



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer: **AT 000 069 U1**

(12) **GEBRAUCHSMUSTERSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 8003/94

(51) Int.Cl.⁵ : **G01R 31/06**

(22) Anmeldetag: 7.10.1992

(42) Beginn der Schutzdauer: 15.11.1994
Längste mögliche Dauer: 31.10.2002

(67) Umwandlung aus Patentanmeldung: 1973/92

(45) Ausgabetag: 27.12.1994

(73) Gebrauchsmusterinhaber:

ELIN ENERGIEVERSORGUNG GESELLSCHAFT M.B.H.
A-1141 WIEN (AT).

(72) Erfinder:

WOSCHNAGG ELMAR DR.
WEIZ, STEIERMARK (AT).

(54) VERFAHREN ZUR WINDUNGSSCHLUSSDETEKTION AN ROTORWICKLUNGEN VON TURBOGENERATOREN

(57) Bei der Erfindung handelt es sich um ein Verfahren zur Windungsschlußdetektion an Rotorwicklungen von Turbogeneratoren mittels Feldmessung, wobei ein Feldsensor dem magnetischen Feld zu prüfender Spulen ausgesetzt ist, und wobei die Meßwerte einer Auswertung zugeführt werden.

Latente Windungsschlüsse in den Feldwicklungen von Turbogeneratorläufern können durch thermische und dynamische Überbeanspruchung zur Verminderung der Leistung des Generators oder anderen ernstlichen Einschränkungen beim Betrieb der Maschine führen.

Erfindungsgemäß wird die Feldwicklung des Turbogenerators mit betriebsfrequenter Wechselspannung gespeist und das magnetische Feld der Spulen in Keilmitte und in der Umfangsrichtung des Rotors (1) gemessen; nach Abschluß der Einzelmessungen, zur Ortung einer fehlerhaften Spule, werden die Meßwerte polweise nach Amplitude und/oder Phase verglichen.

Der Vorteil der erfindungsgemäßen Meßmethode besteht darin, daß sie eine hohe Empfindlichkeit aufweist und dadurch eine sehr enge Eingrenzung des Fehlerortes sicherstellt.

AT 000 069 U1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Windungsschlußdetektion an Rotorwicklungen von Turbogeneratoren mittels Feldmessung, wobei ein Feldsensor dem magnetischen Feld jeweils einer von mehreren, nacheinander zu prüfenden Spulen ausgesetzt ist, und wobei die Meßwerte einer Auswertung zugeführt werden.

Latente Windungsschlüsse in den Feldwicklungen von Turbogeneratorläufern können durch thermische und dynamische Überbeanspruchung zur Verminderung der Leistung des Generators oder anderen ernstlichen Einschränkungen beim Betrieb der Maschine führen. Sie stellen in jedem Fall ein erhöhtes Betriebsrisiko dar, das Fortschreiten des Fehlers kann den Störfall des Maschinensatzes bedingen. Daher besteht großes Interesse, die Existenz derartiger Fehler einwandfrei festzustellen und ihre Lage zu orten, um die Dringlichkeit einer Außerbetriebnahme des Generators, sowie Umfang, Dauer und Kosten einer notwendigen Reparatur abschätzen zu können. Vorwiegend wird es sich um Fehler in den Wickelköpfen handeln, wo besonders die obersten Wicklungslagen durch Schieben in axialer Richtung infolge thermischer Dehnung windungsschlußgefährdet sind. Fehler mit Masseschluß im Nutteil werden durch das Schutzsystem des Generators erfaßt. Um eine Sanierung in der kürzest möglichen Zeit durchführen zu können, ist es notwendig zu wissen, an welchem Ende die Wicklungskappe abgezogen werden muß.

Es sind etliche Meß- und Prüfmethoden zur Windungsschlußdetektion an Läufern bekannt, die sich besonders für den Einsatz in der Fertigung, bei Prüfungen im Werk oder vor Ort sowie zur ständigen Betriebsüberwachung eignen. Solche Methoden sind: Impedanzmessung mit Polvergleich, Messung der Komponenten des magnetischen Flusses bei Gleichstromerregung, Stoßspannungsprüfung oder Reflexionsmethode mittels Wanderwelle, harmonische Analyse des Statorstromes oder der Wellenspannung.

