



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
23.08.2023 Patentblatt 2023/34

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
H05B 6/62 (2006.01) **H05B 6/50** (2006.01)
H05B 6/54 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **23164850.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
H05B 6/50; H05B 6/54; H05B 6/62

(22) Anmeldetag: **28.03.2023**

(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 ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(72) Erfinder:
• **Roland, Ulf**
04158 Leipzig (DE)
• **Kraus, Markus**
04435 Schkeuditz (DE)

(74) Vertreter: **Gulde & Partner**
Patent- und Rechtsanwaltskanzlei mbB
Wallstraße 58/59
10179 Berlin (DE)

(30) Priorität: **16.02.2022 DE 202022100876 U**

(71) Anmelder: **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH-UFZ**
04318 Leipzig (DE)

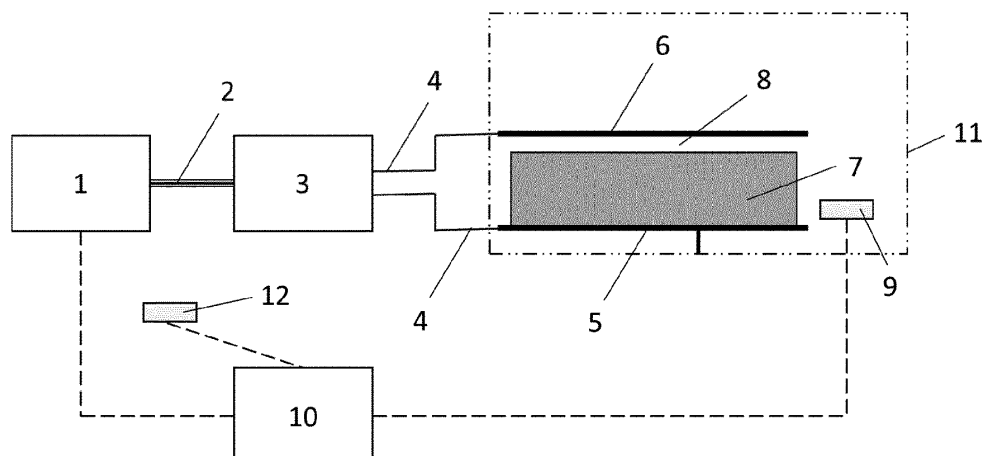
Bemerkungen:
Einem Antrag auf Wiedereinsetzung in die 12-Monatsfrist nach dem Anmeldetag der ersten Anmeldung wurde stattgegeben (Art. 87(1) und Art. 122 EPÜ).

(54) **VORRICHTUNG ZUR KONTROLLIERTEN ERWÄRMUNG VON FORMKÖRPERN**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur kontrollierten Erwärmung von Formkörpern (7), aufweisend eine hochfrequente Spannungsquelle (1), wobei die hochfrequente Spannungsquelle (1) ein elektrisches Feld mit mindestens einer Frequenz im Bereich von 100 kHz bis 300 MHz bereitstellt, mindestens zwei Elektroden

(5, 6), wobei der zu erwärmende Formkörper (7) in einem Einflussbereich der mindestens zwei Elektroden (5, 6) angeordnet wird, einer Steuereinheit (10) zur Steuerung der hochfrequenten Spannungsquelle (1), wobei die Steuereinheit (10) mit der hochfrequenten Spannungsquelle (1) verbunden ist.

Figur 1



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur kontrollierten Erwärmung von Baustoff-Formkörpern wie Asphalt- oder Betonplatten sowie von Formkörpern anderer Materialien mittels elektromagnetischer Wellen vorzugsweise im Frequenzbereich der Radiowellen, enthaltend zumindest zwei hinsichtlich ihrer Feldverteilung aufeinander abgestimmte Elektroden zum Einbringen der Hochfrequenz-Energie, in deren Einflussbereich sich das zu behandelnde Material befindet, welche wiederum vorzugsweise über ein elektronisches Anpassnetzwerk mit einer Hochfrequenz-Spannungsquelle verbunden sind. Ergänzt wird die Vorrichtung in bevorzugten Varianten durch eine Steuereinheit, wodurch ein weitgehend automatisierter Betrieb erfolgen kann. Weiterhin ist es vorteilhaft, die Vorrichtung mit einer Einrichtung zur Zuführung des zu erwärmenden Materials sowie eine zur Abführung des erwärmten Materials, die wahlweise dieselbe oder eine von der Zuführung verschiedene sein kann, zu versehen. In einer besonders bevorzugten Variante enthält die Vorrichtung ein Mittel zur Messung der Temperatur des zu erwärmenden Materials.

[0002] Asphalt ist ein Gemisch einer oder mehrerer Gesteinskomponenten mit einer organischen Komponente als Bindemittel, wofür meist aus Mineralölfraktionen gewonnenes Bitumen eingesetzt wird. Bei der dielektrischen Erwärmung erfolgt die Energieabsorption in der Regel über die Gesteinsphase, selbst, wenn deren Feuchte gering ist. Dies führt vorteilhafterweise zu einer passiven Erwärmung der organischen Bitumenphase, was das Risiko einer ungewollten thermischen Schädigung dieser Phase minimiert. Dies trifft auch für Spezialasphalte zu, die weitere stoffliche Komponenten zur Modifizierung der Gebrauchseigenschaften enthalten. Aus diesem Grund ist die dielektrische Hochfrequenz-Erwärmung dazu prädestiniert, Asphalte kontrolliert bis zur Verarbeitungstemperatur von meist oberhalb von 100°C zu erwärmen. Auf Grund der niedrigen Feuchten und der höheren Eindringtiefe besitzt die Erwärmung mit Frequenzen im Bereich zwischen 100 kHz und 300 MHz, bevorzugt zwischen 1 und 50 MHz, hierfür Vorteile im Vergleich zu Mikrowellen-Erwärmung, bei der typischerweise Frequenzen oberhalb von 500 MHz eingesetzt werden. Innerhalb dieser Bereiche sind wiederum solche Frequenzen besonders bevorzugt, die für industrielle, medizinische und wissenschaftliche Arbeiten freigegeben sind (ISM-Frequenzen).

[0003] Die durch Temperatur initiierte oder beschleunigte Schädigung der Bitumenphase ist in der Regel mit oxidativen Prozessen korreliert. Naturgemäß ist der Zutritt von Luftsauerstoff vorzugsweise in den Außenbereichen relevant, während im Inneren eine Schädigung weniger wahrscheinlich ist. Aus diesem Grund kommt der genauen Kontrolle der Temperatur der Oberflächenbereiche eine besondere Bedeutung zu. Während bei konventionellen Heizverfahren die Erwärmung über Wärmeleitung von außen nach innen erfolgt, die Oberflächen-

region also die höchste Temperatur aufweist, bietet die dielektrische Erwärmung die Möglichkeit, unter Nutzung der erfindungsgemäßen Vorrichtung die Temperaturverteilung zwischen Außen- und Innenbereich gezielt zu steuern. Die erfindungsgemäße Vorrichtung realisiert in einem Ausführungsfall außerdem die Option, im Fall einer durch den Wassergehalt bedingten Überhitzung der Oberfläche durch die Wahl des Elektrodendesigns die Überhitzung zu kompensieren bzw. auszuschließen.

[0004] Ein weiterer Aspekt, der durch die Temperierung der Oberflächenregion beeinflusst wird, ist die mechanische Stabilität von Formkörpern beispielsweise aus Asphalt. Die Gesteins-Bitumen-Mischung zerfällt bei höheren Temperaturen in ein schüttfähiges und damit verarbeitbares Granulat. Bei einer konventionellen, also über Wärmeleitung getragenen Erwärmung vergrößert sich durch diesen Prozess die Oberfläche und damit auch der Bereich der oxidativen Schädigung, noch bevor im Inneren die Solltemperatur erreicht ist, was meist zu einer Minderung der Gesamtqualität des zu erwärmenden Stoffes führt.

