

**PCT**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁵ : G01N 27/90	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 93/05391 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 18. März 1993 (18.03.93)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP92/01997 (22) Internationales Anmeldedatum: 29. August 1992 (29.08.92) (30) Prioritätsdaten: P 41 29 153.0 2. September 1991 (02.09.91) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): GE- MEINSCHAFTSKERNKRAFTWERK NECKAR GMBH (GKN) [DE/DE]; D-7129 Neckarwestheim (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): KOLDITZ, Joachim [DE/ DE]; Breslauer Str. 10, D-7129 Talheim (DE). (74) Anwälte: WASMUTH, Rolf usw. ; Menzelstr. 40, D-7000 Stuttgart 1 (DE).		(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i>
(54) Title: PROCESS FOR INSPECTING HEAT EXCHANGER TUBES IN A HEAT EXCHANGER (54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÜBERPRÜFUNG DER WÄRMETAUSCHERROHRE IN EINEM WÄRMETAUS- CHER (57) Abstract A process is disclosed for inspecting heat exchanger tubes in a heat exchanger. Heat is transferred from a first medium to a second medium that is isolated from the first medium in a gas- and liquid-tight manner, and the heat exchanger tubes are fixed into position by spacers. In order to inspect a heat exchanger tube, a measurement probe is inserted therein and the tube is exposed section by section to an electromagnetic alternating field having a predeterminable frequency that generates local eddy currents in the tube wall. The local eddy currents induce in an eddy current sensor a voltage signal that varies depending on the state of the material and the thickness of the tube wall. In order to detect the position and the tight fit of a spacer, the voltage signal induced in a tube section by a spacer is stored and the voltage signals stored during inspection of a heat exchanger are evaluated by comparison with a reference signal. (57) Zusammenfassung Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überprüfung der Wärmetauscherrohre in einem Wärmetauscher. Über die Wärmetauscherrohre wird ein Wärmeübergang von einem ersten Medium auf ein gas- und flüssigkeitsdicht davon getrenntes zweites Medium erzielt, wobei die Wärmetauscherrohre durch Abstandshalter in ihren Lagen fixiert sind. Zur Prüfung eines Wärmetauscherrohres wird in dieses eine Meßsonde eingeführt und abschnittsweise das Rohr einem elektromagnetischen Wechselfeld vorgegebbarer Frequenz ausgesetzt, welche in der Rohrwandung örtliche Wirbelströme erzeugt, die in einem Wirbelstromsensor ein Spannungssignal induzieren, welches in Abhängigkeit des Materialzustands und der Dicke der Rohrwandung variiert. Um die Lage und den festen Sitz eines Abstandshalters zu erkennen, wird das in einem Rohrabschnitt durch einen Abstandshalter induzierte Spannungssignal abgespeichert und die im Rahmen der Prüfung eines Wärmetauschers abgespeicherten Spannungssignale durch Vergleich mit einem Mustersignal ausgewertet.		

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	FI	Finnland	MR	Mauritanien
AU	Australien	FR	Frankreich	MW	Malawi
BB	Barbados	GA	Gabon	NL	Niederlande
BE	Belgien	GB	Vereinigtes Königreich	NO	Norwegen
BF	Burkina Faso	GN	Guinea	NZ	Neuseeland
BG	Bulgarien	GR	Griechenland	PL	Polen
BJ	Benin	HU	Ungarn	PT	Portugal
BR	Brasilien	IE	Irland	RO	Rumänien
CA	Kanada	IT	Italien	RU	Russische Föderation
CF	Zentrale Afrikanische Republik	JP	Japan	SD	Sudan
CG	Kongo	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CH	Schweiz	KR	Republik Korea	SK	Slowakische Republik
CI	Côte d'Ivoire	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CM	Kamerun	LK	Sri Lanka	SU	Sowjet Union
CS	Tschechoslowakei	LU	Luxemburg	TD	Tschad
CZ	Tschechische Republik	MC	Monaco	TG	Togo
DE	Deutschland	MG	Madagaskar	UA	Ukraine
DK	Dänemark	ML	Mali	US	Vereinigte Staaten von Amerika
ES	Spanien	MN	Mongolei		

Verfahren zur Überprüfung der Wärmetauscherrohre
in einem Wärmetauscher

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überprüfung der Wärmetauscherrohre in einem Wärmetauscher nach dem Oberbegriff des Anspruches 1.