Der Nachteil dieser angeführten Meßmethoden besteht prinzipiell darin, daß sie einen erheblichen Meßaufwand bedingen. Für einen zweifelsfreien Befund über das Vorhandensein von Windungsschlüssen, der mutmaßlichen Fehlerstelle und daraus abzuleitender Interventionsempfehlungen ist zudem umfangreiches technisches Know-how erforderlich. Ein weiterer, gravierender Nachteil ist, daß bei

Kurzschluß nur einer einzigen Windung oder bei relativ hochohmigen Fehler alle diese Methoden zu wenig sensitiv sind.

Die Publikation GE Installation & Service Engineering, GET 6987A, Revised, November 1991, befaßt sich mit einem Detektor zum Aufspüren von Windungsschlüssen in Generator-Feldwicklungen. Diese Detektionsmethode besteht darin, im Luftspalt zwischen Rotor und Stator Messungen durchzuführen, aus denen die Verschiedenheit der Wellenformen von kurzgeschlossenen und nicht kurzgeschlossenen Windungen hervorgeht. In der Wellenform findet die Änderungsgeschwindigkeit der im Luftspalt radial rotierenden Flußdichte ihren Niederschlag. Diese Wellenform betont die Veränderungen der Flußdichte an den Nuten. Dabei ist die Amplitude der Spannungsspitzen in der Nut eine Funktion der aktiven Windungen in den Nuten (magnetischer Streufluß in den Nuten) und des Verzerrungsfaktors, welcher von der Flußdichte im Luftspalt über den Nuten hervorgerufen wird. Zur Erzielung der größten Empfindlichkeit bei der Windungsschluß-Detektion werden die an jenen Nuten abgelesenen Daten herangezogen, an denen minimale Verzerrungseffekte auftreten.

Nachteilig an dieser Methode ist deren zu geringe Genauigkeit.

Auch in den IEE Proceedings, Vol. 133, Pt. B. No. 3, Mai 1986, S. 181 ff. wird eine Detektionsmethode zum Aufspüren von Wicklungsschlüssen vorgestellt. Dabei wird eine Detektionsspule nahe der Rotoroberfläche positioniert. Dreht sich der Rotor, so wird in der Detektionsspule eine Spannung induziert, wenn die Wicklungsspulen die Detektionsspule passieren. Dabei ist die Amplitude dieser induzierten Spannung direkt proportional den Amperewindungen der jeweiligen Nut; entsprechend wird eine geringere Spannung induziert, wenn Spulenwindungen kurzgeschlossen sind.

Diese Detektionsmethode hat den Nachteil, daß bei Vollastbetrieb keine genauen Daten erhältlich sind.

Ziel der Erfindung ist es, eine Meßmethode zur Windungsschlußdetektion zu entwickeln, die es ermöglicht, eine genaue Bestimmung des Fehlerortes hinsichtlich Maschinenende, Spulenseite und Windungslage durchzuführen.

ist im Luftspalt 9 knapp oberhalb der Nut 3 angeordnet. Von der Feldsonde 4 führt eine Meßleitung 10 über einen Verstärker 5 zu einem Fluxmeter 6. Eine weitere Meßleitung 11 führt vom Verstärker 5 zu einem Diagnoserechner 7. Eine Leitung 12 verbindet den Rechner 7 mit einem Drucker 8.