[0005] Asphaltstraßen und -wege bilden ein wesentliches Element der Verkehrsinfrastruktur. Eine Schädigung über Rissbildung bis hin zum Auftreten von "Schlaglöchern" tritt kontinuierlich durch Alterung auf, wobei Frost-Tau-Wechsel, saisonale und tägliche Temperaturschwankungen, Überbelastung sowie UV-Strahlung eine wesentliche Rolle spielen. Dies führt zur Notwendigkeit der Reparatur von Straßenschäden in Form von Schlaglöchern oder anderen Schäden, da in der Regel ein kompletter Neubau ökologisch wenig sinnvoll und wirtschaftlich nicht darstellbar ist. Für die Reparatur bietet Heiasphalt auf Grund der Nachhaltigkeit und aus Kostenaspekten einige Vorteile gegenüber alternativen Verfahren wie die Verwendung von Kaltasphalt. Gerade im Winter, wenn Asphaltwerke geschlossen sind oder wenn Reparaturen während verkehrsarmer Zeiten in der Nacht geplant werden müssen, erfordert der Einsatz von Heiasphalt aus Flexibilitätsgründen vorzugsweise eine Erwärmung vor Ort. Die Radiowellen-Technologie, bei der hochfrequente elektromagnetische Wellen eingesetzt werden, ermöglicht unter Nutzung der erfindungsgemäßen Einrichtung eine Erwärmung vorgefertigter Asphaltplatten vor Ort bis hin zu der gewünschten Temperatur, um sie unmittelbar danach im heißen Zustand in das Schlagloch einfüllen zu können.

[0006] Ebenso erlaubt eine thermische Behandlung von Beton dessen Aushärtungsprozess zu beeinflussen und die Eigenschaften in gewünschter Weise zu bestimmen (vgl. Aushärtung von Frischbeton, DE 102013217864 B4 "Verfahren zum Aushärten von hydraulisch abbindenden Baustoffgemischen und Behandlungsvorrichtung"). Auch hier ist mittels Hochfrequenz-Energie eine Erwärmung des Betons bei unterschiedlichen Gehalten an freiem Wasser, d.h. auch in unterschiedlichen Phasen des Aushärtungsprozesses, möglich, wofür die erfindungsmäe Vorrichtung einsetzbar ist.

[0007] Eine weitere mögliche Anwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung besteht in der Erwärmung von Baustoffkörpern zum Zwecke der Entfernung von Porenwasser, um ggf. anschließend Zusatzstoffe wie organische Polymere in das Material einbringen zu können. Eine weitere Anwendungsoption besteht in der Abtötung von potenziell schädigenden Insekten oder Pilzen nach der Beschaffung oder im Zuge einer Restaurierung.

[0008] Prinzipiell gibt es eine Reihe von etablierten Heizverfahren, bei denen der Energieeintrag über die Außenflächen des Formkörpers erfolgt und bei denen demzufolge die Wärmeausbreitung im Inneren auf Wärmeleitungsprozessen beruht. Dies ist naturgemäß mit internen Temperaturgradienten und damit Temperaturunterschieden verbunden. Je stärker die Überhitzung der Außenflächen ist, desto schneller erfolgt die Erwärmung im Inneren. Dem sind jedoch Grenzen gesetzt, die mit der Temperaturempfindlichkeit der Materialien sowie der inneren Spannungsfestigkeit korreliert sind. Aus diesem Grunde sind die auf Wärmeleitung basierenden Verfahren wie Heizplatten, Strahler oder Brenner mit erheblichen Nachteilen gerade für thermisch bruchanfällige Gesteinsarten wie etwa Marmor oder sensible Stoffe mit geringer Wärmeleitung wie etwa Holz, Wachs oder Asphaltmaterialien verbunden.

[0009] Die dielektrische Erwärmung weist demgegenüber den Vorteil eines Energieeintrages direkt in das Volumen des Baustoffkörpers auf, was zu wesentlich geringeren internen Temperaturdifferenzen und damit Materialschädigungen führt. Die dielektrische Erwärmung im Hochfrequenzbereich ist wiederum gegenüber dem Einsatz von Mikrowellen von Vorteil, da die Flexibilität gerade auch bei trockenen Materialien höher, die Erwärmung oftmals homogener ist und die Eindringtiefen größer sind.

[0010] Hinsichtlich des Standes der Technik ist der Einsatz von verschiedenen Varianten der Hochfrequenz-Erwärmung mit Frequenzen im Bereich zwischen 100 kHz und 300 MHz, vorzugsweise zwischen 1 und 50 MHz, beschrieben, die sich in Bezug auf die Geometrie und die Kopplung der eingesetzten Elektroden unterscheiden. Im einfachsten Fall werden parallele Platten- oder Netzelektroden eingesetzt, um ein Material zwischen diesen Elektroden homogen zu erwärmen [EP 2354349 A2 "Vorrichtung zur Trocknung und Dekontamination von Mauerwerk, Beton, Holz und anderen Feststoffen"]. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Erwärmung von Mauerwerk. Ist der Zugang zum zu erwärmenden Materialkörper nur von einer Seite möglich, so ist ein oberflächlich angeordnetes binäres Elektrodenarray einsetzbar, wobei der Effekt der für Hochfrequenz-Strahlung gegebenen Eindringtiefe zur Materialerwärmung auch im Inneren genutzt wird [DE 102016107550 A1 und EP 3236710 B8 "Verfahren und Vorrichtung zur thermischen Behandlung von Feststoffen"]. Der Einsatz dieser Option ist beispielsweise beim chemikalienfreien Holzschutz bei Parkett oder Wandvertäfelungen zu bevorzugen. Außerdem kann eine kapazitive Kopplung genutzt

werden, wenn eine Elektrodenanordnung nicht an beiden Seiten kontaktierbar ist, wie dies beispielsweise für eine feuchte Kellerwand oder einen Kellerboden zutrifft. Hier wird auf einer Seite eine Arbeitselektrode angeordnet, die von einer geerdeten Schirmung umgeben ist. Auf der anderen Seite der zu erwärmenden Struktur befindet sich eine leitfähige Struktur, die mit den vorher genannten Elektroden jeweils eine Kondensatoranordnung bildet und die den Energieeintrag in das Volumen vermittelt [DE 102016107547 B3 und EP 3236711 B1 "Verfahren und Vorrichtung zur nicht-invasiven dielektrischen Erwärmung von Feststoffen"]. Die erfindungsgemäße Vorrichtung greift grundsätzlich auf das erste Prinzip zurück, stellt jedoch durch das spezielle und angepasste erfindungsgemäße Design, das im Folgenden näher erläutert wird, die homogene Erwärmung des Baustoffkörpers unter verschiedenen Bedingungen sicher.

[0011] Insbesondere kann die Vorrichtung dazu verwendet werden, thermisch sensible Materialien, bei denen ab einer bestimmten Temperatur mit weiterer Temperaturerhöhung zunehmend unerwünschte Prozesse auftreten, mit ausreichender Homogenität auf Temperaturen zu erwärmen, die eine Weiterverarbeitbarkeit ermöglichen, aber eine Schädigung weitgehend ausschließen. In einem fokussierten Anwendungsfeld, der Erwärmung von Asphalt-Formkörpern, können somit beispielsweise eine Schädigung der organischen Bitumenphase sowie eine Emission von Schadstoffen wesentlich reduziert werden. Die erfindungsgemäße Abstimmung der Elektroden Eigenschaften auf das Material mit gegebenenfalls variierender Feuchte und insbesondere Oberflächen-Feuchte ermöglicht eine ausreichend homogene Erhöhung der Temperatur. Außerdem wird es auf Basis einer Korrelation von Oberflächen- und Volumentemperaturen möglich, die Temperaturmessung an der Oberfläche zur Führung des Prozesses zu nutzen. Hier bietet der eingesetzte Frequenzbereich einen Vorteil beispielsweise gegenüber Mikrowellen im Frequenzbereich oberhalb von 500 MHz, da dort entweder das Material ohne ausreichende Feuchte praktisch nicht dielektrisch zu erwärmen ist oder andererseits bei erhöhter Feuchte im Oberflächenbereich dessen Überhitzung nicht zu vermeiden ist.

[0012] Somit hat die Beziehung zwischen Innen- und Oberflächentemperatur sowohl eine verfahrenstechnische (Homogenität zur Vermeidung von thermischen Schädigungen) als auch eine messtechnische Bedeutung. Aus messtechnischer Sicht spielen für diese Beziehung gerade auch Wärmeverluste in die Umgebung, entweder über die Elektroden oder über das umgebende Medium eine Rolle. Zu berücksichtigen ist, dass bei vielen Formkörpern die Innentemperatur kaum direkt messbar ist, da eine Schädigung des Materials vermieden werden soll, die Materialkonsistenz das Einbringen von Bohrungen für Sensoren erschwert oder sonstige Gründe die direkte Temperaturdetektion im Volumen erschweren.