Ein Dampferzeuger im Primärkreislauf eines Kernkraftwerkes weist ca. 3.000 bis 6.000 Wärmetauscherrohre auf, die über ihre Länge mit 5 bis 10 Abstandshaltern in ihrer Lage fixiert sind. Die Abstandshalter haben vorgegebene feste Abstände und stützen ein Rohr über einen Teilumfang ab. Lockern oder verschieben sich die Abstandshalter im Betrieb, so können die Wärmetauscherrohre zu unerwünschten Schwingungen angeregt werden, die zu einer vorzeitigen Materialermüdung bzw. zu Wanddickenschwächungen des Rohres führen. Die Schwingungen können derart stark sein, daß Wärmetauscherrohre mechanisch aneinander stoßen und Leckagen auftreten. Gerade in einem Kernkraftwerk ist jedoch zwingend erforderlich, daß der radioaktiv belastete Primärkreislauf gas- und flüssigkeitsdicht vom Sekundärkreislauf getrennt bleibt. Daher wird ein derartiger Wärmetauscher regelmäßig wiederkehrenden Prüfungen unterzogen. Hierbei wird jedes Wärmetauscherrohr durch eine Wirbelstrom-Meßsonde geprüft, die in das zu prüfende Rohr eingeführt wird. Ein elektromagneti-

sches Wechselfeld vorgegebbarer Frequenz erzeugt in der Rohrwandung örtliche Wirbelströme, die in einem mitgeführten Sensor Spannungssignale induzieren. Durch Drehung des Sensors in Umfangsrichtung des Rohres und durch Führung längs des Wärmetauscherrohres wird jeder Punkt der Rohrwandung durch den Wirbelstromsensor abgetastet. Bei gleichmäßiger Wanddicke und homogenem Material gibt der Wirbelstromsensor ein gleichmäßiges, in etwa konstantes Signal ab. Wanddickenschwächungen, Materialrisse oder dgl. führen zu einem geänderten Sensorausgangssignal und können so erkannt und örtlich fixiert werden. Änderungen des Sensorausgangssignals durch andere Einflüsse wie zum Beispiel die Abstandshalter werden bei dem bekannten Verfahren unterdrückt, da sie die Aussage über den Zustand der Rohrwandung behindern. Da die Lage der Abstandshalter in Längsrichtung wie in Umfangsrichtung des Rohres bekannt ist, ist die Ausblendung des Störsignals leicht auszuführen.

Nachteilig ist, daß mit dem bekannten Verfahren erst die Folgeschäden erfaßt werden können, die durch einen losen oder falsch stehenden Abstandshalter ausgelöst werden. Auch kann zum Beispiel der Fall auftreten, daß zunächst nur ein Abstandshalter längs eines Wärmetauscherrohres locker ist und die dadurch möglichen Schwingungen des Rohres zunächst zu keinen signifikanten Änderungen in der Wanddicke bzw. des Materialzustands führen. Diese kritische Stelle des Wärmetauschers kann mit dem bekannten Verfahren nicht erkannt werden. Lockert sich zusätzlich ein dem losen Abstandshalter benachbarter Abstandshalter, ist ein relativ langer Abschnitt des Wärmetauscherrohres unzureichend abgestützt und neigt zu mitunter erheblichen Schwingungen, die innerhalb kürzester Zeit zu einem Bruch und somit zur radioaktiven

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP 92/01997

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl. 5: G01N 27/90

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)

Int. Cl. 5: G01N

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP, A, 0 156 020 (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT) 2 October 1985 see abstract see page 1, line 14 - line 19 see page 7, line 10 - line 13; figure 1	1, 2, 4
A	----- US, A, 3 694 740 (ESSEM METOTEST) 26 September 1972 see abstract; figure 1	1
A	----- GB, A, 2 010 492 (BABCOCK&WILCOX) 27 June 1979 see abstract see page 1, line 85 - line 106 ----- -/--	1

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

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

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

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

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

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

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

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

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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

21 OCTOBER 1992 (21.10.92)

Date of mailing of the international search report

23 NOVEMBER 1992 (23.11.92)

Name and mailing address of the ISA/

EUROPEAN PATENT OFFICE

Facsimile No.

