

(19)



(11)

**EP 2 647 802 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**09.10.2013 Patentblatt 2013/41**

(51) Int Cl.:  
**F01K 7/22** <sup>(2006.01)</sup> **F01K 13/02** <sup>(2006.01)</sup>  
**F01K 7/24** <sup>(2006.01)</sup>

(21) Anmeldenummer: **12163194.9**

(22) Anmeldetag: **04.04.2012**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**

(72) Erfinder:  
• **Bauer, Günter**  
**91074 Herzogenaurach (DE)**  
• **Pieper, Norbert**  
**47178 Duisburg (DE)**  
• **Thierbach, Hans-Ulrich Dr.**  
**51674 Wiehl (DE)**  
• **Wechsung, Michael**  
**45470 Mülheim an der Ruhr (DE)**

(71) Anmelder: **Siemens Aktiengesellschaft**  
**80333 München (DE)**

(54) **Kraftwerk und Verfahren zum Betreiben einer Kraftwerksanlage**

(57) Ein Kraftwerk und ein Verfahren zum Betreiben eines Kraftwerks, wobei im Teillastbetrieb die Temperatur am Ausgang der Hochdruck-Teilturbine durch eine Androsselung mittels des Mitteldruck-Ventils erfolgt.

**EP 2 647 802 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Kraftwerksanlage umfassend eine Dampfturbine, die in eine Hochdruck-Teilturbine, Mitteldruck-Teilturbine und Niederdruck-Teilturbine unterteilt ist und zwischen der Hochdruck-Teilturbine und der Mitteldruck-Teilturbine eine Zwischenüberhitzereinheit angeordnet wird.

**[0002]** Des Weiteren betrifft die Erfindung ein Kraftwerk, das nach dem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben wird.

**[0003]** Kraftwerksanlagen, in denen großvolumige Dampfturbinen eingesetzt werden, werden u.a. in der kommunalen Energieversorgung eingesetzt. Die in solchen Kraftwerken eingesetzten Dampfturbinen weisen vergleichsweise hohe Massen auf und sind in der Regel für eine vorgegebene Nennleistung ausgelegt. Diese Kraftwerke, die auch als konventionelle Kraftwerke bezeichnet werden können, können in erster Näherung in reine Dampfkraftwerke und in Gas- und Dampfkraftwerke eingeteilt werden. Beiden ist gemeinsam, dass fossile Brennstoffe benötigt werden, um elektrische Energie zu erzeugen. Solche Kraftwerke wurden bislang derart konzipiert, dass diese für eine Grundlast ausgelegt wurden. Durch den zunehmenden Anteil an erneuerbaren Energiequellen, wie z. B. die Windenergie, die im Wesentlichen nicht regelbar sind, müssen die vorgenannten konventionellen Kraftwerke immer häufiger in einer Teillast betrieben werden. Das bedeutet, dass die Kraftwerke nicht dauerhaft die Nennleistung liefern, sondern einen Prozentsatz der Nennleistung als Teillast liefern. Die Teillasten können in manchen Fällen beispielsweise bei 25% der Volllast liegen.

**[0004]** Das bedeutet, dass diese Kraftwerke flexibel betrieben werden müssen, wobei der Wechsel von vergleichsweise niedriger Teillast auf Volllast möglichst schnell und ohne Begrenzung der Anzahl der Lastwechsel erfolgen soll. Problematisch hierbei ist, dass die Temperatur des Dampfes am Austritt der Zwischenüberhitzereinheit wegen des geringeren Wärmeangebots aus dem kälter werdenden Rauchgas sehr stark sinkt bei extremer Teillast, wie beispielsweise bei 25%. Diese Temperatursenkung kann bis zu 60 Kelvin betragen. Diese Temperaturschwankungen werden allerdings auch auf die Bauteile übertragen. Das bedeutet, dass die großvolumigen und großmassigen Bauteile im ungünstigen Fall ständig erwärmt und abgekühlt werden müssen. Insbesondere dickwandige Bauteile, wie eine Mitteldruck-Teilturbinenwelle, dürfen unter Beachtung von gewünschten Lastwechseln nur vergleichsweise langsam aufgewärmt werden. Dies steht allerdings im Widerspruch zu der Anforderung, das Kraftwerk in möglichst kurzer Zeit von extremer Teillast auf Volllast zu fahren.

