

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50040/2024  
(22) Anmeldetag: 23.01.2024  
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2024

(51) Int. Cl.: **B29B 13/02** (2006.01)  
B29C 35/08 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
AT 520292 A4  
DE 102016119703 A1  
CH 686820 A5  
J. Luo, N. Müller (2021) Softwarebasierte  
Regelung von IR-Öfen: Thermoplastische  
Composites effizient und präzise aufheizen,  
Zeitungsartikel, Carl Hanser Verlag, Kunststoffe  
2021: 28–32  
M. Cetin, C. Herrmann (2017) Hochdynamisches  
und homogenes Aufheizen von Organoblechen.  
Zeitungsartikel, Springer, Lightweight Design  
2017: 54–60

(73) Patentinhaber:  
ENGEL AUSTRIA GmbH  
4311 Schwertberg (AT)

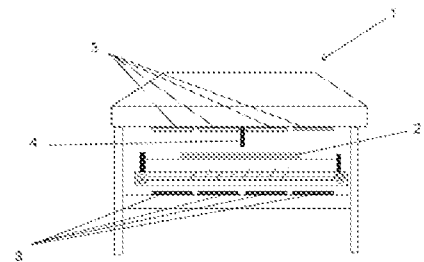
(72) Erfinder:  
Kobler Eva Dipl.-Ing. Dr. BSc.  
4203 Altenberg bei Linz (AT)  
Zwicklhuber Paul MSc  
4550 Kremsmünster (AT)  
Grillnberger Lukas  
4020 Linz (AT)

(74) Vertreter:  
Torggler & Hofmann Patentanwälte GmbH & Co  
KG  
6020 Innsbruck (AT)

(54) **Verfahren zum Bestimmen einer Durchwärmzeit**

(57) Verfahren zum automatisierten Bestimmen einer Durchwärmzeit beim Heizen von vorzugsweise faserverstärkten thermoplastischen Halbzeugen (2) mittels eines Infrarotofen (1) und Anordnung, welche sich zur Durchführung eines solchen Verfahrens eignet.

FIG. 1



## Beschreibung

**[0001]** Die Offenbarung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen einer Durchwärmzeit von vorzugsweise faserverstärkten thermoplastischen Halbzeugen.

**[0002]** Die Offenbarung betrifft des Weiteren ein Verfahren zum Steuern oder Regeln eines Infrarotofens in einem das Halbzeug bearbeitenden Produktionsprozess.

**[0003]** Die Offenbarung betrifft außerdem eine Anordnung, welche sich zur Durchführung einer der beiden vorgenannte Verfahren eignet.

**[0004]** Die Regelung des Heizprozesses in einem Infrarotofen basiert auf der Oberflächentemperatur des aufzuheizenden Halbzeugs. Das Halbzeug wird auf eine Zieltemperatur der Oberflächentemperatur aufgeheizt. Diese Temperatur wird anschließend für eine gewisse Zeit (die sogenannte Durchwärmzeit) gehalten, um sicherzustellen, dass im Zentrum des Halbzeugs dieselben Temperaturen wie auf der Oberfläche vorherrschen.

**[0005]** Die Durchwärmzeit hängt von der Temperaturleitfähigkeit sowie der Materialstärke eines Halbzeugs ab und kann für eine gegebene Halbzeit durch Vorversuche ermittelt werden. Dazu wird ein Thermoelement im Zentrum des Halbzeugs platziert und die dort vorherrschende Temperatur aufgezeichnet. Somit kann die Zeit bestimmt werden, welche benötigt wird, um die Oberflächentemperatur im Kern zu erreichen, also die Durchwärmzeit.

**[0006]** Es ist eine Aufgabe, ein Verfahren und eine Anordnung bereitzustellen, mit denen eine einfachere Bestimmung der Durchwärmzeit eines Halbzeugs möglich ist.

