



(10) **AT 517205 A4 2016-12-15**

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 399/2015
 (22) Anmeldetag: 23.06.2015
 (43) Veröffentlicht am: 15.12.2016

(51) Int. Cl.: **F02D 19/08** (2006.01)
F02D 19/10 (2006.01)
F02D 19/06 (2006.01)
F02D 41/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 EP 2806140 A1
 US 2012325180 A1
 DE 102014000326 A1
 DE 102014004976 A1

(71) Patentanmelder:
 GE Jenbacher GmbH & Co OG
 6200 Jenbach (AT)

(72) Erfinder:
 Imhof Dino
 81667 München (DE)
 Tinschmann Georg
 6130 Schwaz (AT)

(74) Vertreter:
 Torggler Paul Mag. Dr., Hofinger Stephan
 Dipl.Ing. Dr., Gangl Markus Mag. Dr., Maschler
 Christoph MMag. Dr.
 Innsbruck

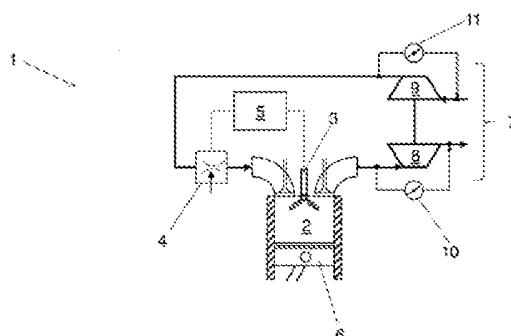
(54) **Dual-Fuel-Brennkraftmaschine**

(57) Dual-Fuel-Brennkraftmaschine (1) mit

- einer Regeleinrichtung (5) zum Regeln der Brennkraftmaschine (1),
- wenigstens einer Kolben-Zylinder-Einheit (2),
- wenigstens einem dieser Kolben-Zylinder-Einheit (2) zugeordneten Kraftstoffinjektor (3) für einen flüssigen Kraftstoff,
- wenigstens einer dieser Kolben-Zylinder-Einheit (2) zugeordneten Gaszufuhreinrichtung für gasförmigen Kraftstoff (4),

wobei die Regeleinrichtung (5) einen Pilotbetriebsmodus aufweist, in welchem der flüssige Kraftstoff als Pilotkraftstoff eingebracht wird, wobei die Regeleinrichtung (5) im Pilotbetriebsmodus einen Transientenmodus aufweist, in welchem in einer Expansionsphase der Kolben-Zylinder-Einheit (2) durch den Kraftstoffinjektor (3) der Kolben-Zylinder-Einheit (2) flüssiger Kraftstoff zugeführt wird.

Fig. 1



Zusammenfassung

Dual-Fuel-Brennkraftmaschine (1) mit

- einer Regeleinrichtung (5) zum Regeln der Brennkraftmaschine (1),
- wenigstens einer Kolben-Zylinder-Einheit (2),
- wenigstens einem dieser Kolben-Zylinder-Einheit (2) zugeordneten Kraftstoffinjektor (3) für einen flüssigen Kraftstoff,
- wenigstens einer dieser Kolben-Zylinder-Einheit (2) zugeordneten Gaszufuhreinrichtung für gasförmigen Kraftstoff (4),

wobei die Regeleinrichtung (5) einen Pilotbetriebsmodus aufweist, in welchem der flüssige Kraftstoff als Pilotkraftstoff eingebracht wird, wobei die Regeleinrichtung (5) im Pilotbetriebsmodus einen Transientenmodus aufweist, in welchem in einer Expansionsphase der Kolben-Zylinder-Einheit (2) durch den Kraftstoffinjektor (3) der Kolben-Zylinder-Einheit (2) flüssiger Kraftstoff zugeführt wird.

(Fig. 1)

Die Erfindung betrifft eine Dual-Fuel-Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1 sowie ein Verfahren zum Betreiben einer Dual-Fuel-Brennkraftmaschine mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 7.

Dual-Fuel-Brennkraftmaschinen werden typischerweise in zwei Betriebsmodi betrieben. Dabei unterscheidet man einen Betriebsmodus mit primär flüssiger Kraftstoffzufuhr (kurz „Flüssigbetrieb“; im Falle der Verwendung von Diesel als flüssigem Kraftstoff „Dieselbetrieb“ genannt) und einem Betriebsmodus mit primär gasförmiger Kraftstoffzufuhr, bei welchem der flüssige Kraftstoff als Pilotkraftstoff zum Initiieren der Verbrennung dient (auch als „Pilotbetrieb“, „Dual-Fuel-Betrieb“ oder „Zündstrahlbetrieb“ bezeichnet).