Die Rotorwicklung wird in gleicher Schaltung wie für die Impedanzmessung mit einer Wechselspannung angespeist. In der Regel werden 220 Volt angelegt; um den Rotor nicht zu gefährden, können aber auch geringere Spannungen verwendet werden. Ebenso könnte eine höhere Frequenz als 50 Hz verwendet werden. Der Erregerstrom erzeugt einen Nutstreufuß, der um den Umfang des Rotors herum an verschiedenen Stellen der Rotorlänge nahe der Oberfläche gemessen oder kontinuierlich aufgezeichnet wird. Für die Beurteilung werden die Meßwerte aller Spulen polweise verglichen. Wegen der Symmetrie der Pole sollten sich dabei diametral gegenüberliegende Nuten entsprechen. Eventuell vorhandene Unsymmetrien werden beim Polvergleich ausgeschaltet, wenn beiden Seiten jeder Spule summiert werden.

Ist ein Windungsschluß vorhanden, so verhält sich die betroffene Spule wie ein Transformator im Kurzschluß. Infolge der engen magnetischen Kopplung der Leiter führt die kurzgeschlossene Windung einen der restlichen Windungszahl in der Nut entsprechenden Kurzschlußstrom. Dessen Magnetfeld überlagert sich dem ursprünglich vorhandenen. Dadurch ergibt sich im Vergleich zur gesunden Spule eine deutliche Änderung der Amplitude und Phasenlage des tangentialen Flusses an der Rotoroberfläche, auch wenn der Fehler am Nutgrund liegt.

Durch den Windungsschluß ändert sich die Teilimpedanz der betroffenen Spule und damit auch die gesamte Polradimpedanz. Die über Klemmen und Polverbinder meßbaren Teilspannungen werden unsymmetrisch. Wenn unter den Wicklungskappen die innenliegenden Spulenverbinder zugänglich sind, können zumindest die Spannungsabfälle über je zwei Spulen gemessen und der Fehler auch mit dieser Methode grob eingegrenzt werden.

Zur Erfassung stationärer Fehler muß im allgemeinen der Rotor aus der Maschine ausgebaut werden. Kann über Mannlöcher oder Stopf-

buchsen und Ventilationsschlitze im Blechpaket von außen eine Feldsonde bis in den Luftspalt vorgeschoben werden, dann läßt sich die Messung auch bei zusammengebauter Maschine durchführen, wenn jede Nut exakt unter den Sensor gestellt oder der Rotor mit geringer Drehzahl durchgedreht werden kann, beispielsweise händisch, mittels Drehvorrichtung oder im Auslauf. Letzteres entspricht dem händischen Ziehen des Sensors entlang des Rotorumfangs. Dabei wird die Flußkomponente in Umfangsrichtung gemessen. Diese steigt über die Nutbreite jeweils kontinuierlich an. Für die Beurteilung brauchen jedoch nur die Werte in Keilmitte herangezogen werden. Für eine rasche Messung genügt es daher, die Sonde jeweils in Keilmitte aufzusetzen.

Ein Windungsschluß führt zu einer deutlichen Phasenverschiebung des Flusses in der betroffenen Spule, so daß der Fehler auch anhand der Phasenlage einwandfrei erkannt werden kann.

Am ausgebauten Rotor kann mit Hilfe einer Wechselstrom-Feldmessung über die einzelnen Leiter einer Spule die kurzgeschlossene, den Fehlerstrom führende Windung klar erkannt werden. Dies gelingt zwar auch mit der Spannungsabfallmessung mit Gleich- und Wechselspannung, bei dieser muß aber durch kräftig an zwei blanke Leiter angepreßte Meßspitzen für einen einwandfreien Spannungsabgriff gesorgt werden, was im allgemeinen nur im Wickelkopf durchführbar ist.

Die Aufgabe wird durch die Erfindung gelöst. Diese ist dadurch gekennzeichnet, daß die Feldwicklung des Turbogenerators mit betriebsfrequenter Wechselspannung angespeist wird, und daß das magnetische Feld der Spulen in Keilmitte und in der Umfangsrichtung des Rotors gemessen wird, und daß nach Abschluß der Einzelmessungen, zur Ortung einer fehlerhaften Spule, die Meßwerte polweise nach Amplitude und/oder Phase verglichen werden.

