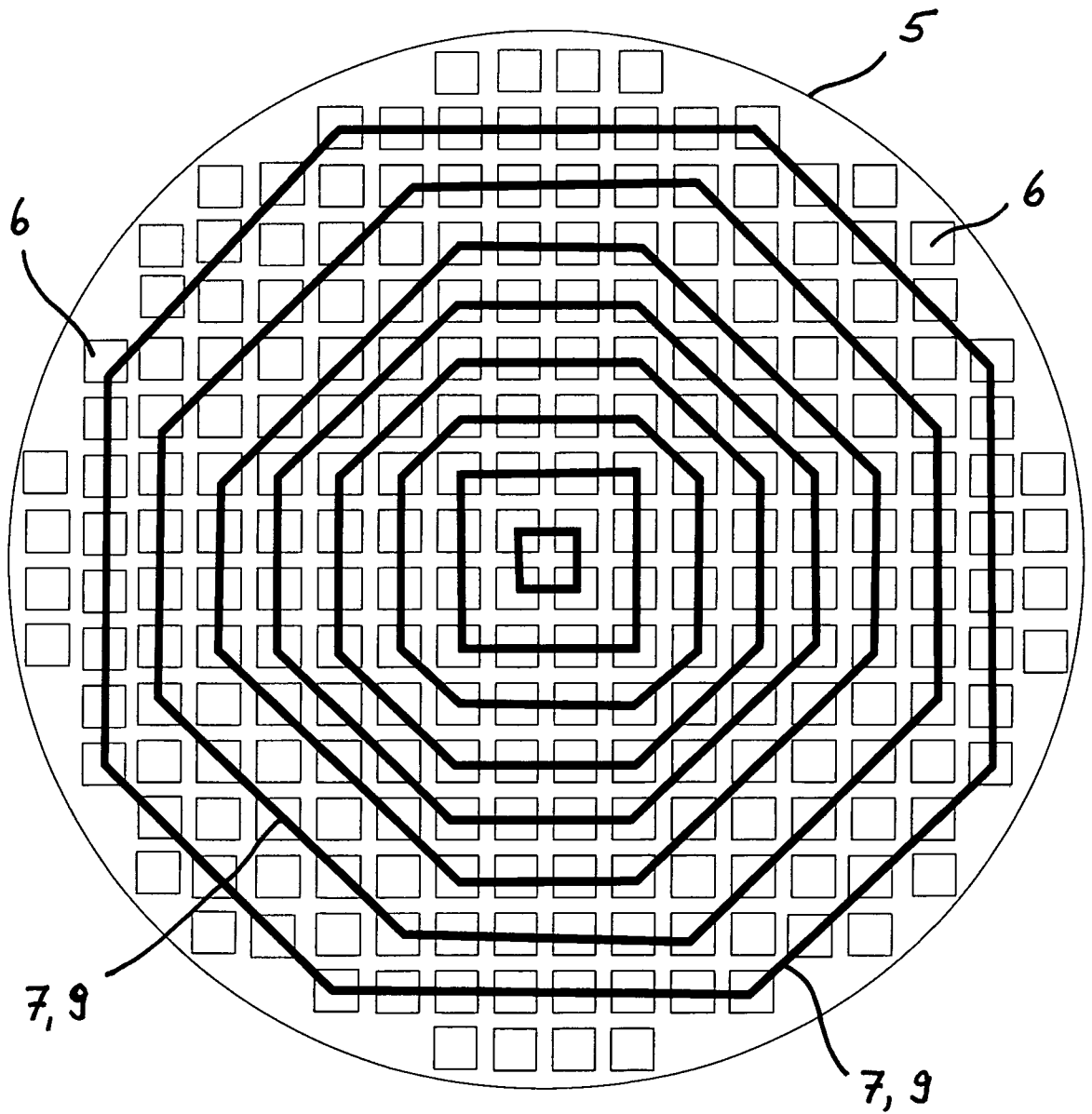