Im Pilotbetriebsmodus, in welchem der flüssige Kraftstoff als Pilotkraftstoff eingebracht wird, ist die Regeleinrichtung dazu ausgebildet, den Kraftstoffinjektor und die wenigstens eine Gaszufuhreinrichtung zur wahlweisen Dosierung der Menge an der wenigstens einen Kolben-Zylinder-Einheit zugeführtem flüssigen bzw. gasförmigen Kraftstoff anzusteuern.

Für den Dieselbetrieb ist es bekannt, über eine Variation von Voreinspritzungen, Haupteinspritzungen und Nacheinspritzungen den Verbrennungsverlauf zu moderieren. Solche Betriebsmodi mit Mehrfacheinspritzungen sind beispielsweise aus der DE 602 16 437 T2 oder der WO 2003/027473 A1 bekannt.

Die US 7,305,972, die US 7,769,530 und die EP 1 730 294 offenbaren dazu geeignete Injektoren und Kontrollkonzepte.

Hinsichtlich der an eine Brennkraftmaschine gestellten Lastanforderung kann zwischen einem stationären Betrieb und transienten Phasen unterschieden werden. Wenn sich die Lastanforderung in einem relativen engen Band bewegt (z.B. wenn Änderungen der Lastanforderung unter ca. 10% der aktuellen Last liegen) spricht man von einem stationären Betrieb.

Treten größere Änderungen der Lastanforderung auf, so wird der Übergang von der ehemaligen zur neuen Lastanforderung als transiente Phase bezeichnet.

Im Dieselmotorbetrieb der Brennkraftmaschine ist es möglich, rasche Änderungen der Lastanforderung abzubilden und die Brennkraftmaschine weist damit ein günstiges Verhalten in der transienten Phase (kurz: Transientenverhalten) auf.

Im Dieselmotorbetrieb erfolgt die Leistungsanpassung über Anpassen der Kraftstoffmenge (kraftstoffgeführtes System).

Wird hingegen die Brennkraftmaschine primär mit gasförmigem Kraftstoff versorgt, ist eine rasche Anpassung der Leistungsabgabe der Brennkraftmaschine an geänderte Lastanforderungen nicht möglich. Einfach mehr gasförmigen Kraftstoff zuzuführen ist ausgeschlossen, da die Brennkraftmaschine dann ins Klopfen gerät. Eine Brennkraftmaschine im Pilotbetrieb weist daher ein ungünstiges Transientenverhalten auf.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Dual-Fuel-Brennkraftmaschine bzw. ein Verfahren zum Betreiben einer Dual-Fuel-Brennkraftmaschine mit verbessertem Transientenverhalten anzugeben.

Diese Aufgabe wird gelöst durch eine Dual-Fuel-Brennkraftmaschine mit den Merkmalen von Anspruch 1 sowie ein Verfahren zum Betreiben einer Dual-Fuel-Brennkraftmaschine mit den Merkmalen von Anspruch 7. Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Indem die Regeleinrichtung im Pilotbetriebsmodus einen Betriebsmodus aufweist, in welchem in einer Expansionsphase der Kolben-Zylinder-Einheit durch den Kraftstoffinjektor der Kolben-Zylinder-Einheit flüssiger Kraftstoff zugeführt wird, wird ein besseres Transienten-Verhalten der Brennkraftmaschine erreicht. Damit kann die Brennkraftmaschine weiterhin im Betriebsmodus mit vorwiegend gasförmigem Kraftstoff betrieben werden, das heißt es muss nicht in den Dieselmotorbetrieb gewechselt werden, wie das im Stand der Technik zum Realisieren schneller Transienten der Fall ist.

Gerade bei sog. Schnellläufern (Brennkraftmaschinen mit Drehzahlen $> \text{ca. } 1200 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1}$) mit einem zentralen Gasmischer kann allein wegen der

Transportverzögerung durch die großen Wege gar nicht schnell zwischen den Betriebsmodi gewechselt werden.

Durch die Erfindung ist es möglich Dual-Fuel-Brennkraftmaschinen im Betriebsmodus mit primärer Zufuhr an gasförmigem Kraftstoff mit einem Transientenverhalten zu betreiben, welches jenem von Dieselmotoren bzw. Dual-Fuel-Brennkraftmaschinen im Dieselbetrieb nahe kommt.