Der Vorteil des erfindungsgemäßen Meßverfahrens besteht darin, daß sie, wegen der Nutzung der transformatorischen Kurzschlußströme, eine hohe Empfindlichkeit aufweist und dadurch eine sehr enge Eingrenzung des Fehlerortes sicherstellt. Zudem ist die Methode relativ einfach und rasch - gleichzeitig mit der üblichen Impedanzmessung - durchführbar.

In einer Ausgestaltung der Erfindung werden die gemessenen Werte einem Diagnoserechner zugeführt, in diesem gespeichert und von diesem polweise nach Amplitude und/oder Phase verglichen werden, wobei der Diagnoserechner ein Programm zur grafischen Darstellung von Test- und Stördaten in Form von Farbgrafiken und Meßkurven aufweist, und wobei der Diagnoserechner mit einem Drucker in Verbindung steht.

Mittels der Verwendung des Diagnoserechners ist es möglich, die zur Windungsschlußdetektion durchgeführten Messungen rascher auszuwerten.

Eine Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß die Fehlerstelle innerhalb einer schadhaften Spule durch Messung des magnetischen Feldes längs der Spulenhöhe dieser Spule an mehreren zugänglichen Stellen des Rotors bestimmt wird, wobei die gemessenen Werte einem Auswertegerät zugeführt werden, welches diese Werte in bezug auf die wirksame Windungslagenzahl vergleicht.

Dadurch kann die Fehlerstelle innerhalb der schadhaften Spule raschest eruiert werden.

Im Rahmen der Erfindung ist vorgesehen, daß die Verläufe des magnetischen Feldes der Rotorwicklung an der rotierenden Maschine während mehrerer Umdrehungen gemessen und einem Rechner zur Bestimmung der Einhüllenden der Feldkurve um den Rotorumfang herum zugeführt werden.

Dies ist vorteilhaft, weil damit auch drehzahl- bzw. fliehkraftabhängige Windungsschlüsse festgestellt werden können. Diese Messungsvariante kann bei entsprechender Zugänglichkeit der Rotoroberfläche bei laufender Maschine auf der Anlage oder im Werk durchgeführt werden. Dabei ist sicherzustellen, daß jede unter der ruhenden Feldsonde vorbeilaufende Nut dabei mindestens einmal gerade das Strommaximum führt, wie dies beim langsamen Vorbeiziehen der Sonde entlang des Rotorumfangs gegeben ist.

In einer erfindungsgemäßen Ausgestaltung wird die Messung bei Drehung des Rotors mit Schlupffrequenz gegenüber der betriebsfrequenten Erregung durchgeführt.

Hierbei werden neben dem Tangentialfeld auch das Strom- und ein Umdrehungssignal über einige Sekunden lang aufgenommen. Aus der Phasenverschiebung zwischen Strom- und Umdrehungssignal läßt sich der Ort mit der zeitlichen Amplitude des Magnetfeldes ermitteln. Dieser wandert pro Umdrehung mit einer gewissen Anzahl von Graden um den Umfang herum. Wegen des flachen Scheitels der Sinuswelle können praktisch jeweils für beispielsweise 10 benachbarte Punkte gleichzeitig die Magnetfeldwerte aufgenommen werden. Der gesamte Feldverlauf ergibt sich mit genügend Redundanz als Hüllkurve, wenn man solcherart bis zu etwa 100 Umdrehungen zusammensetzt. Dabei werden die negativen Halbwellen jeweils getrennt behandelt, um

auch Phasendrehungen durch einen Windungsschluß eindeutig zu erkennen.

In einer speziellen Weiterbildung der Erfindung erfolgt die Anspeisung der Erregerwicklung über eine elektronische Spannungsversorgung, wobei die Erregung mit der Drehzahl des Rotors synchronisiert und die Phase zeitlich um mindestens $\pm 90^\circ$ verschiebbar ist.

Diese erfindungsgemäße Weiterbildung ermöglicht es, das Strommaximum örtlich entlang des Umfanges zu verschieben. Anhand der, üblicherweise aus den Konstruktionszeichnungen bekannten, räumlichen Verteilung der Feldwicklung kann damit jede einzelne Nut separat angesteuert und untersucht werden.

Eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Meßverfahrens sieht vor, daß die Feldsensoren mit Weggebern gekoppelt sind.

Mit dieser vorteilhaften Ausgestaltung läßt sich der Fehlerort exakt bestimmen. Der Kurzschlußstrom fließt durch eine Schleife, an der immer zwei Leiterlagen, und zwar je nach Fehlerort mit unterschiedlichen Längen, beteiligt sind. Der Lagenwechsel erfolgt auf der Schaltseite und wieder zurück über die Fehlerstelle. Wenn man nun an zwei weiter auseinanderliegenden Stellen in der identifizierten windungsschlußbehafteten Spule für jeweils beide Spulenseiten die fehlerstromführende Windungslage bestimmt und unter Berücksichtigung der Bauart der betroffenen Spule für beide Seiten vergleicht, so ergibt sich ein eindeutiges Beurteilungskriterium für die Fehlerlage.

Anhand eines Ausführungsbeispiels soll die Erfindung näher erläutert werden. Zu diesem Zweck ist in der Fig. eine erfindungsgemäße Schaltungsanordnung als Prinzipzeichnung dargestellt

Die Fig zeigt ausschnittsweise einen Rotor 1 eines Turbogenerators im Schnitt, wobei zwei Nuten 2, 3 sichtbar sind. Eine Feldsonde 4

ANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Windungsschlußdetektion an Rotorwicklungen von Turbogeneratoren mittels Feldmessung, wobei ein Feldsensor dem magnetischen Feld jeweils einer von mehreren, nacheinander zu prüfenden Spulen ausgesetzt ist, und wobei die Meßwerte einer Auswertung zugeführt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Feldwicklung des Turbogenerators mit betriebsfrequenter Wechselspannung angespeist wird, und daß das magnetische Feld der Spulen in Keilmitte und in der Umfangsrichtung des Rotors (1) gemessen wird, und daß nach Abschluß der Einzelmessungen, zur Ortung einer fehlerhaften Spule, die Meßwerte polweise nach Amplitude und/oder Phase verglichen werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die gemessenen Werte einem Diagnoserechner (7) zugeführt, in diesem gespeichert und von diesem polweise nach Amplitude und/oder Phase verglichen werden, wobei der Diagnoserechner (7) ein Programm zur grafischen Darstellung von Test- und Stördaten in Form von Farbgrafiken und Meßkurven aufweist, und wobei der Diagnoserechner mit einem Drucker (8) in Verbindung steht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Fehlerstelle innerhalb einer schadhaften Spule durch Messung des magnetischen Feldes längs der Spulenhöhe dieser Spule an mehreren zugänglichen Stellen des Rotors (1) bestimmt wird, wobei die gemessenen Werte einem Auswertegerät zugeführt werden, welches diese Werte in bezug auf die wirksame Windungslagenzahl vergleicht.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Verläufe des magnetischen Feldes der Rotorwicklung an der rotierenden Maschine während mehrerer Umdrehungen gemessen und einem Rechner (7) zur Bestimmung der Einhüllenden der Feldkurve um den Rotorumfang herum zugeführt werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung bei Drehung des Rotors (1) mit Schlupffrequenz gegenüber der betriebsfrequenten Erregung durchgeführt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Anspeisung der Erregerwicklung über eine elektronische Spannungsversorgung erfolgt, wobei die Erregung mit der Drehzahl des Rotors (1) synchronisiert und die Phase zeitlich um mindestens $\pm 90^\circ$ verschoben werden kann.

7. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Feldsensoren (7) mit Weggebern gekoppelt sind.