Fig. 5

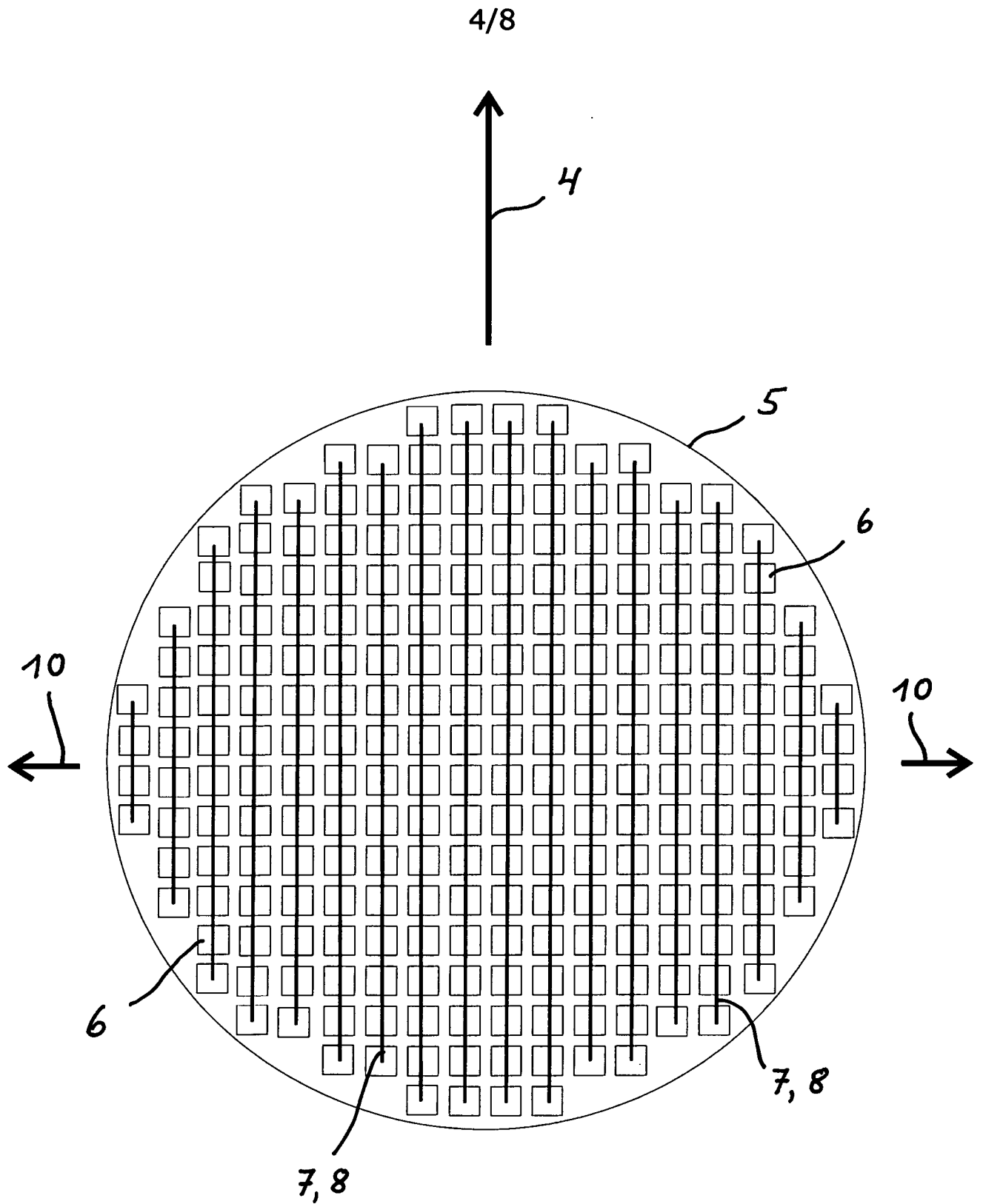