**[0007]** Es ist eine weitere Aufgabe, ein Verfahren und eine Anordnung bereitzustellen, welche unter Verwendung der bestimmten Durchwärmzeit das Bearbeiten von Halbzeugen in einem Produktionsprozess ermöglichen.

**[0008]** Diese Aufgaben werden gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 8 und eine Anordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 11.

**[0009]** Bei einem Verfahren zum Bestimmen einer Durchwärmzeit von vorzugsweise faserverstärkten thermoplastischen Halbzeugen, wobei die thermoplastischen Halbzeuge zwei durch eine Materialstärke voneinander beabstandete Oberflächen aufweisen, sind wenigstens die folgenden Schritte vorgesehen:

- a. Bereitstellen einer Temperaturleitfähigkeit des thermoplastischen Halbzeugs
- b. Bereitstellen einer Materialstärke des thermoplastischen Halbzeugs
- c. Beaufschlagen je wenigstens eines Abschnitts beider Oberflächen des thermoplastischen Halbzeugs mit Energie, bis auf beiden Oberflächen eine vorgegebene Zieltemperatur erreicht wird und Aufzeichnen der Temperaturverläufe auf beiden Oberflächen
- d. Durchführen einer numerischen Simulation zum Berechnen des Temperaturanstiegs an wenigstens einer Position innerhalb der Materialstärke des thermoplastischen Halbzeugs und Bestimmen der Durchwärmzeit, wobei die Simulation als Eingangsdaten
  - die in Schritt a bereitgestellte Temperaturleitfähigkeit des thermoplastischen Halbzeugs
  - die in Schritt b bereitgestellte Materialstärke des thermoplastischen Halbzeugs
  - die in Schritt c aufgezeichneten Temperaturverläufe
  - verwendet und aus den Eingangsdaten die Durchwärmzeit als jene Zeit bestimmt, die erforderlich war, bis in der numerischen Simulation eine vorgegebene Zieltemperatur an der wenigstens einen Position erreicht war
- e. Bereitstellen der bestimmten Durchwärmzeit in einer elektronisch übertragbaren Form.

**[0010]** Die Reihenfolge, in welcher Schritt a und b durchgeführt werden, ist natürlich unerheblich und die Durchführung kann auch zeitgleich erfolgen.

**[0011]** Die Schritte a bis e müssen nicht unmittelbar aufeinanderfolgend durchgeführt werden.

**[0012]** Bei einem Verfahren zum Steuern oder Regeln eines Infrarotofens in einem das thermo-

plastische Halbzeug bearbeitenden Produktionsprozess wird die unter Verwendung der mittels eines solchen Verfahrens bestimmte und bereitgestellte Durchwärmzeit des thermoplastischen Halbzeugs als Stellgröße für den Infrarotofen verwendet.

**[0013]** Schutz wird auch begehrt für eine Recheneinheit, welche zum Durchführen wenigstens eines Schrittes der Schritte a, b, c, d und e des Anspruchs 1 konfiguriert ist.

**[0014]** Schutz wird auch begehrt für eine Anordnung mit einer Spritzgießmaschine, einem Infrarotofen und wenigstens einer solchen Recheneinheit, wobei bevorzugt vorgesehen ist, dass zumindest eine der wenigstens einen Recheneinheit in Form einer Maschinensteuerung oder Maschinenregelung der Spritzgießmaschine oder des Infrarotofens ausgebildet ist.

**[0015]** Schutz wird auch begehrt für ein Computerprogramm, welches bei Ausführung durch eine Recheneinheit diese zum Durchführen wenigstens eines Schrittes der Schritte a, b, c, d und e des Anspruchs 1 konfiguriert und für ein Datensignal, welches ein solches Computerprogramm überträgt.

**[0016]** Weist ein thermoplastisches Halbzeug eine variierende Materialstärke auf, so wird bevorzugt die maximale Materialstärke als „die Materialstärke“ verwendet und den Verfahren der vorliegenden Offenbarung zugrunde gelegt.