**[0005]** Bisher wurden daher die Zwischenüberhitzerheizflächen überdimensioniert und die heiße Zwischenüberhitzertertemperatur im oberen Lastbereich, beispielsweise zwischen 70% und 100%, geregelt unter Inkauf-

nahme des dadurch resultierenden thermodynamischen Wirkungsgradverlustes. Als "hZÜ" wird die heiße Zwischenüberhitzertertemperatur bezeichnet, die nach der Zwischenüberhitzereinheit vorhanden ist. Ein weiterer Lösungsansatz ist, im unteren Lastbereich die Lastgradienten entsprechend zu begrenzen oder die zulässigen Lastwechsel zu reduzieren, wobei auch ein erhöhter Verschleiß in Betracht gezogen wird, so dass die dickwandigen Bauteile frühzeitig ausgetauscht werden müssen.

**[0006]** An dieser Stelle setzt die Erfindung an. Es ist Aufgabe der Erfindung, das Kraftwerk derart zu betreiben, dass die Lebensdauer der Bauteile trotz häufiger Lastwechsel erhöht ist. Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zum Betreiben einer Kraftwerksanlage umfassend eine Dampfturbine, die in eine Hochdruck-Teilturbine, Mitteldruck-Teilturbine und Niederdruck-Teilturbine unterteilt ist und zwischen der Hochdruck-Teilturbine und der Mitteldruck-Teilturbine eine Zwischenüberhitzereinheit angeordnet wird, mit den Schritten:

- Betrieb der Kraftwerksanlage in Teillast,
- Erhöhung der Temperatur am Eintritt zur Zwischenüberhitzereinheit durch Androsselung eines Ventils, das vor der Mitteldruck-Teilturbine angeordnet wird.

**[0007]** Des Weiteren wird die Aufgabe gelöst durch ein Kraftwerk, das nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5 betrieben wird und des Weiteren durch ein Kraftwerk, das als Dampfkraftwerk oder als Gas- und Dampfkraftwerk ausgelegt und nach dem erfindungsgemäßen Verfahren betrieben wird.

**[0008]** Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

**[0009]** Die Erfindung geht von dem Gedanken aus, dass nach wie vor ein häufiger Lastwechsel stattfinden kann, der aber nicht zu einer Lebensdauerverkürzung der Bauteile führt. Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, dass im Allgemeinen bei gleichen Temperaturgradienten die Anzahl der zulässigen Lastwechsel nicht zum Temperatursprung proportional ist. Beispielsweise führt ein Temperatursprung von 30 Kelvin zu ca. 1.000.000 zulässigen Lastwechseln, wohingegen ein Temperatursprung von 60 Kelvin nicht zu einer Halbierung der zulässigen Lastwechsel führt, sondern zu einer viel geringeren Anzahl an Lastwechseln, und zwar ca. 10.000 zulässigen Lastwechseln. Somit ändert sich bei Verdopplung des Temperatursprungs die Anzahl der zulässigen Lastwechsel um eine oder mehrere Größenordnungen. Die vorgenannten Werte dienen lediglich zur Veranschaulichung. Die Anzahl an zulässigen Lastwechseln in Abhängigkeit vom Temperatursprung hängen stark von den Geometrien der Bauteile, von den Werkstoffeigenschaften sowie Temperaturniveaus und vielen anderen weiteren Parametern ab.