[0013] Da die Zieltemperaturen in der Regel deutlich oberhalb der Umgebungstemperatur liegen, würden bei

homogenem Primärenergieeintrag auf Grund von Wärmeverlusten die Oberflächenbereiche mit geringerer Aufheizrate erwärmt, was auch zu geringeren Endtemperaturen im entsprechenden Bereich führt. Um dies zu verhindern, wird die erfindungsgemäße Ausgestaltung der Erwärmungsvorrichtung unter Verwendung von Radiowellen genutzt, wodurch eine bevorzugte Erwärmung der von den Wärmeverlusten besonders betroffenen Bereichen wie Ecken und Kanten ermöglicht werden kann und somit eine Homogenisierung des Temperaturprofils eintritt.

[0014] Die Feuchte spielt für die Energieabsorption im Material eine große Rolle. Aus diesem Grund können Wasserfilme an der äußeren Oberfläche oder besonders feuchte Oberflächenbereiche ebenfalls die Erwärmung mittels Radiowellen stark beeinflussen. Hier würde sogar eine bevorzugte Erwärmung der Oberflächenbereiche möglich sein, was trotz der Wärmeverluste zu verbleibenden erhöhten Temperaturen an der Oberfläche führen könnte. Für derartige Fälle wäre ebenfalls ein erfindungsgemäßes Elektrodendesign einsetzbar, um homogene Aufheizraten zu erreichen.

[0015] Das Erfordernis einer ausreichend homogenen Erwärmung zum Erreichen der materialtechnischen Effekte, der Verarbeitbarkeit und der Vermeidung von thermisch bedingten Schädigungen erfordert eine spezielle Anordnung der einzelnen Komponenten zur Hochfrequenz-Erwärmung, die auf die dielektrischen Materialeigenschaften abgestimmt ist und die auch die geometrischen Randbedingungen sowie die Rauigkeit des Formkörpers berücksichtigt. Außerdem sollten vorzugsweise Komponenten für die Prozessführung wie Beschickungseinrichtungen in das Design einbezogen sein. Die Rauigkeit und die Notwendigkeit, das behandelte Material wieder aus der Vorrichtung ausführen zu müssen, bedingen in vielen Fällen, dass ein Spalt zwischen der Plattenoberfläche bzw. der Oberfläche des Formkörpers und einer, vorzugsweise der oberen Elektrode, verbleibt. Dieser Luftspalt verändert in signifikanter Weise die Verteilung des elektrischen Feldes im Baustoffkörper und damit die dielektrische Erwärmung im Materialvolumen. Eine weitere Randbedingung ist das mögliche Vorliegen einer inhomogenen Feuchteverteilung im Materialkörper, wobei eine erhöhte Feuchte in den Randbereichen, beispielsweise durch eine Lagerung im Außenbereich, typisch ist. Auch diese Bereiche erhöhter Feuchte bestimmen auf Grund des signifikanten Einflusses auf die dielektrischen Eigenschaften die Erwärmung in ihrer räumlichen Ausprägung maßgeblich.

[0016] Obwohl die erfindungsgemäße Vorrichtung in den meisten Fällen dazu eingesetzt wird, um eine möglichst homogene Aufheizung des Formkörpers zu erzielen, kann in bestimmten Einsatzfällen auch eine Überhitzung bzw. Unterkühlung der Oberfläche von Vorteil sein. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine Oberflächenbeschichtung zur Strukturbildung Temperaturen benötigt, die höher sind als die, die verfahrensgemäß im Inneren erzielt werden sollen. In einem anderen Fall kann

es notwendig sein, die Oberflächentemperatur niedriger zu halten als die Temperatur im Inneren, da zum Beispiel der Luftzutritt an der Oberfläche zu einer stärkeren Schädigung bei gleicher Temperatur führen würde. Dabei kann eine Kühlvorrichtung beispielsweise über einen gerichteten Luftstrom wirksam sein.

[0017] Eine besondere Flexibilität bietet eine erfindungsgemäße Vorrichtung, in der zwei parallele Plattenelektroden durch eine als Käfig aufgebaute Arbeitselektrode in einem definierten Abstand von einzelnen Oberflächen des Formkörpers ergänzt wird. In einer bevorzugten Variante ist diese Arbeitselektrode automatisch in die Vorrichtung einführbar. In einer besonders bevorzugten Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung liegt die Arbeitselektrode auf dem elektrischen Potenzial der äußeren Abschirmung und/oder einer der beiden parallelen Plattenelektroden.

[0018] Zur Lösung der spezifischen Aufgaben der erfindungsgemäßen Vorrichtung wurden verschiedene definierte Vorrichtungsoptionen entwickelt, die die homogene Erwärmung unterschiedlich ausgebildeter und unterschiedlich feuchter Materialkörper ermöglichen. In die entsprechenden Entwicklungen wurden auch das Vorhandensein eines Spaltes (vorzugsweise eines Luftspaltes) sowie, in bevorzugten Realisierungsweisen, von Beschickungskomponenten für den Formkörper einbezogen. Verschiedene Realisierungsoptionen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in den Ausführungsbeispielen exemplarisch dargestellt.

[0019] Im Folgenden ist die Erfindung beispielhaft anhand von Ausführungsbeispielen mit Bezug auf die Zeichnungen erläutert. Die unterschiedlichen Merkmale der Ausführungsformen können dabei unabhängig voneinander kombiniert werden, wie es bei den einzelnen vorteilhaften Ausgestaltungen bereits dargelegt wurde.

[0020] Es zeigen:

- Figur 1 eine schematische Gesamtdarstellung der Anlage zur Radiowellen-Erwärmung von Formkörpern,
- Figur 2 eine Ausführung der Radiowellen-Erwärmungseinheit mit möglichen peripheren Komponenten,
- Figur 3 eine Ausführung der Radiowellen-Erwärmungseinheit mit weiteren möglichen peripheren Komponenten,
- Figur 4 eine exemplarische Detaildarstellung einer technischen Realisierung der erfindungsgemäßen Vorrichtung,
- Figur 5a eine Darstellung der homogenen Erwärmung eines formstabilen isotropen Formkörpers zu moderaten Temperaturen,
- Figur 5b eine Leistungseintragsdichteverteilung des

	in Figur 5a gepunktet dargestellten Ausschnitts,		
Figur 6a	eine Darstellung der homogenen Erwärmung eines formstabilen isotropen Formkörpers mit rauer oder klebriger Oberfläche,	5	Figur 10b Temperaturverteilung der Anordnung aus Figur 10a direkt nach einer Radiowellen-Leistungs-anwendung von 6 kW für 20 min mit einer Starttemperatur von 20°C (293 K),
Figur 6b	eine Leistungseintragsdichteverteilung des in Figur 6a gepunktet dargestellten Ausschnitts,	10	Figur 11a eine Darstellung einer Anordnung eines Formkörpers mit erhöhter Feuchte im Bereich der vertikalen Begrenzungsflächen,
Figur 7a	eine Darstellung der selektiven Erwärmung bestimmter Bereiche eines formstabilen isotropen Formkörpers mit rauer oder klebriger Oberfläche: Seite (oben) und obere Kante (unten) als exemplarische Ausgestaltungen,	15	Figur 11b Temperaturverteilung der Anordnung aus Figur 11a direkt nach einer Radiowellen-Leistungsanwendung von 6 kW für 20 min mit einer Starttemperatur von 20°C (293 K),
Figur 7b	ein selektiver Energieeintrag in die kurze Seite (oben) bzw. die obere Kante (unten) des zu erwärmenden Körpers in Form der Leistungseintragsdichteverteilung des in Figur 7a gepunktet dargestellten Ausschnitts,	20	Figur 12a eine Darstellung einer Anordnung eines kontrolliert zu erwärmenden Formkörpers mit sensibler Oberfläche,
Figur 8a	eine Darstellung der Realisierung von verschiedenen Erwärmungsmustern für eine selektive Erwärmung bestimmter Bereiche bzw. eine homogene Erwärmung unter Verwendung einer zusätzlichen Elektrode: selektive Erwärmung der oberen Kante (oben), homogene Erwärmung (Mitte) oder selektive Erwärmung der unteren Kante (unten) als exemplarische Ausgestaltungen,	25	Figur 12b Temperaturverteilung der Anordnung aus Figur 12a direkt nach einer Radiowellen-Leistungsanwendung von 24 kW für 20 min mit einer Starttemperatur von 20°C (293 K),
Figur 8b	Leistungseintragsdichteverteilungen der in Figur 8a jeweils schwarz gepunktet dargestellten Ausschnitte für eine selektive Erwärmung der oberen Kante (oben), eine homogene Erwärmung (Mitte) sowie eine selektive Erwärmung der unteren Kante (unten),	30	Figur 13 Prinzipskizze für den Einsatz der erfindungsgemäßen Vorrichtung bei der Reparatur eines lokalen Straßenschadens (Schlagloch) und
Figur 9a	eine Darstellung einer Anordnung eines Formkörpers mit erhöhter Feuchte im Oberflächenbereich,	35	Figur 14 eine Zusammenfassende Darstellung der technischen Realisierung einer modular aufgebauten, mobilen Anlage zur Radiowellen-Erwärmung von vorkonfektionierten Asphalt-Formkörpern.
Figur 9b	Temperaturverteilung der Anordnung aus Figur 9a direkt nach einer Radiowellen-Leistungs-anwendung von 6 kW für 20 min mit einer Starttemperatur von 20°C (293 K),	40	[0021] Im Einzelfall beziehen sich die verschiedenen Ausführungsbeispiele auf - eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten und vorzugsweise homogenen Erwärmung von Formkörpern mit isotropen dielektrischen Eigenschaften, - eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten und vorzugsweise homogenen Erwärmung von Formkörpern mit rauer Oberfläche mit der Notwendigkeit eines Spaltes zwischen einer Elektrode und einer Formkörperoberfläche, - eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten Erwärmung mit selektiv erhöhtem Energieeintrag in bezüglich des Wärmeabflusses exponierten Stellen wie Kanten oder Seiten an materialbezogenen isotropen Formkörpern mit und ohne rauer Oberfläche, gegebenenfalls mit der Notwendigkeit eines Spaltes zwischen einer Elektrode und der Formkörperoberfläche, - eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollier-
Figur 10a	eine Darstellung einer Anordnung eines Formkörpers mit erhöhter Feuchte im Bereich der horizontalen Begrenzungsflächen,	45	
		50	
		55	