Das so erzielte Transientenverhalten ist dem eines konventionellen Gasmotors (Gas-Otto-Brennkraftmaschine ohne die Möglichkeit einer Einspritzung flüssigen Kraftstoffes) deutlich überlegen, mit den Emissionsvorteilen gegenüber einem Dieselmotor bzw. einer Dual-Fuel-Brennkraftmaschine im Dieselbetrieb.

Die Erfindung ist besonders relevant für den Einsatz bei ortsfesten Brennkraftmaschinen und für marine Anwendungen. Die Brennkraftmaschinen können als mechanische Antriebe dienen, etwa zum Betreiben von Verdichteranlagen, oder mit einem Generator zu Gensets gekoppelt sein.

Bevorzugt ist die Regeleinrichtung derart ausgebildet, dass sie im Pilotbetriebsmodus solange im stationären Betriebsmodus bleibt, bis die Lastanforderung über einen vorgegebenen Schwellwert hinaus (z. B. mehr als 10 % der bisherigen bzw. aktuellen Lastanforderung) betragsmäßig geändert wird. Wird der Schwellwert betragsmäßig überschritten, wechselt die Regeleinrichtung in den Transientenmodus, bis die von der Brennkraftmaschine erbrachte Leistung einen vorgegebenen Abstand (z. B. weniger als 10 % der neuen Lastanforderung) zur neuen Lastanforderung betragsmäßig unterschreitet. Sobald dies der Fall ist, wechselt die Regeleinrichtung in den stationären Betriebsmodus zurück. Die sich durch die oben definierten Schwellwerte ergebenden Bänder können natürlich von dem Betrag der aktuellen oder der neuen Lastanforderung abhängig gewählt werden.

Die Erfindung wird anhand der Figuren näher erläutert. Dabei zeigt:

- Fig. 1 ein Schema einer Brennkraftmaschine der Erfindung,
Fig. 2a, 2b Diagramme einer Einspritzrate und einer Wärmefreisetzungsrate über dem Kurbelwinkel im stationären Betriebsmodus (Fig. 2a) sowie im Transientenmodus (Fig. 2b)

Figur 1 zeigt schematisch eine Brennkraftmaschine 1 mit einer Kolben-Zylinder-Einheit 2 und einem Kraftstoffinjektor 3 zur Einspritzung von flüssigem Kraftstoff. Gezeigt ist exemplarisch nur eine Kolben-Zylinder-Einheit 2. In der Praxis weisen gattungsgemäße Brennkraftmaschinen eine Vielzahl von Kolben-Zylinder-Einheiten 2 auf.

Eine Regeleinrichtung 5 kann die der Kolben-Zylinder-Einheit 2 zugeführte Menge an flüssigem Kraftstoff (über den Kraftstoffinjektor 3) bzw. die zugeführte Menge an gasförmigen Kraftstoff (über eine Gaszufuhreinrichtung 4) regeln. Signalleitungen sind strichliert angedeutet. Der Übersichtlichkeit halber sind nicht sämtliche zur Regeleinrichtung 5 führenden Signalleitungen eingetragen.

Abgase der Kolben-Zylinder-Einheit 2 strömen auf eine Abgasturbine 8 eines Turboladers 7. Mit der Abgasturbine 8 verbunden ist ein Verdichter 9. Im gezeigten Ausführungsbeispiel ist eine Gaszufuhreinrichtung 4 stromabwärts des Verdichters 9 angeordnet. An dieser Stelle kann die Gaszufuhreinrichtung 4 beispielsweise als Port-Injection-Ventil zur zylinderindividuellen Dosierung von gasförmigem Kraftstoff ausgeführt sein.

In einer Variante ist die Gaszufuhreinrichtung 4 stromaufwärts des Verdichters 9 angeordnet. An dieser Stelle kann die Gaszufuhreinrichtung 4 beispielsweise als Gasmischer ausgeführt sein.

Die Brennkraftmaschine 1 bzw. die Regeleinrichtung 5 ist so konfiguriert, dass in dem Expansionstakt (der Expansionsphase) der Kolben-Zylinder-Einheit 2 durch den Kraftstoffinjektor 3 zusätzlich flüssiger Kraftstoff eingespritzt werden kann.

In dieser Phase ist der Kolben 6 der Kolben-Zylinder-Einheit 2 bereits über den oberen Totpunkt hinaus und somit die Gefahr von Klopfen stark reduziert.