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP 92/01997

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE, A, 3 447 781 (BAUMGARTNER, HERBERT) 10 July 1986 see abstract see page 8, paragraph 4; figure 1 -----	1,4
A	EP, A, 0 224 230 (NUKEM) 3 June 1987 see abstract; figure 3 -----	1,4
A	EP, A, 0 259 669 (COMBUSTION ENGINEERING) 16 March 1988 see abstract; figure 1 -----	1

**ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO. EP 9201997
SA 63788**

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The members are as contained in the European Patent Office EDP file on
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information. 21/10/92

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP-A-0156020	02-10-85	DE-A- 3411898	10-10-85
		JP-A- 60219550	02-11-85
		US-A- 4687992	18-08-87

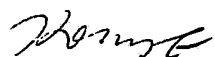
US-A-3694740	26-09-72	DE-A- 2103076	30-09-71
		FR-A- 2083900	17-12-71
		GB-A- 1303783	17-01-73

GB-A-2010492	27-06-79	US-A- 4194149	18-03-80
		AT-B- 376501	26-11-84
		BE-A- 871237	01-02-79
		CA-A- 1099788	21-04-81
		CH-A- 640349	30-12-83
		DE-A, B, C 2840080	21-06-79
		FR-A, B 2412073	13-07-79
		JP-A- 54092296	21-07-79
		LU-A- 80362	19-03-79
		NL-A- 7811082	19-06-79
		SE-B- 439691	24-06-85
		SE-A- 7810364	16-06-79

DE-A-3447781	10-07-86	None	

EP-A-0224230	03-06-87	DE-A- 3542159	04-06-87
		US-A- 4821204	11-04-89

EP-A-0259669	16-03-88	US-A- 4772849	20-09-88

I. KLASSIFIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben) ⁶		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
Int.Kl. 5 G01N27/90		
II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff ⁷		
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole	
Int.Kl. 5	G01N	
Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen ⁸		
III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN ⁹		
Art. ⁹	Kennzeichnung der Veröffentlichung ¹¹ , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile ¹²	Betr. Anspruch Nr. ¹³
A	EP,A,0 156 020 (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT) 2. Oktober 1985 siehe Zusammenfassung siehe Seite 1, Zeile 14 - Zeile 19 siehe Seite 7, Zeile 10 - Zeile 13; Abbildung 1 ---	1,2,4
A	US,A,3 694 740 (ESSEM METOTEST) 26. September 1972 siehe Zusammenfassung; Abbildung 1 ---	1
A	GB,A,2 010 492 (BABCOCK&WILCOX) 27. Juni 1979 siehe Zusammenfassung siehe Seite 1, Zeile 85 - Zeile 106 ---	1
-/-		
¹⁰ Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen: "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "I" 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 nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
IV. BESCHEINIGUNG		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
21. OKTOBER 1992		23. 11. 92
Internationale Recherchenbehörde		Unterschrift des bevollmächtigten Bediensteten
EUROPAISCHES PATENTAMT		KEMPF G.V. 

III. EINSCHLAGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN (Fortsetzung von Blatt 2)		
Art °	Kennzeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE,A,3 447 781 (BAUMGARTNER,HERBERT) 10. Juli 1986 siehe Zusammenfassung siehe Seite 8, Absatz 4; Abbildung 1 ---	1,4
A	EP,A,0 224 230 (NUKEM) 3. Juni 1987 siehe Zusammenfassung; Abbildung 3 ---	1,4
A	EP,A,0 259 669 (COMBUSTION ENGINEERING) 16. März 1988 siehe Zusammenfassung; Abbildung 1 -----	1

**ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 9201997
SA 63788

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

21/10/92

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP-A-0156020	02-10-85	DE-A- 3411898	10-10-85
		JP-A- 60219550	02-11-85
		US-A- 4687992	18-08-87

US-A-3694740	26-09-72	DE-A- 2103076	30-09-71
		FR-A- 2083900	17-12-71
		GB-A- 1303783	17-01-73

GB-A-2010492	27-06-79	US-A- 4194149	18-03-80
		AT-B- 376501	26-11-84
		BE-A- 871237	01-02-79
		CA-A- 1099788	21-04-81
		CH-A- 640349	30-12-83
		DE-A, B, C 2840080	21-06-79
		FR-A, B 2412073	13-07-79
		JP-A- 54092296	21-07-79
		LU-A- 80362	19-03-79
		NL-A- 7811082	19-06-79
		SE-B- 439691	24-06-85
		SE-A- 7810364	16-06-79

DE-A-3447781	10-07-86	Keine	

EP-A-0224230	03-06-87	DE-A- 3542159	04-06-87
		US-A- 4821204	11-04-89

EP-A-0259669	16-03-88	US-A- 4772849	20-09-88

EPO FORM P0473

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

Verunreinigung des Sekundärkreislaufes führen können. In der Praxis ist ein derartiger Fall bei einem Kernkraftwerk in Japan aufgetreten.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Überprüfung der Wärmetauscherrohre in einem Wärmetauscher anzugeben, mit dem der feste Sitz und die räumliche Lage jedes einzelnen Abstandshalters erkannt werden kann.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß nach den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruches 1 gelöst.