**[0010]** Ein erfindungswesentliches Merkmal ist, dass die Temperatur der Zwischenüberhitzereinheit reduziert werden kann, indem die Eintrittstemperatur in die Zwischenüberhitzereinheit angehoben wird. Die Ein-

trittstemperatur vor der Zwischenüberhitzereinheit wird auch als kalte Zwischenüberhitzung bezeichnet. Diese Anhebung der Temperatur wird dadurch realisiert, dass Regelventile, die vor dem zweiten Expansionsabschnitt, d. h. vor der Mitteldruck-Teilturbine, angedrosselt werden. Durch die Androsselung reduziert sich die Expansion und damit der Temperaturabbau im ersten Expansionsabschnitt, in diesem Fall in der Hochdruck-Teilturbine. Die Folge ist, dass es zu vergrößerten lastabhängigen Temperaturschwankungen am Austritt der Hochdruck-Teilturbine kommt.

**[0011]** Somit wird der bei Teillast eintretende Abfall der heißen Zwischenüberhitzertemperatur durch eine Anhebung der kalten Zwischenüberhitzertemperatur am Hochdruck-Teilturbinenaustritt reduziert. Erreicht wird diese Temperaturanhebung durch gezielte Druckerhöhung im Zwischenüberhitzersystem bei Teillast mittels Drosselung der Ventile. Sofern keine Androsselung stattfindet, würde bei einer Teillast an einer Stelle ein Temperaturwechsel von 60 Kelvin beispielsweise an einem Bauteil auftreten. Durch die erfindungsgemäße Androsselung wird dieser Temperaturabsenkung von 60 Kelvin entgegengewirkt und beispielsweise nur eine Temperaturabsenkung von 30 Kelvin erreicht, wobei diese Temperaturabsenkung von 30 Kelvin auf zwei Bauteile aufzuteilen ist. Die zulässigen Lastwechsel vergrößern sich dadurch um mehr als eine Größenordnung.

**[0012]** Somit führt das Aufteilen von großen Temperaturwechseln an den Bauteilen im heißen Zwischenüberhitzersystem und der Mitteldruck-Dampfmaschine auf kleine Temperaturwechsel an den Bauteilen im kalten Zwischenüberhitzer und heißen Zwischenüberhitzerbauteilen zu einem insgesamt kleineren Temperaturwechsel an allen Bauteilen im System.

**[0013]** In einer vorteilhaften Weiterbildung wird die Androsselung derart gewählt, dass der Betrag der Temperaturabsenkung nach der Zwischenüberhitzereinheit im ungedrosselten Zustand im Wesentlichen halbiert wird.

**[0014]** Somit wird die Androsselung derart gesteuert, dass bei Lastwechseln an allen Bauteilen die dann kleineren Temperaturwechsel in erster Näherung gleich groß sind. Ein wesentlicher Vorteil der Erfindung liegt darin, dass nunmehr große Laständerungen mit deutlich schnelleren Gradienten und deutlich häufiger in der Lebensdauer der Dampfmaschine gefahren werden können. Dies führt insgesamt zu einer Erhöhung der Lebensdauer.

**[0015]** Im Folgenden wird nun ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher beschrieben (ohne Figur).

**[0016]** Herkömmliche konventionelle Kraftwerke umfassen eine Dampfmaschine, die sich in eine Hochdruck-Teilturbine, Mitteldruck-Teilturbine und Niederdruck-Teilturbine sowie eine Zwischenüberhitzereinheit einteilen lässt, wobei die Zwischenüberhitzereinheit zwischen der Hochdruck-Teilturbine und der Mitteldruck-Teilturbine angeordnet wird. Vor der Hochdruck-Teilturbine erzeugt ein Dampferzeuger einen heißen Frischdampf, der durch die Hochdruck-Teilturbine strömt und anschlie-