Fig. 6

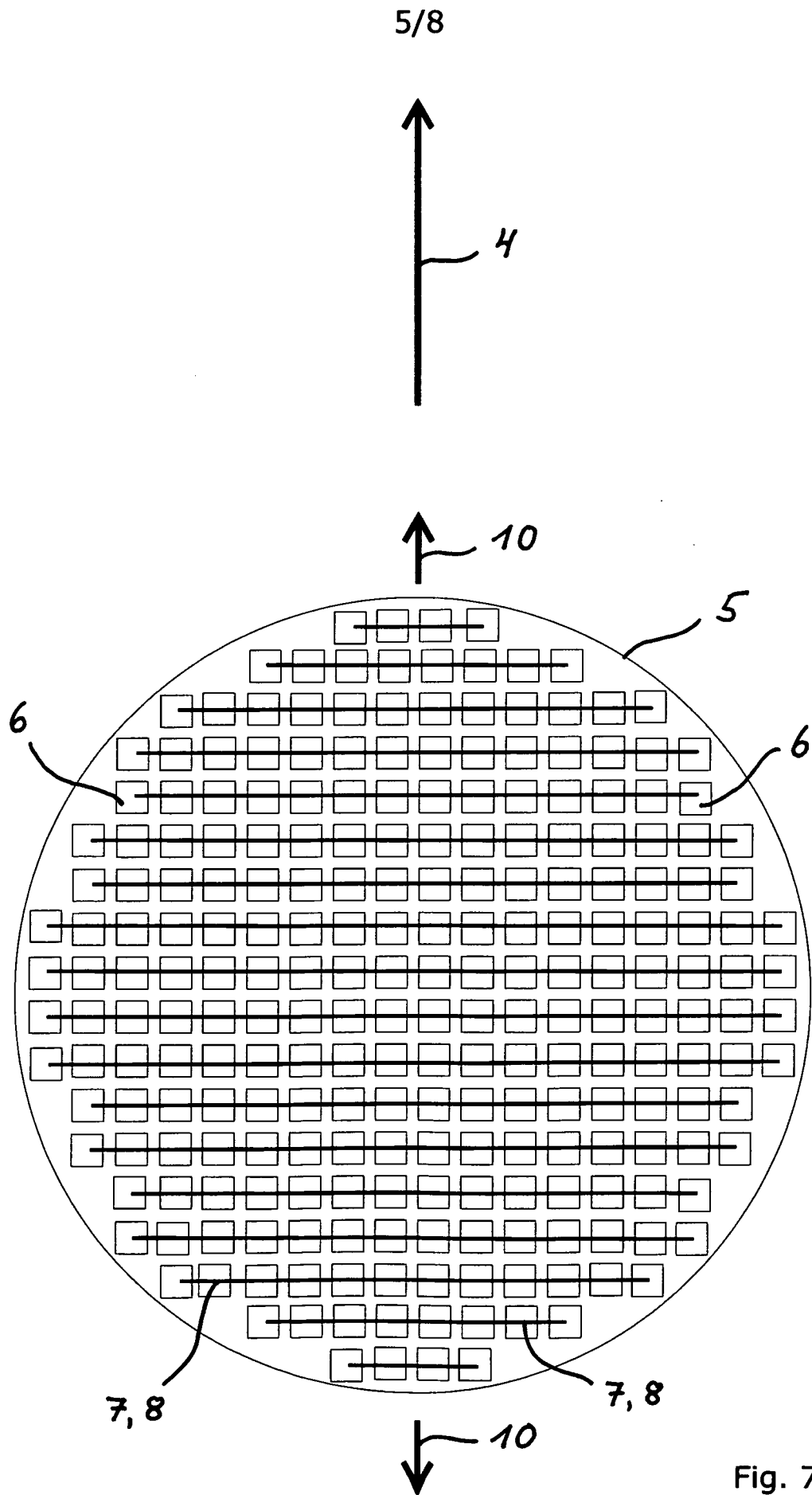