**[0017]** Geeignete Techniken zum Durchführen der numerischen Simulation in Schritt d sind aus dem Stand der Technik bekannt und müssen daher hier nicht im Detail erläutert werden. Sobald die berechnete (simulierte) Temperatur an der zumindest einen Position einer vom Bediener bestimmten vorgegebenen Zieltemperatur entspricht, wird kann die numerische Simulation gestoppt werden und der aktuelle Zeitwert (das ist die Zeit, wie lange es gedauert hat, bis die Zieltemperatur an der zumindest einen vorgegebenen Position erreicht war) als Durchwärmzeit festgelegt werden.

**[0018]** Eine geeignete Technik sieht beispielsweise folgendermaßen aus: Basierend auf den Eingangsdaten wird auf Basis einer Laplace-Gleichung eine eindimensionale numerische Berechnung durchgeführt, bei der die Temperatur für die zumindest eine Position innerhalb der Halbzeugstärke (bevorzugt nur für den zentralen Punkt, entspricht der Kerntemperatur) berechnet wird.

**[0019]** Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

**[0020]** Bei einem Ausführungsbeispiel kann vorgesehen sein, dass in Schritt a zum Bereitstellen der Temperaturleitfähigkeit des thermoplastischen Halbzeugs folgendes durchgeführt wird:

- Beaufschlagen wenigstens eines Abschnitts zumindest einer der beiden Oberflächen (optional beider Oberflächen) des thermoplastischen Halbzeugs mit Energie und Aufzeichnen der sich ergebenden Temperatur auf zumindest der anderen der beiden Oberflächen
- Berechnen der Temperaturleitfähigkeit des thermoplastischen Halbzeugs auf Basis der
- die in Schritt b bereitgestellte Materialstärke des thermoplastischen Halbzeugs, der Temperatur auf der zumindest anderen der beiden Oberflächen (bevorzugt auf beiden Oberflächen) und der Zeit bis zum Erreichen dieser Temperatur unter aus dem Stand der Technik bekannten Berechnungsmethoden.

Alternativ kann die Temperaturleitfähigkeit einem Datenblatt entnommen werden.

**[0021]** Bei einem Ausführungsbeispiel kann vorgesehen sein, dass das im vorgenannte Ausführungsbeispiel und/oder das in Schritt c vorgesehene Beaufschlagen mit Energie erfolgt mittels:

- thermischer Strahlung, vorzugsweise in Form eines Wärmepulses, beispielsweise erzeugt durch einen Infrarotofen oder einen Halogenstrahler; oder
- kohärenter Strahlung, beispielsweise erzeugt durch einen Laser;
- oder thermischer Strahlung und kohärenter Strahlung

**[0022]** Der in einem Ausführungsbeispiel zum Bereitstellen der Temperaturleitfähigkeit des thermoplastischen Halbzeugs erfolgende Messvorgang kann so erfolgen, dass

- das Beaufschlagen mit Energie an nur einer der beiden Oberflächen erfolgt; und/oder

- das Beaufschlagen mit Energie mit einer Impulsdauer von unter 30 Sekunden, bevorzugt unter 5 Sekunden, besonders bevorzugt unter 2 Sekunden erfolgt; und/oder
- die sich ergebende(n) Temperatur(en) mittels Pyrometer, Infrarotkamera oder Temperaturfühler aufgezeichnet werden; und/oder
- die sich ergebende(n) Temperatur(en) in Form von fünf bis fünfzehn, bevorzugt zehn Datenpunkten pro Sekunde aufgezeichnet wird.

**[0023]** Bei einem Ausführungsbeispiel kann vorgesehen sein, dass Schritt c unter Verwendung eines Infrarotofen durchgeführt wird, in welchen das thermoplastische Halbzeug eingelegt wird. Dann wird der Messvorgang bevorzugt durchgeführt, wenn sich der Infrarotofen in einem kalten Zustand befindet, um ein Nebenrauschen zu vermeiden.