In der Praxis wird der sichere Abstand (wie früh nach dem Oberen Totpunkt darf eingespritzt werden) zur Klopfgrenze durch Versuche ermittelt. Der sichere Abstand in Abhängigkeit der Last kann z. B. als Look-Up-Table in der Regeleinrichtung hinterlegt werden.

Der Abstand zur Klopfgrenze hängt auch von der Qualität des als gasförmiger Kraftstoff verwendeten Gases ab. Speziell bei Marine-Anwendungen kann sich die Gasqualität durch Entmischungen im mitgeführten Gas ändern. Es kann eine Routine vorgesehen sein, um den Abstand zur Klopfgrenze zu ermitteln.

Die zusätzliche Einbringung von Energie im Transientenmodus in Form von flüssigem Kraftstoff in der Expansionsphase bewirkt neben einer höheren Leistungsentfaltung (und dadurch unmittelbar vergrößertes Drehmoment) durch Verlängern der Druckphase in der Kolben-Zylinder-Einheit 2 weiters eine Erhöhung der Enthalpie des Abgases. Somit gelangt mehr Energie auf Abgasturbine 8 des Turboladers 7, die Verdichtungsleistung des Turboladers 7 steigt rascher an, was wiederum erlaubt, eine Gaszufuhr rascher nachzuziehen.

Ein gegebenenfalls höherer Kraftstoffverbrauch und verringerter Wirkungsgrad beim Durchfahren der Transienten-Phase wird in Kauf genommen.

Durch die Einspritzung des flüssigen Kraftstoffs in der Expansionsphase ist nur ein geringer Anstieg der NO_x-Emissionen festzustellen, da in dieser Periode Temperatur- und Druckverhältnisse vorherrschen, bei denen kaum NO_x gebildet wird.

Besonders geeignet ist die Erfindung für einen Magerbetrieb mit einem Verbrennungsluftverhältnis λ von beispielsweise 1,7 bis 1,8. Auch nach einer Verbrennung eines mageren Gemisches mit hohem Luftüberschuss ist ein ausreichend hoher Gehalt an Sauerstoff zur Oxidation des flüssigen Kraftstoffs vorhanden. Dieser Rest-Sauerstoffgehalt ist auch der limitierende Faktor für die Menge an zusätzlich eingespritztem flüssigen Kraftstoff.

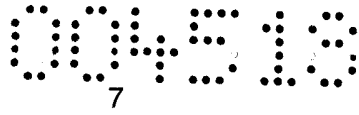
Als zusätzliche Maßnahme kann der Rest-Sauerstoffgehalt in der wenigstens einen Kolben-Zylinder-Einheit 2 durch Betätigung eines durch die Regeleinrichtung 5 betätigbaren Wastegates 10 kurzfristig erhöht werden, wodurch die Menge an im Transientenmodus umsetzbaren flüssigen Kraftstoffes erhöht werden kann. Statt

eines Wastegates 10 könnte hierfür auch eine durch die Regeleinrichtung 5 betätigbare Verdichterumblasung (engl. *compressor bypass*) 11 vorgesehen sein. Unter Betätigung ist hier eine Veränderung der Stellung von Wastegate 10 bzw. Verdichterumblasung 11 in Richtung geringerer Öffnung verstanden. Eine verringerte Öffnungsstellung erhöht kurzfristig das Lambda.

Figur 2a zeigt eine Einspritzrate sowie eine Wärmefreisetzungsrate über den Kurbelwinkel aufgetragen für den stationären Betriebsmodus. Der obere Totpunkt bei 0° Kurbelwinkel ist über eine strichlierte vertikale Hilfslinie markiert. Der im Verlauf der Einspritzrate erkennbare Peak markiert die Piloteinspritzung.

Figur 2b zeigt die Einspritzrate sowie die resultierende Wärmefreisetzungsrate über den Kurbelwinkel gemäß der Erfindung im Transientenmodus. Erkennbar ist im Verlauf der Einspritzrate neben dem Peak der Piloteinspritzung auch die Einspritzung in der Expansionsphase. Man erkennt, dass durch diese gegenüber der Piloteinspritzung zusätzliche Einspritzung von flüssigem Kraftstoff in der Expansionsphase der Verlauf der Wärmefreisetzungsrate weniger abfällt als in dem in Figur 2a geschilderten Fall.