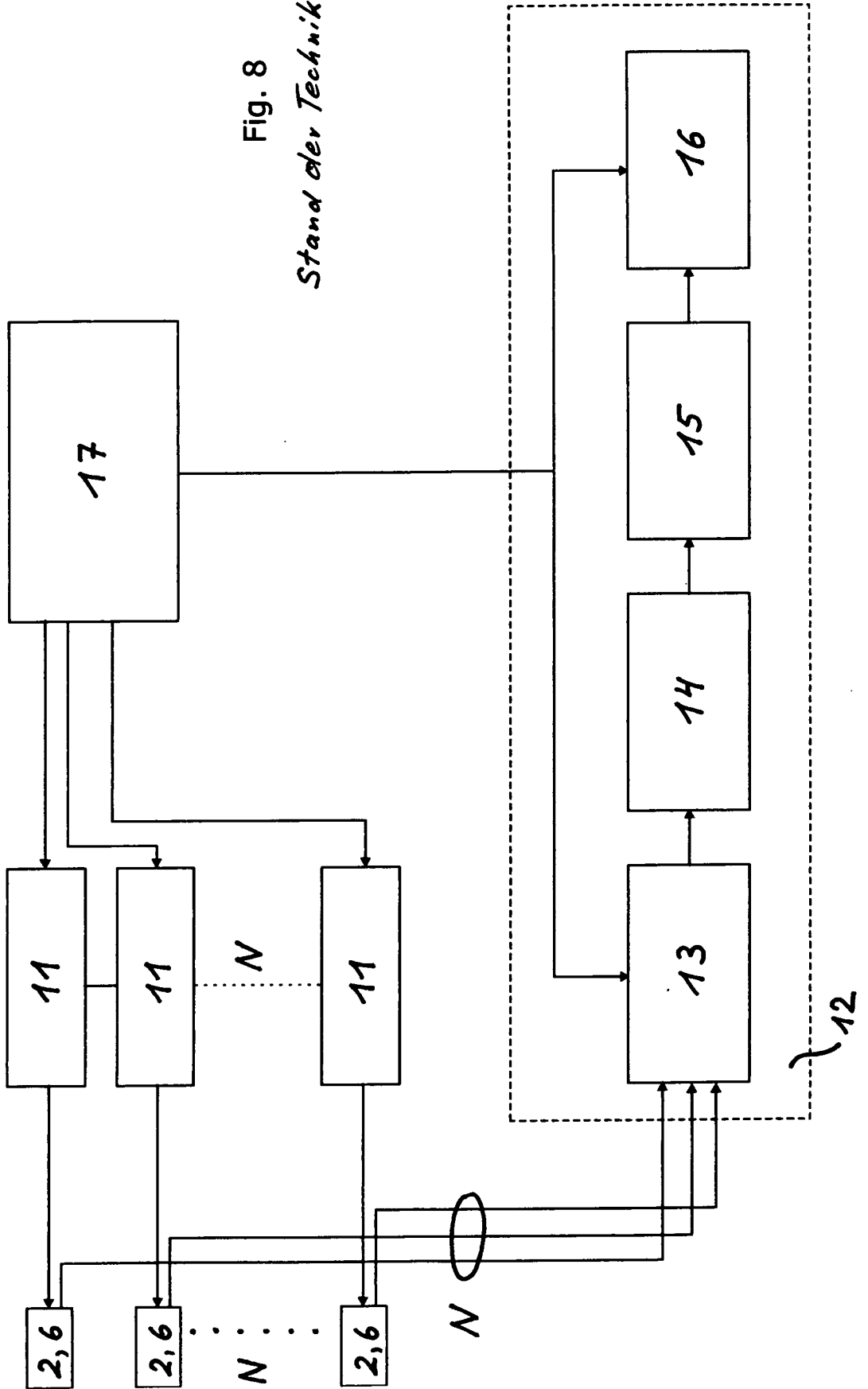