**[0024]** Bei einem Ausführungsbeispiel kann vorgesehen sein, dass sichergestellt wird, dass die vorgegebene Zieltemperatur auf beiden Oberflächen für eine vorgegebene Zeit gehalten wird, bevorzugt für ca. 20 Sekunden pro Millimeter Halbzeugdicke.

**[0025]** Bei einem Ausführungsbeispiel kann vorgesehen sein, dass wenigstens ein Schritt der Schritte d und e durch eine Recheneinheit einer Maschinensteuerung oder Maschinenregelung einer thermoplastische Halbzeuge in einem Produktionsprozess bearbeitenden Anordnung (welche bevorzugt eine Spritzgießmaschine und einen Infrarotofen umfasst) durchgeführt wird. Alternativ können einzelne oder alle dieser Schritte durch eine Recheneinheit eines Allzweckrechners durchgeführt werden.

**[0026]** Bei einem Ausführungsbeispiel kann vorgesehen sein, dass in Schritt b zum Bereitstellen der Materialstärke des thermoplastischen Halbzeugs diese automatisch ermittelt wird, bevorzugt durch eine Lasermessung. Alternativ kann die Materialstärke von einem Bediener eingegeben werden, zum Beispiel nach Messen mit einer Schublehre.

**[0027]** Bei einem Ausführungsbeispiel kann vorgesehen sein, dass die in elektronisch übertragbarer Form bereitgestellte Durchwärmzeit automatisch mittels einer Datenverbindung an eine Steuerung oder Regelung des Infrarotofens übertragen wird oder die Steuerung oder Regelung des Infrarotofens die bestimmte Durchwärmzeit automatisch mittels einer Datenverbindung abfragt.

**[0028]** Bei einem Ausführungsbeispiel kann vorgesehen sein, dass eine Qualitätskontrolle basierend auf einer Steigung einer Aufheizkurve erfolgt: Dazu werden die gemessenen Temperaturverläufe mit einem für das betreffende thermoplastische Halbzeug hinterlegten Referenzverlauf verglichen. Abweichungen vom Sollverlauf indizieren ein mögliches Qualitätsproblem, wie zum Beispiel Luftblasen im thermoplastischen Halbzeug, eine vom Soll abweichende Verteilung an Fasermaterialien oder ein Defekt des Infrarotofens.

**[0029]** Zusätzlich oder alternativ kann die berechnete individuelle Heizzeit (Zeit bis Zieltemperatur auf der Oberfläche erreicht wird) als Qualitätskriterium herangezogen werden.

**[0030]** Optional kann in beiden obengenannten Ausführungsbeispielen das Verfahren bei Verwendung einer IR-Kamera zur Messung der Oberflächentemperatur mit bekannten Verfahren zur thermographischen Qualitätskontrolle (zum Beispiel Bildanalyse der Oberflächentemperaturverteilung etc.) ergänzt werden.

**[0031]** Figur 1 zeigt einen Infrarotofen zum Aufheizen von thermoplastischen Halbzeugen.

**[0032]** Figur 2 zeigt eine Darstellung eines Temperaturverlaufs einer mit Energie beaufschlagten Oberfläche eines thermoplastischen Halbzeugs über die Zeit.

**[0033]** In Figur 1 ist ein an sich bekannter Infrarotofen 1 mit Infrarot-Strahlern 3 gezeigt, in welchen ein thermoplastisches Halbzeug 2 eingelegt ist. Gezeigt ist beispielhaft ein Temperaturmesssystem (vorzugsweise berührungslos, besonders bevorzugt Pyrometer) 4 zur Bestimmung der Temperatur einer der Oberflächen des thermoplastischen Halbzeugs 2. Anders als dargestellt können mehrere Temperaturmesssystem 4, zum Beispiel ein weiterer Temperaturmesssystem 4 zur Bestimmung der Temperatur der anderen der beiden Oberflächen des thermoplastischen Halbzeugs 2 vorgesehen sein.