ten und vorzugsweise homogenen Erwärmung mit einer zusätzlichen Arbeitselektrode, vorzugsweise mit einstellbarem Potenzial bezüglich der anderen beiden Elektroden,

- eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten und vorzugsweise homogenen Erwärmung von Formkörpern mit einem Wasserfilm im gesamten oberflächennahen Bereich,
- eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten und vorzugsweise homogenen Erwärmung von Formkörpern mit einem Wasserfilm im Bereich einer horizontal angeordneten Oberfläche,
- eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten und vorzugsweise homogenen Erwärmung von Formkörpern mit einem Wasserfilm im vertikal angeordneten Randbereich und
- eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit einer zusätzlichen Kühleinrichtung.

[0022] Die Flexibilität der erfindungsgemäßen Vorrichtung ermöglicht darüber hinaus den Einsatz für weitere Anwendungen bei der dielektrischen Erwärmung durch Hochfrequenz-Energie.

[0023] Die Gesamtanlage zur Radiowellen-Erwärmung von Formkörpern wird in der Figur 1 veranschaulicht.

[0024] Eine hochfrequente Spannungsquelle 1, in der Regel ein Radiowellen-Generator, ist vorzugsweise über eine Koaxialkabel 2 in einer bevorzugten Ausführung über ein elektronisches Anpassnetzwerk 3 und Leitungen 4 mit mindestens zwei Elektroden 5 und 6 verbunden. Der Generator 1 kann auch direkt mit den Elektroden 5 und 6 verbunden sein, dies führt allerdings in der Regel zu einer nicht optimalen Energieübertragung und einer verringerten energetischen Effizienz der Erwärmung. Im Einflussbereich der mindestens zwei Elektroden 5 und 6 befindet sich der zu erwärmende Formkörper 7. Bevorzugt ist eine horizontale Anordnung von plattenförmigen, planparallelen Elektroden 5 und 6, weil dadurch die beste Feldhomogenität gesichert werden kann. Die Gestaltung der Elektroden wird in den Ausführungsbeispielen noch näher erläutert. In einer bevorzugten Ausführungsvariante befindet sich oberhalb des Formkörpers 7 und unterhalb einer Elektrode 6 ein Luftspalt 8. In einer bevorzugten Variante der erfindungsgemäßen Anordnung ist die Anordnung mit mindestens einem Mittel 9 zur Messung der Temperatur des Formkörpers, bevorzugt der Oberflächentemperatur, versehen. In einer besonders bevorzugten Ausführungsvariante sind Generator 1 und Mittel zum Messen der Temperatur 9 mit einer Steuereinheit 10 verbunden, wodurch vorzugsweise durch Einstellung und prozessspezifische zeitliche Anpassung der Hochfrequenz-Leistung ein vordefinierter Aufheizprozess realisiert werden kann. Unter dem Begriff Steuer-

einheit sollen hier alle Optionen zur Erreichung von Aufgaben einer Steuerung- und Regelung zusammengefasst werden. Dabei kann es sich bevorzugt beispielsweise um eine feste elektrische Schaltung, eine interne Steuereinheit von Generator und/oder elektronischem Anpassnetzwerk, eine speicherprogrammierbare Steuerung, ein externes Computersystem oder eine Kombination dieser Varianten handeln. Auch wird unter dem Begriff Steuereinheit nicht zwingend eine lokal abgegrenzte bzw. lokal abgrenzbare Komponente verstanden. Es ist alternativ auch möglich, dass die Steuereinheit mehrere dezentral angeordnete (Teil-)Komponenten umfasst, die miteinander wirkverbunden sind und somit die Steuerung der hochfrequenten Spannungsquelle realisieren. In einer bevorzugten Ausführungsvariante ist das Elektrodensystem von einer elektromagnetischen Abschirmung 11 umgeben, wobei in einer bevorzugten Realisierungsoption eine der Elektroden 5, die dann als "kalte" Elektrode bezeichnet wird, mit der Abschirmung 11 elektrisch leitend verbunden sein kann. Die Anlage kann in einer Ausführungsvariante durch ein Mittel zur Messung der elektrischen Feldstärke 12 ergänzt werden, welches wiederum mit der Steuereinheit 10 verbunden sein kann. Dies ermöglicht zum Zwecke der Arbeits- und Betriebssicherheit ein Abschalten der Leistung bei zu hohen auftretenden Feldstärken. Die Vorrichtung kann in einer bevorzugten Ausführungsvariante mit Mitteln zum Zu- und Abführen des Formkörpers 7 bzw. des thermisch behandelten Materials versehen sein, was in der folgenden Figur 2 als Detailansicht dargestellt ist und im Folgenden näher erläutert wird.

[0025] In einer Ausführungsvariante ist in der Nähe der Elektroden ein Mittel 13 zum Zuführen des Formkörpers 7 in den Raum im Einflussbereich der Elektroden 5 und 6, vorzugsweise zwischen den Elektroden 5 und 6, angeordnet. In einer besonders bevorzugten Variante wird dies durch ein Vorratsbehälter 14 für Formkörper 7 ergänzt. Vorzugsweise leistet eine Transportvorrichtung 15 die Zuführung der Formkörper 7 in den Wirkungsbereich der Elektroden 5 und 6. Die Positionierung des Formkörpers 7 im Bereich der Elektroden 5 und 6 kann in bevorzugter Weise mit Hilfe einer Hubvorrichtung 16 erfolgen.

[0026] In einer bevorzugten Ausführungsvariante wird das Material des Formkörpers 7, dessen Konsistenz sich während des Erwärmungsvorganges geändert haben kann und in einer bevorzugten Prozessvariante schüttfähig geworden ist, durch eine Schiebevorrichtung 17 aus dem Bereich der Elektroden 5 und 6 entfernt und vorzugsweise einem Vorratsbehälter 18 zugeführt. Bei dem Behälter 18 handelt es sich vorzugsweise um einen Thermobehälter mit geringen Wärmeverlusten in die Umgebung. Zur Verbesserung des Vorganges der Befüllung kann in der Nähe des Vorratsbehälters 18 ein Trichter 19 angeordnet sein. Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann durch weitere Komponenten ergänzt werden, um die Funktionalität für die jeweils spezifischen Anwendungen zu verbessern.