Fig. 7

Fig. 8
Stand der Technik



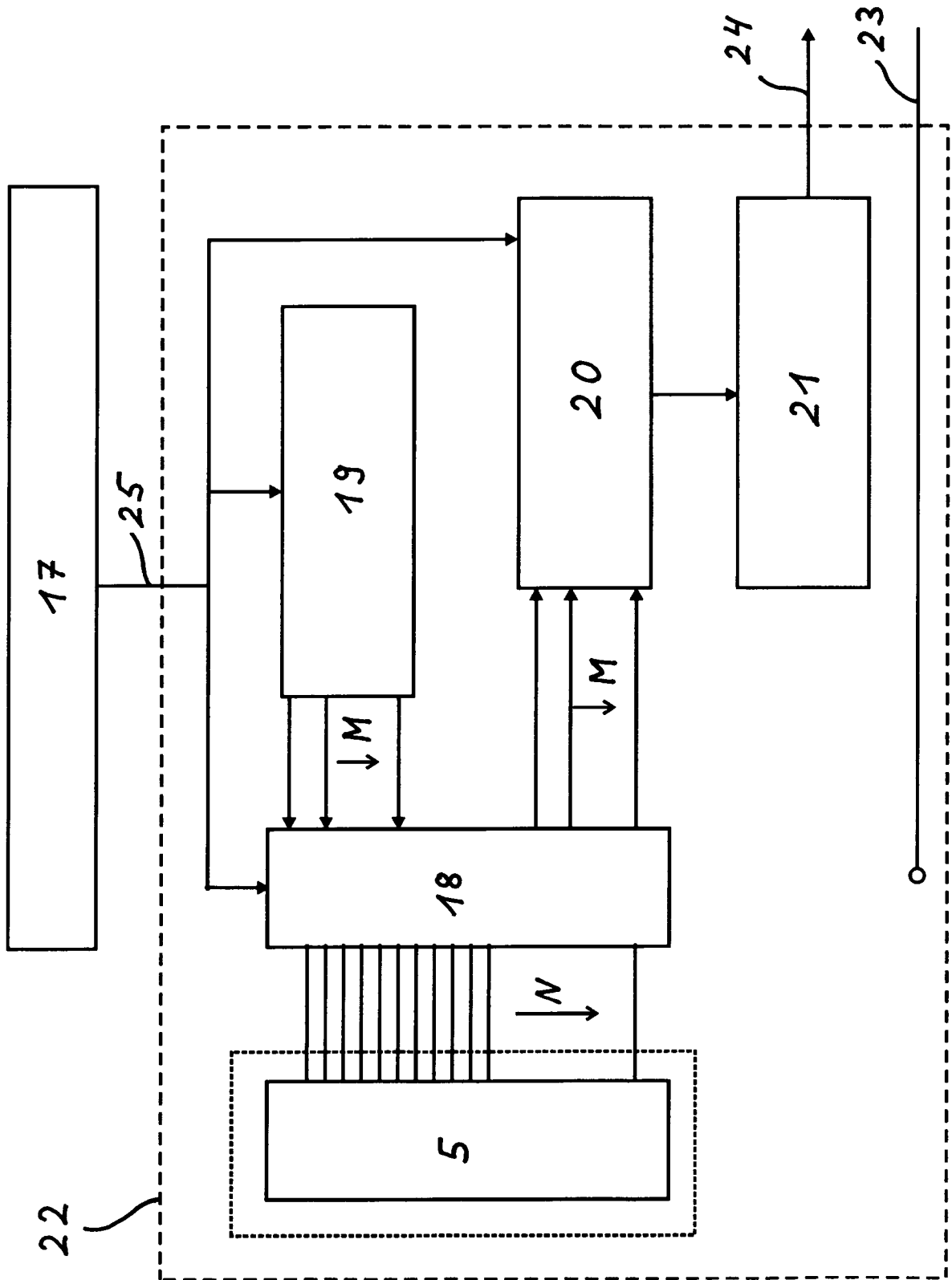


Fig. 9

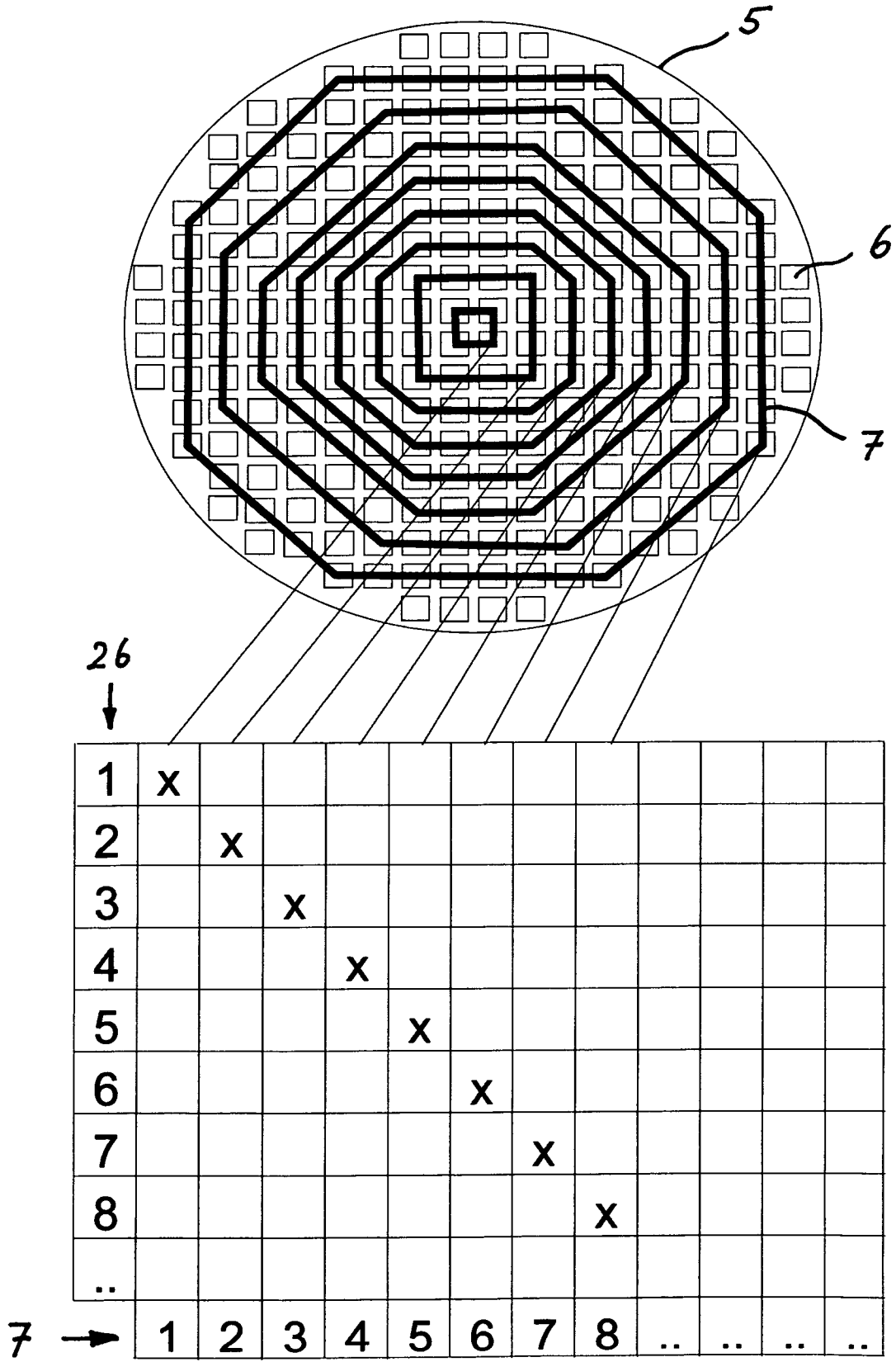


Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/003160

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N29/26 G10K11/34
ADD.
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)
G01N G10K G01S