Die Fläche unter der Kurve der Wärmefreisetzungsrate kann als umgesetzte Wärme interpretiert werden. Daraus wird klar, dass durch die erfinderische Maßnahme der Zusatzeinspritzung in der Expansionsphase der Brennkraftmaschine 1 im Dual-Fuel-Betrieb mit Gas als Hauptkraftstoff deutlich mehr Energie umgesetzt wird, die wie oben ausgeführt zu einem rascheren Ansprechen des Turboladers 7 beiträgt.

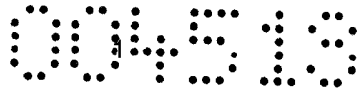


77344 28/hg

Bezugszeichenliste:

- | | |
|----|-------------------------|
| 1 | Brennkraftmaschine |
| 2 | Kolben-Zylinder-Einheit |
| 3 | Kraftstoffinjektor |
| 4 | Gaszufuhreinrichtung |
| 5 | Regeleinrichtung |
| 6 | Kolben |
| 7 | Turbolader |
| 8 | Abgasturbine |
| 9 | Verdichter |
| 10 | Wastegate |
| 11 | Verdichterumblasung |

Innsbruck, am 22.06.2015



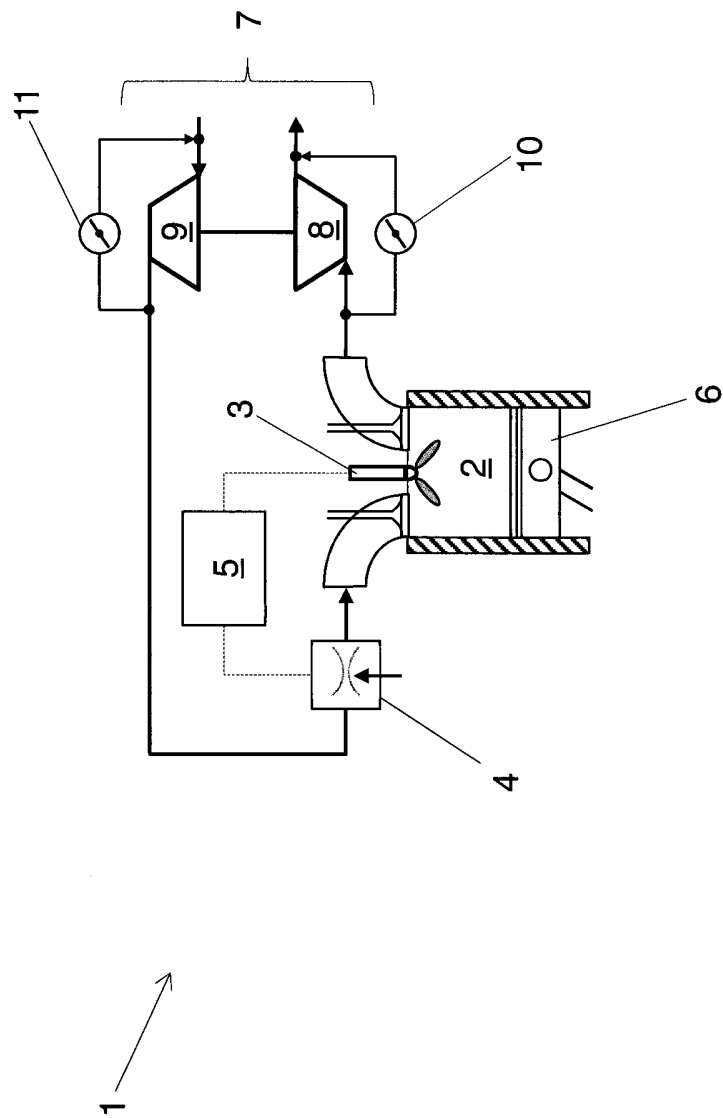
Patentansprüche:

1. Dual-Fuel-Brennkraftmaschine (1) mit
 - einer Regeleinrichtung (5) zum Regeln der Brennkraftmaschine (1),
 - wenigstens einer Kolben-Zylinder-Einheit (2),
 - wenigstens einem dieser Kolben-Zylinder-Einheit (2) zugeordneten Kraftstoffinjektor (3) für einen flüssigen Kraftstoff,
 - wenigstens einer dieser Kolben-Zylinder-Einheit (2) zugeordneten Gaszufuhreinrichtung für gasförmigen Kraftstoff (4),wobei die Regeleinrichtung (5) einen Pilotbetriebsmodus aufweist, in welchem der flüssige Kraftstoff als Pilotkraftstoff eingebracht wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Regeleinrichtung (5) im Pilotbetriebsmodus einen Transientenmodus aufweist, in welchem in einer Expansionsphase der Kolben-Zylinder-Einheit (2) durch den Kraftstoffinjektor (3) der Kolben-Zylinder-Einheit (2) flüssiger Kraftstoff zugeführt wird.
2. Brennkraftmaschine nach Anspruch 1, wobei die Regeleinrichtung (5) dazu ausgebildet ist, im Pilotbetriebsmodus bei einer Änderung der aktuellen Lastanforderung über einen betragsmäßigen Schwellwert hinaus aus einem stationären Betriebsmodus in den Transientenmodus zu wechseln.
3. Brennkraftmaschine nach Anspruch 2, wobei die Regeleinrichtung (5) dazu ausgebildet ist, im Pilotbetriebsmodus bei Annäherung an eine neue Lastanforderung bis an einen vorgegebenen Abstand aus dem Transientenmodus in den stationären Betriebsmodus zu wechseln.
4. Brennkraftmaschine nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Brennkraftmaschine in einem Magerbetrieb betreibbar ist, mit einem Verbrennungsluftverhältnis Λ von vorzugsweise ca. 1,7 bis ca. 1,8.
5. Brennkraftmaschine nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Brennkraftmaschine ortsfest ausgebildet ist, vorzugsweise als Teil eines Gensets oder zum Antreiben einer mechanischen Verdichteranlage.

6. Brennkraftmaschine nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Brennkraftmaschine in einem marinen Fahrzeug angeordnet ist.
7. Verfahren zum Betreiben einer Dual-Fuel-Brennkraftmaschine, insbesondere nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei flüssiger Kraftstoff als Pilotkraftstoff eingebracht wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** die in einer transienten Phase in einer Expansionsphase einer Kolben-Zylinder-Einheit (2) der Brennkraftmaschine der Kolben-Zylinder-Einheit (2) flüssiger Kraftstoff zugeführt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei zusätzlich zur Zuführung von flüssigem Kraftstoff eine Stellung eines Wastegate 10 und / oder einer Verdichterumblasung 11 in Richtung geringerer Öffnung verändert wird.

Innsbruck, am 22.06.2015

Fig. 1



004518

Fig. 2b

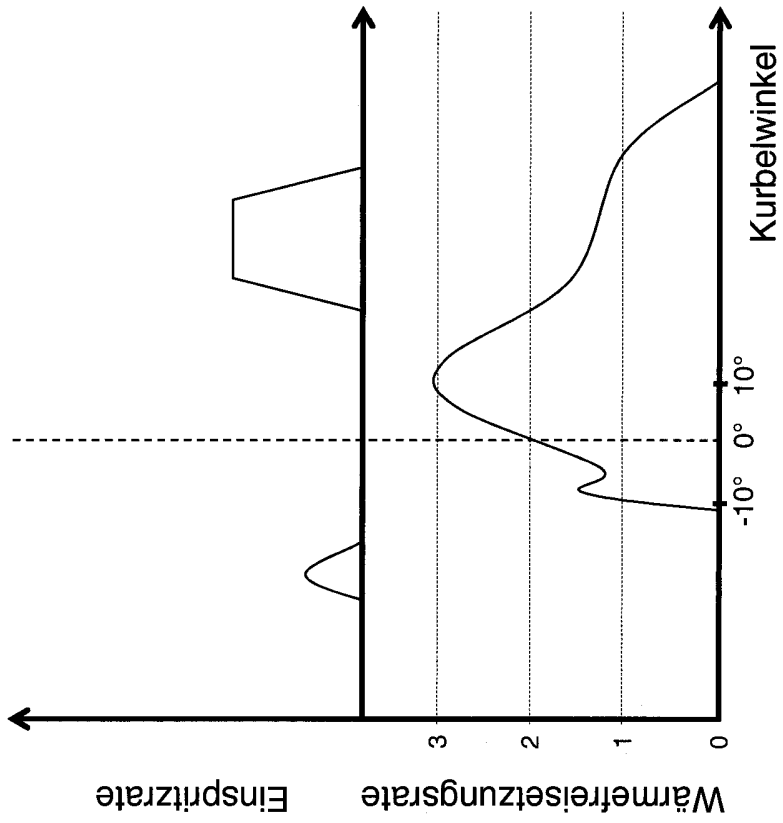


Fig. 2a