[0027] In einer anderen bevorzugten Variante gemäß Figur 3 der erfindungsgemäßen Vorrichtung befindet sich in der Nähe der Elektroden 5 und 6 ein Auslass 20 zum Entfernen des Formkörpers 7. Eine solche Vorrichtung wird vorzugsweise eingesetzt, wenn der Formkörper 7 während der thermischen Behandlung formstabil oder im Wesentlichen formstabil bleibt. Zur Steuerung des Potenzialverlaufs und des Energieeintrages können die beiden Elektroden 5 und 6 in einer Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Vorrichtung durch eine zusätzliche Elektrode 21 mit einstellbarem Potenzial ergänzt werden. Es ist außerdem in einer bevorzugten Ausführungsvariante möglich, bestimmte Bereiche oder Oberflächen des Formkörpers gezielt mittels einer Kühleinrichtung 22 zu kühlen, um eine thermische Schädigung des Materials an der Oberfläche zu vermeiden.

[0028] Durch eine Variation des Designs der Elektroden 5 und 6 und gegebenenfalls 21 kann für ein breites Spektrum an Formkörpern und Materialien der Erwärmungsvorgang nach bestimmten Kriterien (Endtemperatur und Homogenität der Temperaturprofile) optimal gestaltet werden. Dies wird im Folgenden für die bereits genannten spezifischen Einsatzfälle näher erläutert.

[0029] Die Ausführungsbeispiele illustrieren auch mögliche Varianten der technischen Umsetzung der erfindungsgemäßen Vorrichtung, von denen eine exemplarisch nochmals in Figur 4 dargestellt ist.

Erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten Erwärmung eines isotropen formstabilen Formkörpers mit geringem Wärmeabtransport über die Seitenflächen

[0030] In diesem Fall wird ein Elektrodendesign verwendet, bei dem die Elektroden in ihrer Fläche mindestens die Fläche des Formkörpers besitzen und damit der Formkörper komplett zwischen den Elektroden angeordnet werden kann. Um die notwendige Spannung zu reduzieren, wird vorzugsweise die geringste Dicke des Festkörpers als Elektrodenabstand gewählt.

[0031] In einer bevorzugten Ausführung ragen beide Elektroden an allen Seiten über den Formkörper hinaus (Figur 5a). Beide flächigen Elektroden berühren die Oberfläche des Formkörpers. Ein mögliches Anwendungsbeispiel hierfür ist eine Holzstruktur mit ebenen Oberflächen, die durchgängig auf Temperaturen 70°C erwärmt werden soll, um darin enthaltene Holzschädlinge abzutöten. Dieses Problem existiert beispielsweise teilweise für importierte Hölzer, die noch Schädlingsschäden enthalten können. Es ist bekannt, dass derartige Temperaturen ausreichen, um eine letale Wirkung zu erzielen. Bei einer Erwärmung auf moderate Temperaturen spielen Wärmeverluste in die Umgebung eine geringere Rolle und erfordern gegebenenfalls keine besonderen Maßnahmen zur Kompensation dieser Wärmeverluste. Die Simulation der Leistungseintragsdichte in Figur 5b zeigt, dass durch die überstehenden Elektroden im Randbereich ein weitgehend homogenes Feld realisiert werden kann, was wiederum die Grundlage für eine ho-

mogene Erwärmung darstellt. Bei der technischen Umsetzung könnte der Auslass 20 in Figur 3 und Figur 4 genutzt werden.

5 Erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten Erwärmung von Formkörpern mit rauer bzw. klebriger Oberfläche mit der Notwendigkeit eines Spaltes zwischen einer Elektrode und Formkörperoberfläche

[0032] Diese Ausführungsvariante der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist besonders für Formkörper prädestiniert, die über raue Oberflächen verfügen und die somit keinen idealen Kontakt zwischen Elektroden und Oberfläche gewährleisten.

[0033] Beispiele hierfür sind Holzformkörper mit Oberflächenmodellierungen sowie Formkörper aus Asphalt, Beton oder anderen mineralischen Baustoffen. Die entsprechende Situation, die einen Luftspalt sinnvoll erscheinen lässt, ist auch gegeben, wenn auf Grund klebriger Oberflächen zu Beginn oder während der Aufheizung der Kontakt zu den Elektrodenflächen möglichst minimiert gestaltet und die Entfernung des Formkörpers nach der Erwärmung aus der Anordnung unterstützt werden soll. Ein anderes Beispiel für die Nutzung dieser Anordnung ist die Randbedingung, dass der Formkörper an fünf Seiten möglichst nicht mechanisch belastet werden soll. In den genannten Fällen ist eine erfindungsgemäße Anordnung gemäß Figur 6a zu wählen, die einen Luftspalt zwischen Materialoberfläche und mindestens einer Elektrode gewährleistet. Vorzugsweise wird der Luftspalt zwischen Oberfläche und spannungsführender, "heißer" Elektrode realisiert. Der Spalt kann auch mit einem anderen Medium gefüllt oder evakuiert sein, wenn die Vorrichtung in einer entsprechenden Atmosphäre oder im Vakuum betrieben wird. Auch in diesem Fall werden die Elektroden in bevorzugten Ausführungsvarianten so gestaltet, dass sie über den Formkörper hinausragen. Die resultierende Leistungseintragsdichte ist exemplarisch in Figur 6b für die Anordnung aus Figur 6a dargestellt. Durch erhöhte Wärmeverluste über die Seitenflächen, die bei der Simulation entsprechend berücksichtigt wurden, ergeben sich bei geeigneter Auslegung der erfindungsgemäßen Vorrichtung weitgehend homogene Temperaturprofile.

50 Erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten Erwärmung eines Formkörpers mit selektiv erhöhtem Energieeintrag in bezüglich des Wärmeabflusses exponierten Stellen wie Kanten oder Seiten mit oder ohne Überhitzung des Randbereiches

[0034] Es gibt eine Reihe von Einsatzfällen, bei denen ein erhöhter Energieeintrag in die Seitenflächen des Formkörpers realisiert werden muss. Einerseits können damit erhöhte Wärmeabflüsse in die Umgebung kompensiert werden, was zu einer homogenen Temperaturverteilung im gesamten Formkörper einschließlich des

Randbereiches führt. Andererseits kann es gewünscht sein, den Seitenbereich höheren Temperaturen auszusetzen, beispielsweise, um strukturelle Veränderungen zu initiieren, zu einer formstabileren Oberfläche führen. Typischerweise sind in solchen Fällen mittlere und hohe Zieltemperaturen oberhalb von 100°C gegeben.

[0035] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Erzielung der beschriebenen Effekte unter Verwendung eines Luftspaltes zwischen Materialoberfläche und oberer, vorzugsweise spannungsführender "heißer" Elektrode ist in Figur 7a dargestellt. Diese Variante erlaubt es wie bereits dargestellt, Formkörper mit rauen oder klebrigen Oberflächen adäquat zu behandeln.

[0036] Das erreichte Profil des spezifischen Leistungseintrages der dielektrischen Erwärmung mittels Radiowellen ist in Figur 7b veranschaulicht. Mit der so realisierten lokalen Leistungseintragsdichte können die gewünschten Effekte mit verschiedenen Randbedingungen (siehe oben und unten) erzielt werden. So ist es in diesem Beispiel möglich, auf die dargestellte Weise an den kurzen Seiten der Platte eine um etwa 50 % höhere Leistungseintragsdichte (Figur 7, oben) bzw. eine um etwa 40 % erhöhte Leistungseintragsdichte (Figur 7, unten), verglichen mit der mittleren Leistungseintragsdichte im übrigen, überwiegenden Teil der Platte, realisiert werden.

Erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten homogenen oder selektiven Erwärmung mit Verwendung einer zusätzlichen Arbeitselektrode, vorzugsweise mit einstellbarem Potenzial bezüglich der anderen beiden Elektroden

[0037] In einem exemplarischen Anwendungsfall der erfindungsgemäßen Vorrichtung soll eine Asphaltplatte kontrolliert erwärmt werden. Um das Ankleben im erwärmten Zustand zu verhindern bzw. einzuschränken, soll der Kontakt zu den Elektroden reduziert werden, indem die Seitenflächen frei liegen und ein Luftspalt zwischen Oberfläche und oberer Elektrode realisiert wird. Zudem soll bei sonst unverändertem Aufbau die Erwärmung der Platte flexibel erfolgen (beispielsweise also selektiv oder homogen, je nach Anwendungsfall und Randbedingungen), indem eine Käfigelektrode adäquat nach gewünschtem Ermessen eingebracht wird.