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 practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 44 05 504 A1 (SIEMENS AG [DE]) 24 August 1995 (1995-08-24) abstract column 1, lines 3-5, 46-54 column 3, lines 10-16 column 3, line 56 - column 4, line 63 column 7, lines 4-14	1-14
X	DE 11 2005 003446 T5 (GEN ELECTRIC [US]) 13 December 2007 (2007-12-13) cited in the application paragraphs [0003], [0055], [0057], [0059], [0061] - [0063], [0097] ----- -/--	1,8,9

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 application or patent 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 26 October 2012	Date of mailing of the international search report 02/11/2012
--	--

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 Filipas, Alin
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2012/003160

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2004/122316 A1 (SATOY YOSHIKI [JP]) 24 June 2004 (2004-06-24) abstract paragraphs [0005], [0024], [0025], [0028], [0029], [0046] - [0048], [0050], [0052], [0054] -----	1,8,9
A	US 2011/066032 A1 (VITEK SHUKI [IL] ET AL) 17 March 2011 (2011-03-17) paragraphs [0002], [0020], [0021] -----	1,8,9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2012/003160

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 4405504	A1	24-08-1995	DE 4405504 A1
			US 5563346 A

DE 112005003446	T5	13-12-2007	CN 101094612 A
			DE 112005003446 T5
			JP 2008517736 A
			KR 20070106687 A
			US 2005096546 A1
			WO 2007086817 A1

US 2004122316	A1	24-06-2004	JP 4386683 B2
			JP 2004174226 A
			US 2004122316 A1

US 2011066032	A1	17-03-2011	US 2011066032 A1
			WO 2011024074 A2

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. G01N29/26 G10K11/34
 ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 G01N G10K G01S

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, WPI Data, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 44 05 504 A1 (SIEMENS AG [DE]) 24. August 1995 (1995-08-24) Zusammenfassung Spalte 1, Zeilen 3-5, 46-54 Spalte 3, Zeilen 10-16 Spalte 3, Zeile 56 - Spalte 4, Zeile 63 Spalte 7, Zeilen 4-14	1-14
X	DE 11 2005 003446 T5 (GEN ELECTRIC [US]) 13. Dezember 2007 (2007-12-13) in der Anmeldung erwähnt Absätze [0003], [0055], [0057], [0059], [0061] - [0063], [0097] ----- -/--	1,8,9



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" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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 Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. Oktober 2012

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

02/11/2012

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

Filipas, Alin

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2004/122316 A1 (SATOY YOSHIAKI [JP]) 24. Juni 2004 (2004-06-24) Zusammenfassung Absätze [0005], [0024], [0025], [0028], [0029], [0046] - [0048], [0050], [0052], [0054]	1,8,9
A	----- US 2011/066032 A1 (VITEK SHUKI [IL] ET AL) 17. März 2011 (2011-03-17) Absätze [0002], [0020], [0021] -----	1,8,9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2012/003160

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4405504 A1	24-08-1995	DE 4405504 A1 US 5563346 A	24-08-1995 08-10-1996

DE 112005003446 T5	13-12-2007	CN 101094612 A DE 112005003446 T5 JP 2008517736 A KR 20070106687 A US 2005096546 A1 WO 2007086817 A1	26-12-2007 13-12-2007 29-05-2008 05-11-2007 05-05-2005 02-08-2007

US 2004122316 A1	24-06-2004	JP 4386683 B2 JP 2004174226 A US 2004122316 A1	16-12-2009 24-06-2004 24-06-2004

US 2011066032 A1	17-03-2011	US 2011066032 A1 WO 2011024074 A2	17-03-2011 03-03-2011