ßend in der Zwischenüberhitzereinheit wieder erhitzt wird und anschließend in die Mitteldruck-Teilturbine strömt sowie anschließend durch die Niederdruck-Teilturbine. Nach der Niederdruck-Teilturbine kondensiert der Dampf zu Wasser und wird über Pumpen wieder zum Dampferzeuger geführt und dort wieder zu Dampf umgewandelt. Solch eine Kraftwerksanlage wird für eine Nennleistung konzipiert, die möglichst permanent auf dieser Nennleistungsebene betrieben werden soll. In einem Teillastbetrieb, das bedeutet, dass die Kraftwerksanlage nicht bei 100% Nennlast, sondern bei beispielsweise 25% der Nennlast betrieben wird, ändern sich die Temperaturen in der Zwischenüberhitzereinheit. Die Temperatur sinkt. Vor der Mitteldruck-Teilturbine wird ein Regelventil angeordnet, das beim Betrieb der Teillast derart angedrosselt wird, dass eine Erhöhung der Temperatur am Eintritt zur Zwischenüberhitzereinheit erfolgt. Das bedeutet, dass ein Regler das Mitteldruck-Ventil derart ansteuert, dass die Dampfströmung angedrosselt wird und zwar derart, dass die Expansion in der Hochdruck-Teilturbine reduziert wird. In Folge dieser Reduzierung erhöht sich die Temperatur am Ausgang der Hochdruck-Teilturbine.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Kraftwerksanlage umfassend eine Dampfmaschine, die in eine Hochdruck-Teilturbine, Mitteldruck-Teilturbine und Niederdruck-Teilturbine unterteilt ist und zwischen der Hochdruck-Teilturbine und der Mitteldruck-Teilturbine eine Zwischenüberhitzereinheit angeordnet ist, mit den Schritten:
  - Betrieb der Kraftwerksanlage in Teillast,
  - Erhöhung der Temperatur am Eintritt zur Zwischenüberhitzereinheit durch Androsselung eines Ventils, das vor der Mitteldruck-Teilturbine angeordnet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Androsselung derart erfolgt, dass die Expansion in der Hochdruck-Teilturbine reduziert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Androsselung derart gewählt wird, dass der Betrag der Temperaturabsenkung nach der Zwischenüberhitzereinheit im ungedrosselten Zustand im Wesentlichen halbiert wird.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Androsselung derart erfolgt, dass bei einem Lastwechsel die Temperaturänderung vor und nach der Zwischenüberhitzereinheit in Folge der Androsselung im Wesentlichen gleich groß ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-

che, wobei der Betrieb bei Teillast im Wesentlichen zwischen 20% und 40%, insbesondere bei 25% der Nennlast erfolgt.

6. Kraftwerk, das nach einem Verfahren gemäß den Ansprüchen 1 bis 5 betrieben wird. 5
7. Kraftwerk nach Anspruch 6, wobei das Kraftwerk als Dampfkraftwerk ausgebildet ist. 10
8. Kraftwerk nach Anspruch 6, wobei das Kraftwerk als Gas- und Dampfkraftwerk ausgebildet ist. 15