[0038] Diese Ausführungsvariante, die in Figur 8a dargestellt ist, bietet auch die Möglichkeit, etwaige Wärmeabflüsse in die Umgebung gezielt zu kompensieren und damit eine insgesamt homogenere Erwärmung sicherzustellen. Um eine weitgehend flexible Erwärmung zu realisieren wird in diesem Fall zusätzlich eine käfigartige Elektrode senkrecht zu den beiden anderen angebracht, die sich in Höhe und Abstand zur Platte ändern lässt. Sie ist zudem entweder mit der geerdeten oder der spannungsführenden Elektrode verbunden oder auf einem Potenzial dazwischen festgesetzt, wodurch die elektrischen Felder so geführt werden, dass die gewünschte Erwärmung auch unter den gegebenen Bedingungen möglich

ist. Die Resultate werden durch die Darstellung der Leistungseintragsdichten in Figur 8b veranschaulicht.

[0039] Im dargestellten Beispiel sollten dank der eingesetzten seitlichen Käfigelektrode entweder selektive Aufheizungen oder eine möglichst homogene Erwärmung realisiert werden. Details sind den verschiedenen Abbildungen in Figur 8 zu entnehmen.

Erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten und vorzugsweise homogenen Erwärmung von Formkörpern mit einer erhöhten Feuchte im gesamten oberflächennahen Bereich

[0040] Wasser besitzt praktisch immer einen großen Einfluss auf die dielektrische Erwärmung von Materialien. Dieser Effekt ist für die Mikrowellen-Erwärmung weithin bekannt und kann durch die Orientierungspolarisation des Wassermoleküls erklärt werden. Dieser Einfluss tritt jedoch auch für die Radiowellen-Erwärmung auf, obwohl die Zusammenhänge hier auf Grund der zugrundeliegenden physikalischen Wechselwirkungen differenzierter sind [Roland et al., "On the role of water in dielectric heating with radio waves", Chem. Eng. Tech. 32 (2009) 754-762; Kraus et al., "Influence of humidity and temperature on the permittivity of zeolite NaY", Phys. Chem. Chem. Phys. 13 (2011) 4119-4125]. Aufgabe der erfindungsgemäßen Vorrichtung war es deshalb, auf die verschiedenen möglichen Situationen unterschiedlicher lokaler Feuchte im Formkörper zielgerichtet reagieren zu können und die gewünschten Erwärmungseffekte auch bei der vorhandenen Feuchteverteilung erzielen zu können.

[0041] Im ersten Fall betrifft dies eine erhöhte Feuchte im gesamten oberflächennahen Bereich des Formkörpers, also in der Anordnung gemäß Figur 9a die beiden horizontal und die vier vertikal angeordneten Oberflächen. Die Bereiche erhöhter Feuchte sind in der Abbildung grau markiert und durch Pfeile gekennzeichnet, wobei die Platte ringsum eine Wasserschicht von 1 mm Dicke aufweist (Pfeile). Diese Situation kann beispielsweise auftreten, wenn die Formkörper wie beispielsweise Asphaltplatten im Freien gelagert wurden und diese Feuchtigkeit aufgenommen haben. Auch ein Temperaturwechsel mit Kondensation kann zur Ausbildung eines Wasserfilms im Oberflächenbereich führen. Schließlich sind oberflächliche Behandlungen mit Wasser üblich, um Schadstoffe von Holzgegenständen zu entfernen.

[0042] Zur Lösung der Aufgabe wird eine Elektrodenanordnung gewählt, deren geometrische Ausdehnung größer als die der Platten ist. Der Überstand der beiden Elektroden ist dabei in etwa gleich der Höhe der zu erwärmenden Platte, wo die eine Elektrode auch größer gewählt werden kann. Eine weitgehend homogene Erwärmung auch unter diesen komplizierten Randbedingungen kann dann erreicht werden, wenn die beiden Elektroden bedarfsgerecht thermisch isoliert werden und die vertikalen Seitenflächen frei liegen und so ein guter Wärmeabfluss in die Umgebung ermöglicht wird. Zu be-

rücksichtigen ist auch der Kompensationseffekt, der durch die Wasserverdampfung auf Grund der Verdampfungsenthalpie entsteht. Figur 9b zeigt in einer Simulation der resultierenden Temperaturverteilung das unter diesen Bedingungen bei der dielektrischen Erwärmung entstehende homogene Temperaturprofil im Formkörper.

Erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten und vorzugsweise homogenen Erwärmung von Formkörpern mit Wasserfilmen im Bereich der horizontal angeordneten Oberflächen

[0043] Höhere oberflächennahe Feuchten können beispielsweise dann auftreten, wenn auf Grund der Oberflächenrauigkeit eine bevorzugte Wasseraufnahme bei diesen Flächen zum Beispiel im Zuge der Lagerung unter Witterungseinfluss erfolgt. Dies kann beispielsweise vor-konfektionierte Asphaltplatten betreffen, die mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung auf die Verarbeitungstemperatur erwärmt werden sollen. Wenn zum Beispiel eine Teilplatte aus einem größeren Verbund herausgetrennt wird, so weist diese trockene Seitenflächen, jedoch feuchtere Grund- und Deckflächen auf.

[0044] Zur Lösung der Aufgabe einer gleichmäßigen Erwärmung wird wiederum die Luftspalt-Anordnung gewählt, wobei hier zur Optimierung des Energieeintrags die spannungsführende Elektrode 10 mm kleiner als die zu erwärmende Platte ist. Zudem muss darauf geachtet werden, dass eine senkrecht zu beiden Elektroden stehende Käfigelektrode eingesetzt wird, die im etwa doppelten Abstand der Elektroden zueinander angebracht und auf Erdpotenzial gelegt ist. Die entsprechende Anordnung ist in Figur 10a schematisch dargestellt, wobei die Platte oben und unten Schichten erhöhter Feuchte von 1 mm Dicke aufweist (Pfeile).

[0045] Im vorliegenden Fall tritt prinzipiell durch eine verstärkte Energieabsorption im Randbereich (Anstieg des Realteils der relativen Dielektrizitätskonstante mit steigendem Wassergehalt z.B. für die mineralischen Komponenten des Asphalts) eine Überhitzung dieser Bereiche erhöhter Feuchte auf. Die Temperaturunterschiede werden jedoch durch eine Abschwächung des elektrischen Feldes reduziert bzw. überkompensiert. Außerdem spielt der Wärmeabfluss über die Elektroden in Abhängigkeit von der Güte der thermischen Isolierung eine Rolle für die Ausbildung des resultierenden Temperaturprofils. Die Bereiche erhöhter Feuchte sind in Figur 10a grau markiert und durch Pfeile gekennzeichnet. Durch eine Abstimmung der Parameter der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es möglich, die Temperaturunterschiede im Formkörper trotz unterschiedlicher lokaler Feuchte zu minimieren und eine homogene Erwärmung im Material zu erreichen. Dies wird durch die Darstellung des Temperaturprofils in Figur 10b demonstriert.

Erfindungsgemäße Vorrichtung zur kontrollierten und vorzugsweise homogenen Erwärmung von Formkörpern mit einem Wasserfilm im vertikal angeordneten Randbereich

[0046] Diese erfindungsgemäße Vorrichtung ist in der Lage, Formkörper mit erhöhter Feuchte und deshalb erhöhter Energieabsorption in den vertikalen Bereichen der Oberflächen des Formkörpers zu behandeln, so dass die gewünschten homogenen Temperaturprofile erreicht werden können. Die Problemlösung ist beispielsweise dann interessant, wenn vorgefertigte Formkörper auf Grund ihrer gestapelten Lagerung an den vertikalen Außenflächen befeuchtet wurden. Dies kann der Fall sein, wenn Asphaltplatten für die Reparatur von Straßenschäden als Vorrat gelagert und dann vor Ort erwärmt und im schüttfähigen Zustand in die Schlaglöcher eingebracht werden. Eine schematische Darstellung für diese Anwendung enthält Figur 11a. Der Bereich erhöhter Feuchte ist in der Abbildung grau markiert und durch einen Pfeil gekennzeichnet, wobei die Platte entlang der kurzen Seiten eine Schicht erhöhter Feuchte von 1 mm Dicke aufweist (Pfeil).