Das bei der örtlichen Abtastung der Rohrwandung auftretende, durch einen Abstandshalter veränderte Spannungssignal des Sensors wird abgespeichert und alle Abstandshaltersignale des Wärmetauschers durch Vergleich mit einem Mustersignal ausgewertet. Das Verfahren basiert auf der Erkenntnis, daß ein fest am Wärmetauscherrohr anliegender Abstandshalter ein Sensorausgangssignal entsprechend einem Mustersignal bedingt und die sich ausbildenden Wirbelströme gestört werden, wenn der Abstandshalter seine Lage ändert oder mit Spiel zur Rohrwandung liegt, wodurch ein anderes Spannungssignal induziert wird.

Versuche haben gezeigt, daß das im Wirbelstromsensor im Bereich eines Abstandshalters induzierte Spannungssignal in Abhängigkeit von der räumlichen Lage des Abstandshalters sowie von einem eventuellen Spalt zwischen Abstandshalter und Rohr seine Form und Amplitude ändert.

Ergeben sich beim Vergleich signifikante Abweichungen vom Mustersignal, liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit ein nicht

ordnungsgemäß stehender Abstandshalter vor. Da die Abstandshaltersignale der Reihe nach abgespeichert sind, kann der schadhafte Abstandshalter als der n-te Abstandshalter im i-ten Wärmetauscherrohr identifiziert werden.

Bei einem Wärmetauscher mit etwa 5.000 Wärmetauscherrohren und pro Rohr 5 bis 10 Abstandshaltern müssen ca. 25.000 bis 50.000 Abstandshaltersignale ausgewertet werden. Vorteilhaft ist daher vorgesehen, über die Summe der abgespeicherten Spannungssignale eines Wärmetauschers einen das Mustersignal darstellenden arithmetischen Mittelwert zu bilden und alle Spannungssignale mit diesem Mustersignal zu vergleichen. In Abhängigkeit des Vergleichs werden die einzelnen Spannungssignale nach einer Gauß'schen Verteilungskurve in Abhängigkeit von ihrer Standardabweichung abgelegt. Durch Vorgabe eines Grenzwerts der Standardabweichung können dann die Spannungssignale erkannt werden, die eine signifikante Abweichung zeigen und über dem Grenzwert liegen und daher mit hoher Wahrscheinlichkeit einen falsch sitzenden Abstandshalter anzeigen.

Da bei einer derartigen Überprüfung eines Wärmetauschers eine große Datenmenge zu verarbeiten ist, erfolgt die Auswertung der abgespeicherten Spannungssignale insbesondere rechnergestützt durch einen Computer.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren können nicht korrekt sitzende Abstandshalter vorzeitig erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, bevor Sekundärschäden an den Wärmetauscherrohren festgestellt werden können. Die gas- und flüssigkeitsdichte Trennung von Primärkreislauf und Sekundärkreislauf, insbesondere bei einem Dampferzeuger in einem Kernkraftwerk, kann daher mit hoher Sicherheit eingehalten werden.

Ansprüche

1. Verfahren zur Überprüfung der Wärmetauscherrohre in einem Wärmetauscher, insbesondere eines Dampferzeugers im Primärkreislauf eines Kernkraftwerks, über die ein Wärmeübergang von einem ersten Medium auf ein gas- und flüssigkeitsdicht davon getrenntes zweites Medium erfolgt und die Rohre durch Abstandshalter in ihren Lagen fixiert sind, wobei in ein zu prüfendes Rohr eine Meßsonde eingeführt wird, über die ein zu prüfender Rohrabschnitt einem elektromagnetischen Wechselfeld vorgegebbarer Frequenz ausgesetzt wird und die sich in der Rohrwandung des Abschnitts ausbildenden örtlichen Wirbelströme in einem in Längsrichtung des Rohres verschiebbaren und in Umfangsrichtung des Rohres drehbaren Wirbelstromsensor ein Spannungssignal induzieren, das zumindest in Abhängigkeit des Materialzustandes und der Dicke des Rohrwandungsabschnitts örtlich variiert, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils das durch einen Abstandshalter induzierte Spannungssignal abgespeichert wird, und daß die im Rahmen der Prüfung eines Wärmetauschers abgespeicherten Spannungssignale durch Vergleich mit einem Mustersignal ausgewertet werden.