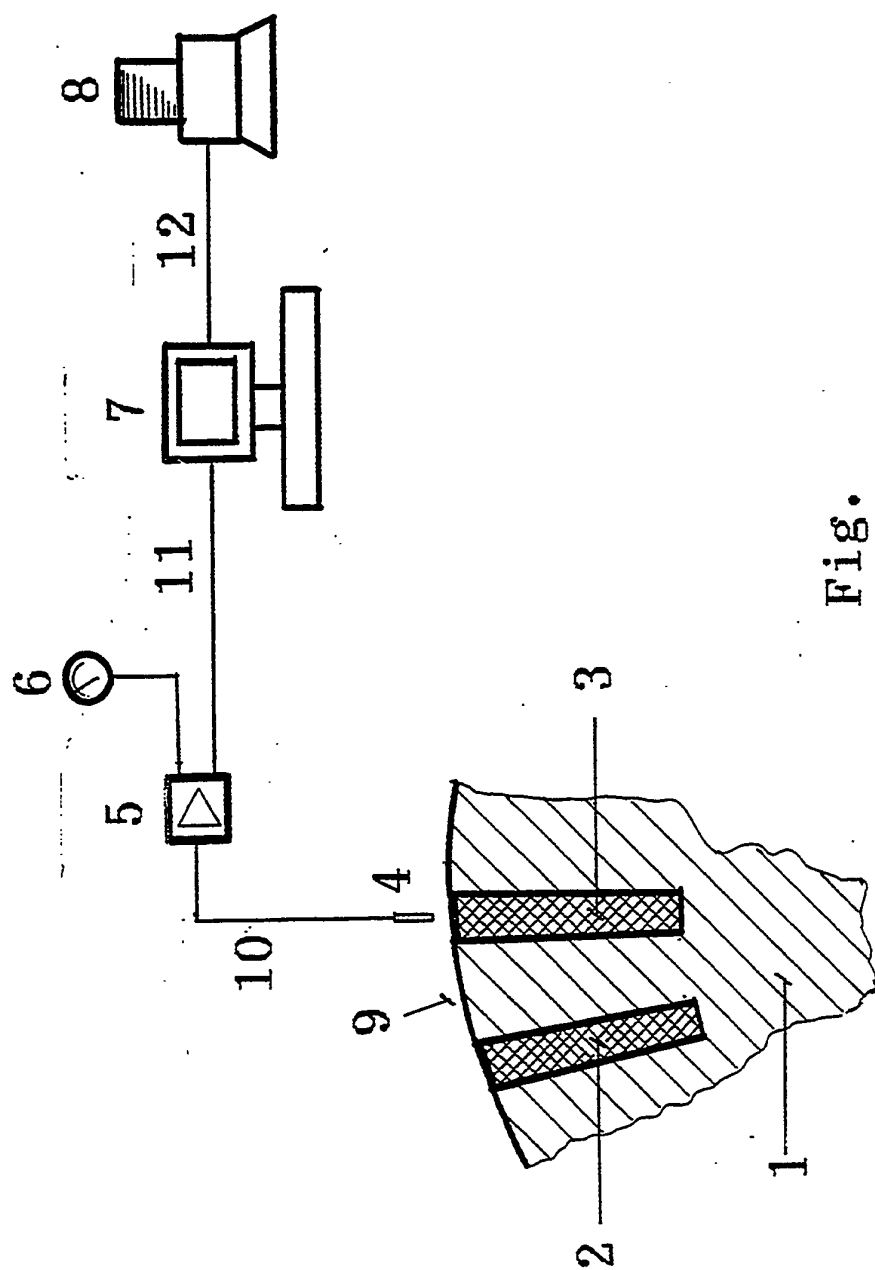


Fig.



ÖSTERREICHISCHES PATENTAMT
Kohlmarkt 8-10
A-1014 Wien
Telefaxnr. (0043) 1-53424-520

AT 000 069 U1

Anmeldenummer:

GM 8003/94

RECHERCHENBERICHT

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES		
G 01 R 31/06 Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC ⁵)		
B. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DD-A-45 420 (WAGNER, SCHIEFELBEIN * komplett *	1
☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen " A " Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als bedeutsam anzusehen ist " X " Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung bzw. der angeführte Teil kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden		" Y " Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung bzw. der angeführte Teil 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 " & " Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der Recherche 27. Mai 1994		Referent Dr. Kunze e. h.