[0047] Zur Lösung der Aufgabe wird wiederum die Luftspalt-Anordnung gewählt, wobei hier zur Optimierung des Energieeintrags die spannungsführende Elektrode 10 mm kleiner als die zu erwärmende Platte ist. Zudem muss darauf geachtet werden, dass eine senkrecht zu beiden Elektroden stehende Käfigelektrode eingesetzt wird, die auf Erdpotenzial gelegt ist. Dadurch wird der Energieeintrag in die betreffenden feuchteren Bereiche optimiert und es werden wie gewünscht homogenere Temperaturprofile erreicht.

[0048] Das Ergebnis einer Simulation für die sich auf Grund der Radiowellen-Behandlung einstellende Temperaturverteilung zeigt Figur 11b. Bei der praktischen Anwendung ist zusätzlich der Wärmefluss über die Seitenflächen in die Betrachtung einzubeziehen.

Erfindungsgemäße Vorrichtung mit einer zusätzlichen Kühleinrichtung

[0049] Diese bevorzugte Option der erfindungsgemäßen Vorrichtung unter Verwendung eines Mittels zur Kühlung betrifft zum Beispiel bestimmte Formkörper wie beispielsweise historische Holzbauteile mit einer Oberflächenversiegelung oder farbigen Fassung. Hier soll erreicht werden, dass unter Erzielung einer Zieltemperatur im Inneren des Formkörpers die Oberflächentemperatur ein bestimmtes Maß nicht überschreitet. Im konkreten Fall des Anwendungsbeispiels soll eine Holzplatte auf 65°C erwärmt werden, um die sich darin befindenden Holzschädlinge abzutöten, ohne jedoch die kunstvolle Bemalung auf der Oberseite zu zerstören, die keine Temperaturen wesentlich über 30°C erreichen sollte.

[0050] In diesem Fall kann dann zusätzlich zu den bereits beschriebenen Optionen eine Kühleinrichtung für die Oberfläche eingesetzt werden, die die Temperatur

an der Oberfläche gezielt und kontrolliert reduziert. Eine mögliche Auslegung ist in Figur 12a dargestellt, wobei die gekühlte Oberfläche (gleichzeitig die spannungsführende Elektrode) mit einem Pfeil gekennzeichnet ist, wobei die heiße Elektrode, die sich direkt über der zu erwärmenden Last befindet, stetig gekühlt wird (Pfeil). Aus technischer Sicht wird durch die Kühlung eine Erhöhung des Wärmestroms von der Oberfläche in die Umgebung realisiert. Im Ergebnis kommt es zu einer Erniedrigung der Oberflächentemperatur im Vergleich zur Temperatur im Volumen des Formkörpers.

[0051] Zur Lösung der Aufgabe wird eine Elektrodenanordnung gewählt, deren geometrische Ausdehnung größer als die der Platten ist. Der Überstand der beiden Elektroden ist dabei in etwa gleich der Dicke bzw. Höhe der zu erwärmenden Platte, wo die eine Elektrode auch größer gewählt werden kann. Zudem wird eine Elektrode (in diesem Fall die obere, spannungsführende) etwa durch ein oben aufgebrachtes Peltier-Element oder durch eine Kapillar-Kühlung im Inneren der Platte auf 20°C gekühlt.

[0052] Ein auf einer thermischen Simulation beruhendes Beispiel für die kontrollierte Erwärmung mit kühler Oberfläche und sonst weitgehender homogener Temperaturverteilung ist in Figur 12b dargestellt.

Konstruktionsbeispiel: Modulares Gerät zur Erwärmung von vorkonfektionierten Asphaltplatten

[0053] Wie bereits schematisch in den Figuren 1, 2, 3 und 4 und exemplarisch in den Ausführungsbeispielen dargestellt, kann die erfindungsgemäße Vorrichtung für viele Anwendungssituationen ausgelegt und optimiert werden, wobei die in den vorangegangenen Ausführungsbeispielen vorgestellten spezifischen Lösungsansätze und Merkmale zur Verfügung stehen.

[0054] Zur weiteren Illustration sei an dieser Stelle eine Gesamtanlage vorgestellt, die zur Radiowellen-Erwärmung von vorkonfektionierten Asphaltplatten in hohen Stückzahlen eingesetzt werden kann. Der Asphalt wird soweit erwärmt, dass ein schüttfähiges Material entsteht, das in einen Thermobehälter überführt wird und dort bis zum Einsatz aufbewahrt werden kann. Die Prinzipskizze ist in Figur 13 dargestellt.

[0055] In Übereinstimmung mit dem Grundaufbau, der in den Figuren 1, 2 und 3 dargestellt wurde, enthält die erfindungsgemäße Vorrichtung in diesem Fall einen Hochfrequenz- oder Radiowellen-Generator als Spannungsquelle, ein elektronisches Anpassnetzwerk (Matchbox), einen Kühler, zwei parallele Plattenelektroden, ein Schirmungsgehäuse, einen Vorratsbehälter zur Aufbewahrung der Asphaltplatten, eine Schiebevorrichtung zur Zuführung der Platten in den Elektrodenbereich und zum Schieben des erwärmten Materials über einen Trichter in den Thermobehälter, den Thermobehälter selbst, einen Dieselgenerator zur Stromerzeugung, eine unterbrechungsfreie Stromversorgung, Sensoren für die Temperaturmessung und die Positionierung sowie Steuerungskomponenten (vergleiche auch Figuren 1, 2 und

3).

[0056] Für den Betrieb werden die Asphaltplatten aus dem Vorratsraum mittels einer sensorisch gesteuerten Positionierungseinrichtung zwischen den Elektroden platziert. Anschließend wird der Hochfrequenz-Generator eingeschaltet und die Platte wird bis auf ca. 150°C erwärmt, bis ein schüttfähiger Zustand erreicht ist. Danach wird das Asphaltmaterial mittels eines Schiebers in den Vorratsbehälter überführt. Anschließend kann in derselben Weise eine weitere Asphaltplatte für die Erwärmung bereitgestellt werden. Die insgesamt bereitgestellte Asphaltmenge kann flexibel dem jeweiligen Bedarf für die auszuführende Reparatur bzw. anderweitige Maßnahme angepasst werden.

[0057] Zur besseren Illustration sei in Figur 14 nochmals ein Konstruktionsbeispiel für eine mobile, modulare erfindungsgemäße Vorrichtung zur Reparatur von Straßenschäden aufgeführt. Hier sind die wesentlichen Komponenten enthalten, die bereits in den schematischen Darstellungen der Figuren 1, 2 und 3 angegeben wurden. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sei an dieser Stelle auf die detaillierte Angabe der Einzelkomponenten verzichtet. Die zusammenfassende Darstellung erfolgt in Figur 14.

[0058] Abschließend sei betont, dass die erfindungsgemäße Vorrichtung mit seinen spezifischen Gestaltungsmerkmalen für eine Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden kann, die in diesem Rahmen nicht umfassend dargestellt werden können.

Bezugszeichenliste

[0059]

- | | |
|-----|--|
| 1 | Hochfrequente Spannungsquelle |
| 2 | Koaxialkabel |
| 3 | Elektronisches Anpassnetzwerk |
| 4 | Leitungen |
| 5,6 | Elektroden |
| 7 | Formkörper |
| 8 | Luftspalt |
| 9 | Mittel zur Messung der Temperatur |
| 10 | Steuereinheit |
| 11 | Elektromagnetische Abschirmung |
| 12 | Mittel zur Messung der elektrischen Feldstärke |
| 13 | Mittel zum Zuführen des Formkörpers |
| 14 | Vorratsbehälter für Formkörper |
| 15 | Transportvorrichtung |
| 16 | Hubvorrichtung |
| 17 | Schiebevorrichtung |
| 18 | Vorratsbehälter |
| 19 | Trichter |
| 20 | Auslass zum Entfernen des Formkörpers |
| 21 | Elektrode mit einstellbarem Potenzial |
| 22 | Kühleinrichtung |
| 23 | Heißer Asphalt |