**[0034]** In Figur 2 ist gezeigt, wie aus einer Abweichung eines Temperaturverlaufes (hier zu langsame Erwärmung) auf einen Qualitätsmangel des gemessenen thermoplastischen Halbzeugs 2 zurückgeschlossen werden kann.

## BEZUGSZEICHEN:

- 1 Infrarotofen
- 2 thermoplastisches Halbzeug
- 3 Infrarot-Strahler
- 4 Temperaturmesssystem

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen einer Durchwärmzeit von vorzugsweise faserverstärkten thermoplastischen Halbzeugen (2), wobei die thermoplastischen Halbzeuge (2) zwei durch eine Materialstärke voneinander beabstandete Oberflächen aufweisen, umfassend wenigstens die folgenden Schritte:
  - a. Bereitstellen einer Temperaturleitfähigkeit des thermoplastischen Halbzeugs (2)
  - b. Bereitstellen einer Materialstärke des thermoplastischen Halbzeugs (2)
  - c. Beaufschlagen je wenigstens eines Abschnitts beider Oberflächen des thermoplastischen Halbzeugs (2) mit Energie, bis auf beiden Oberflächen eine vorgegebene Zieltemperatur erreicht wird und Aufzeichnen der Temperaturverläufe auf beiden Oberflächen
  - d. Durchführen einer numerischen Simulation zum Berechnen des Temperaturanstiegs an wenigstens einer Position innerhalb der Materialstärke des thermoplastischen Halbzeugs (2) und Bestimmen der Durchwärmzeit, wobei die Simulation als Eingangsdaten
    - die in Schritt a bereitgestellte Temperaturleitfähigkeit des thermoplastischen Halbzeugs
    - die in Schritt b bereitgestellte Materialstärke des thermoplastischen Halbzeugs (2)
    - die in Schritt c aufgezeichneten Temperaturverläufe verwendet und die Durchwärmzeit als jene Zeit bestimmt, die erforderlich war, bis in der numerischen Simulation eine vorgegebene Zieltemperatur an der wenigstens einen Position erreicht war
  - e. Bereitstellen der bestimmten Durchwärmzeit in einer elektronisch übertragbaren Form.
2. Verfahren nach dem vorangehenden Anspruch, wobei in Schritt a zum Bereitstellen der Temperaturleitfähigkeit des thermoplastischen Halbzeugs (2) folgendes durchgeführt wird:
  - Beaufschlagen wenigstens eines Abschnitts zumindest einer der beiden Oberflächen des thermoplastischen Halbzeugs (2) mit Energie und Aufzeichnen der sich ergebenden Temperatur auf zumindest der anderen der beiden Oberflächen
  - Berechnen der Temperaturleitfähigkeit des thermoplastischen Halbzeugs (2) auf Basis der in Schritt b bereitgestellten Materialstärke des thermoplastischen Halbzeugs (2), der Temperatur auf der zumindest anderen der beiden Oberflächen, bevorzugt auf beiden Oberflächen, und der Zeit bis zum Erreichen dieser Temperatur.
3. Verfahren nach einem der beiden vorangehenden Ansprüche, wobei in Schritt b zum Bereitstellen der Materialstärke des thermoplastischen Halbzeugs (2) diese automatisch ermittelt wird, bevorzugt durch eine Lasermessung.
4. Verfahren nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Schritt c unter Verwendung eines Infrarotofens (1) durchgeführt wird, in welchen das thermoplastische Halbzeug (2) eingelegt wird.
5. Verfahren nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, wobei wenigstens ein Schritt der Schritte d und e durch eine Recheneinheit einer Maschinensteuerung oder Maschinenregelung einer thermoplastischen Halbzeuge (2) in einem Produktionsprozess bearbeitenden Anordnung durchgeführt wird.
6. Verfahren nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, wobei sichergestellt wird, dass die vorgegebene Zieltemperatur auf beiden Oberflächen für eine vorgegebene Zeit gehalten wird.
7. Verfahren nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, wobei basierend auf einer Steigung einer Aufheizkurve und/oder einer berechneten individuellen Heizzeit eine Qualitätskontrolle eines thermoplastischen Halbzeugs (2) durchgeführt wird.
8. Verfahren zum Steuern oder Regeln eines Infrarotofens in einem das thermoplastische Halbzeug (2) bearbeitenden Produktionsprozess unter Verwendung der mittels eines Verfahrens nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche bestimmten und bereitgestellten Durchwärmzeit des thermoplastischen Halbzeugs (2) als Stellgröße für den Infrarotofen (1).
9. Verfahren nach dem vorangehenden Anspruch, wobei die in elektronisch übertragbarer Form bereitgestellte Durchwärmzeit automatisch mittels einer Datenverbindung an eine