20

25

30

35

40

45

50

55



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 12 16 3194

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	EP 0 236 959 A2 (HITACHI LTD [JP]) 16. September 1987 (1987-09-16) * Spalte 1, Zeilen 4-24 * * Spalte 2, Zeile 46 - Spalte 3, Zeile 13 * * Spalte 5, Zeile 39 - Spalte 6, Zeile 55; Abbildungen *	1-7	INV. F01K7/22 F01K13/02 F01K7/24
X	DE 10 2008 037579 A1 (GEN ELECTRIC [US]) 28. Mai 2009 (2009-05-28) * Absätze [0017] - [0020]; Abbildungen *	1-7	
X	EP 0 899 505 A2 (MITSUBISHI HEAVY IND LTD [JP]) 3. März 1999 (1999-03-03) * Absätze [0002], [0003], [0051], [0052]; Abbildungen *	6-8	
A		1	
X	DE 10 2010 041627 A1 (SIEMENS AG [DE]) 29. März 2012 (2012-03-29) * Absätze [0020] - [0021]; Abbildungen *	1-7	
X	US 3 894 394 A (BRAYTENBAH ANDREW S ET AL) 15. Juli 1975 (1975-07-15) * Spalte 11, Zeile 34 - Spalte 16, Zeile 21; Abbildungen *	1-7	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F01K
X	US 4 132 076 A (WEISS GERHARD) 2. Januar 1979 (1979-01-02) * Spalte 3, Zeile 60 - Spalte 7, Zeile 57; Abbildungen *	1-7	
X	US 4 253 308 A (EGGENBERGER MARKUS A ET AL) 3. März 1981 (1981-03-03) * Spalte 3, Zeile 24 - Spalte 5, Zeile 55; Abbildungen *	1-7	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 12. November 2012	Prüfer Henkes, Roeland
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1  
EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 16 3194

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen 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.

12-11-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0236959 A2	16-09-1987	CN 87101723 A	30-09-1987
		DE 3768102 D1	04-04-1991
		EP 0236959 A2	16-09-1987
		JP 1767621 C	11-06-1993
		JP 4054806 B	01-09-1992
		JP 62206203 A	10-09-1987
		US 4744723 A	17-05-1988
DE 102008037579 A1	28-05-2009	DE 102008037579 A1	28-05-2009
		FR 2924157 A1	29-05-2009
		JP 2009127627 A	11-06-2009
		RU 2008146607 A	27-05-2010
		US 2009136337 A1	28-05-2009
EP 0899505 A2	03-03-1999	CA 2240919 A1	28-02-1999
		CN 1210220 A	10-03-1999
		DE 69829250 D1	14-04-2005
		DE 69829250 T2	28-07-2005
		EP 0899505 A2	03-03-1999
		ID 20892 A	25-03-1999
		JP 3794796 B2	12-07-2006
		JP 11132401 A	21-05-1999
		US 6141956 A	07-11-2000
DE 102010041627 A1	29-03-2012	DE 102010041627 A1	29-03-2012
		WO 2012041649 A2	05-04-2012
US 3894394 A	15-07-1975	BE 828214 A1	22-10-1975
		CA 1033032 A1	13-06-1978
		CH 594129 A5	30-12-1977
		DE 2516378 A1	06-11-1975
		ES 436795 A1	01-01-1977
		FR 2268334 A1	14-11-1975
		GB 1488594 A	12-10-1977
		IT 1037488 B	10-11-1979
		JP 993501 C	22-04-1980
		JP 50145701 A	22-11-1975
		JP 54028521 B	18-09-1979
		SE 407096 B	12-03-1979
		SE 7504617 A	22-12-1975
		US 3894394 A	15-07-1975
		US 4132076 A	02-01-1979
DE 2540446 A1	03-03-1977		
ES 449729 A1	16-12-1977		
FR 2321587 A1	18-03-1977		

EPO FORM P0461

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

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 12 16 3194

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen 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.

12-11-2012

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
		HU 177409 B	28-10-1981
		JP 1389913 C	23-07-1987
		JP 52025904 A	26-02-1977
		JP 61058644 B	12-12-1986
		PL 114835 B1	28-02-1981
		SE 428039 B	30-05-1983
		SE 7609136 A	23-02-1977
		US 4132076 A	02-01-1979
US 4253308 A	03-03-1981	CA 1146651 A1	17-05-1983
		CH 653744 A5	15-01-1986
		DE 3021375 A1	18-12-1980
		ES 8102632 A1	16-04-1981
		IT 1149972 B	10-12-1986
		JP 1311041 C	11-04-1986
		JP 56009607 A	31-01-1981
		JP 60033963 B	06-08-1985
		MX 151025 A	10-09-1984
		US 4253308 A	03-03-1981