Steuerung oder Regelung des Infrarotofens (1) übertragen wird oder die Steuerung oder Regelung des Infrarotofens (1) die bestimmte Durchwärmzeit automatisch mittels einer Datenverbindung abfragt.

10. Recheneinheit, welche zum Durchführen wenigstens eines Schrittes der Schritte a, b, c, d und e des Anspruchs 1 konfiguriert ist.
11. Anordnung mit einer Spritzgießmaschine, einem Infrarotofen (1) und wenigstens einer Recheneinheit nach dem vorangehenden Anspruch.
12. Anordnung nach dem vorangehenden Anspruch, wobei zumindest eine der wenigstens einen Recheneinheit in Form einer Maschinensteuerung oder Maschinenregelung der Spritzgießmaschine oder des Infrarotofens (1) ausgebildet ist.
13. Computerprogramm, welches bei Ausführung durch eine Recheneinheit diese zum Durchführen wenigstens eines Schrittes der Schritte a, b, c, d und e des Anspruchs 1 konfiguriert.
14. Datensignal, welches ein Computerprogramm nach dem vorangehenden Anspruch überträgt.

**Hierzu 2 Blatt Zeichnungen**

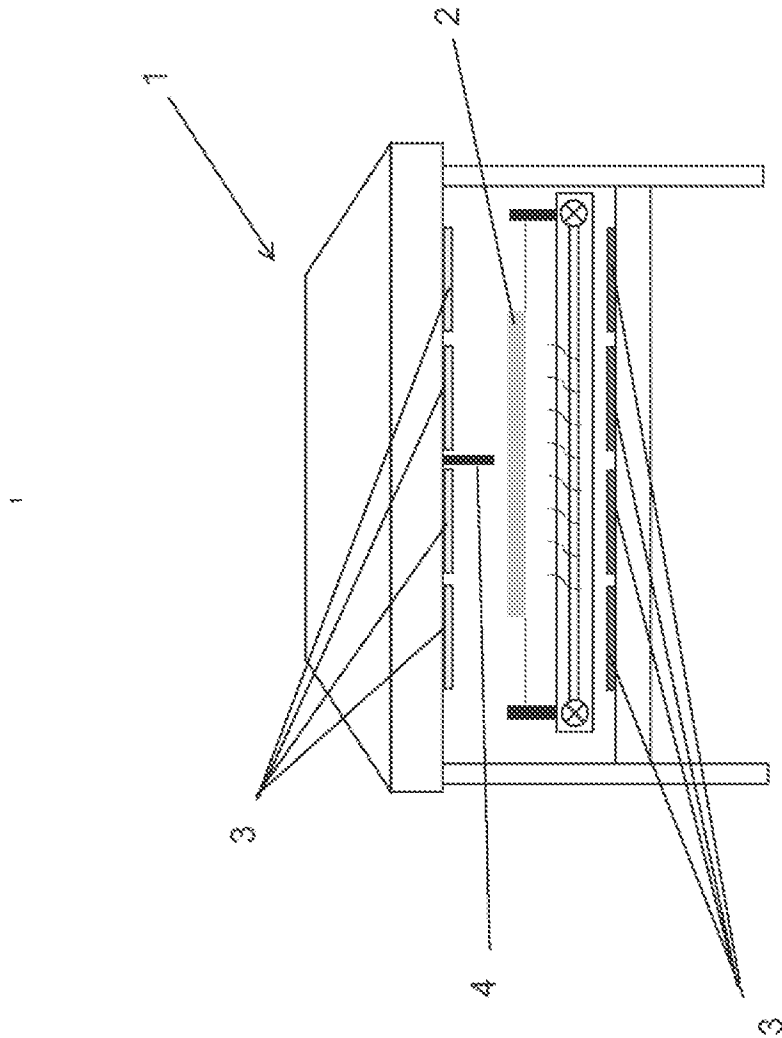


FIG. 1

2

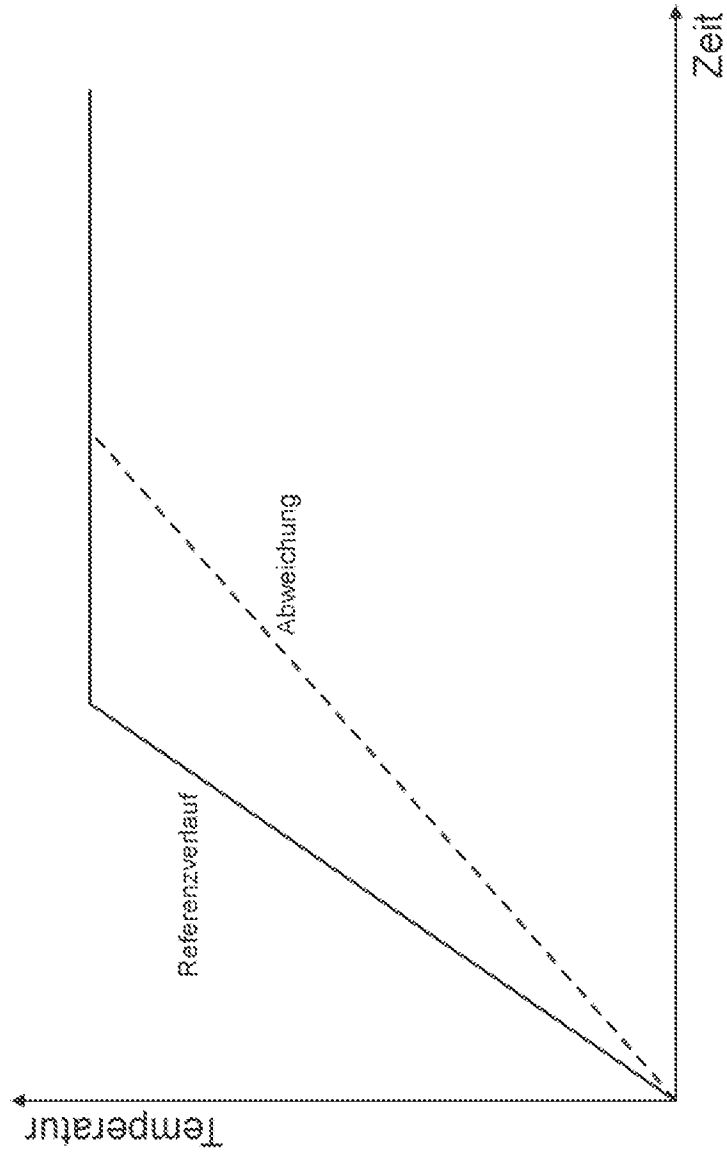


FIG. 2