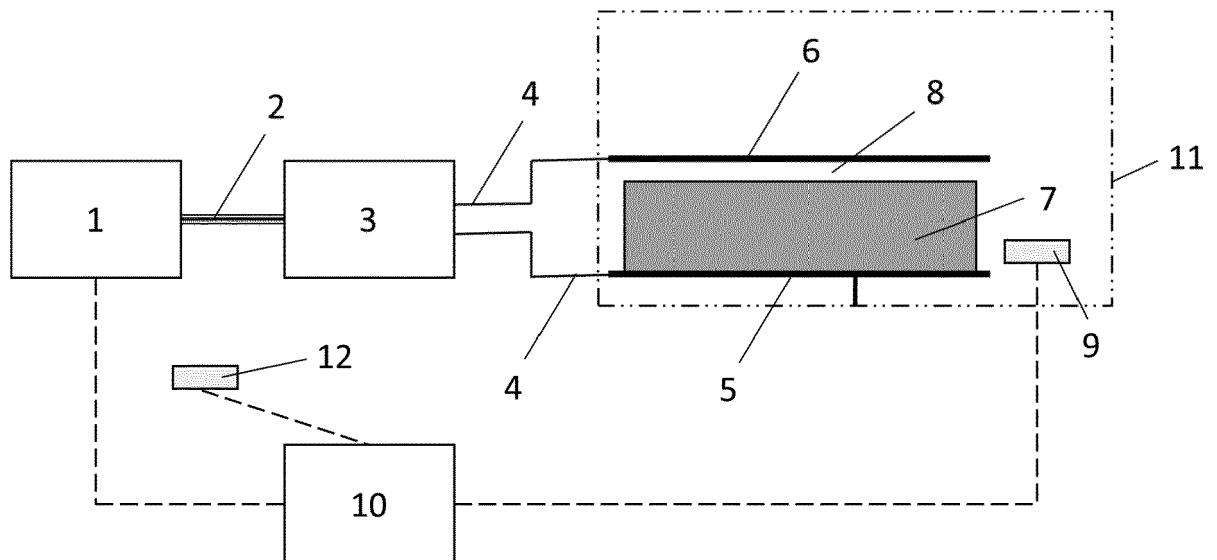
Patentansprüche

1. Vorrichtung zur kontrollierten Erwärmung von Formkörpern (7), aufweisend
 - a) eine hochfrequente Spannungsquelle (1), wobei die hochfrequente Spannungsquelle (1) ein elektromagnetisches Feld mit mindestens einer Frequenz im Bereich von 100 kHz bis 300 MHz bereitstellt,
 - b) mindestens zwei Elektroden (5, 6), wobei der zu erwärmende Formkörper (7) in einem Einflussbereich der mindestens zwei Elektroden (5, 6) angeordnet wird,
 - c) eine Steuereinheit (10) zur Steuerung der hochfrequenten Spannungsquelle (1), wobei die Steuereinheit (10) mit der hochfrequenten Spannungsquelle (1) verbunden ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die hochfrequente Spannungsquelle (1) ein Radiowellen-Generator ist und, wobei der Radiowellen-Generator über ein Koaxialkabel oder über einen binären Hohlleiter (2) über ein elektronisches Anpassnetzwerk (3) mit den mindestens zwei Elektroden (5, 6) verbunden ist.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die hochfrequente Spannungsquelle (1) ein Radiowellen-Generator ist und, wobei der Radiowellen-Generator direkt elektrisch leitend mit den mindestens zwei Elektroden (5, 6) verbunden ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die mindestens zwei Elektroden (5, 6) als horizontale Anordnung von plattenförmigen, planparallelen Elektroden (5, 6) ausgebildet ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei zwischen dem zu erwärmenden Formkörper (7) und mindestens einer der Elektroden (5, 6) ein Luftspalt (8) angeordnet ist, und/oder wobei die Vorrichtung ein Mittel (9) zur Messung der Temperatur des Formkörpers (7) aufweist.
6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei die Steuereinheit (10) zusätzlich mit dem Mittel (9) zur Messung der Temperatur des Formkörpers (7) verbunden ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Vorrichtung eine elektromagnetische Abschirmung (11) umfasst, wobei die elektromagnetische Abschirmung (11) die mindestens zwei Elektroden (5, 6) umgibt.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, wobei die elektromagnetische Abschirmung (11) mit einer der mindestens zwei Elektroden (5, 6) elektrisch leitend verbun-

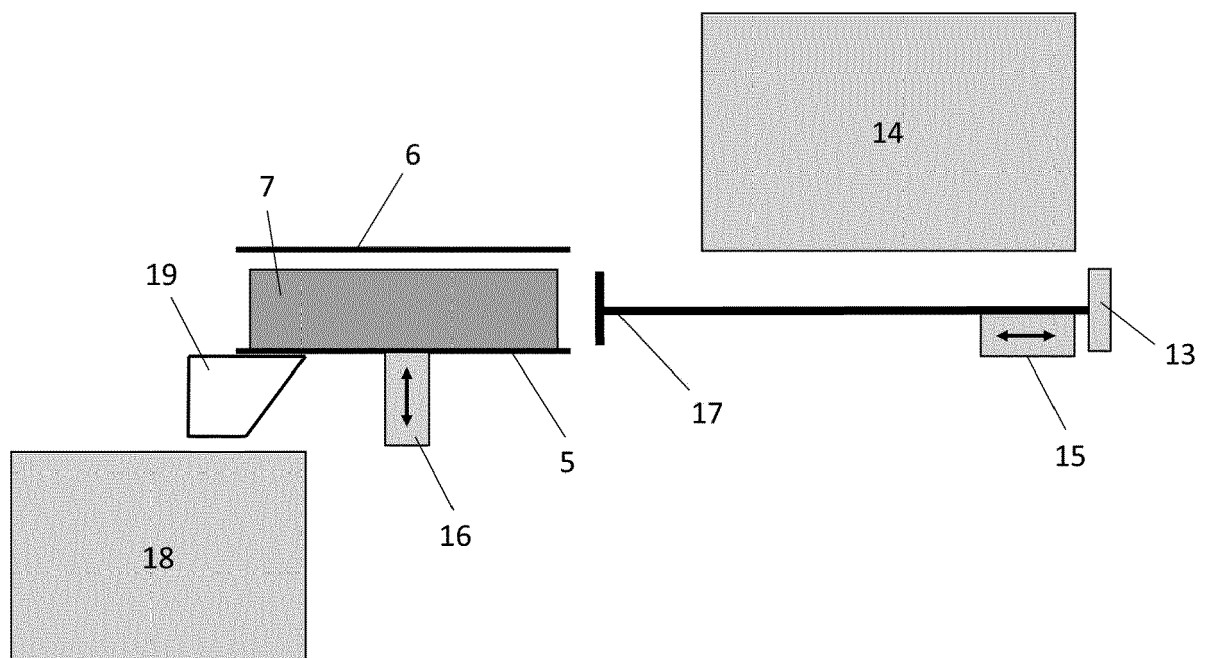
den ist.

9. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Vorrichtung ein Mittel (12) zur Messung einer elektrischen Feldstärke umfasst, wobei die Vorrichtung Mittel (13) zur Zu- und Abführung des Formkörpers (7) umfasst, und/oder wobei die Vorrichtung ein Vorratsbehälter (14) für Formkörper (7) umfasst.
10. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Vorrichtung eine Transportvorrichtung (15) umfasst, wobei die Transportvorrichtung (15) ausgebildet ist, eine Zuführung und/oder eine Abführung des Formkörpers (7) in den Wirkungsbereich der Elektroden (5, 6) zu leisten.
11. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Vorrichtung eine Hubvorrichtung (16) umfasst, wobei die Hubvorrichtung (16) ausgebildet ist, die Position des Formkörpers (7) innerhalb des Wirkungsbereichs der Elektroden (5, 6) oder den Abstand der Elektroden voneinander zu variieren.
12. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Vorrichtung eine Schiebevorrichtung (17) und einen zweiten Vorratsbehälter (18) umfasst, wobei die Schiebevorrichtung (17) ausgebildet ist, das nach der Behandlung schüttfähige Material des Formkörpers (7) aus dem Wirkungsbereich der Elektroden (5, 6) zu entfernen und in den zweiten Vorratsbehälter (18) zuzuführen.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, wobei der zweite Vorratsbehälter (18) ein Thermobehälter ist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 oder 13, wobei die Vorrichtung einen Trichter (19) umfasst, wobei der Trichter (19) an dem zweiten Vorratsbehälter (18) angeordnet ist.
15. Vorrichtung nach einem der vorherigen Ansprüche, wobei die Vorrichtung einen Auslass (20) zum Entfernen des Formkörpers (7) umfasst, wobei die Vorrichtung eine Kühleinrichtung (22) zur Kühlung von Teilen des Formkörpers (7) oder des Formkörpers (7) insgesamt umfasst, und/oder wobei die Vorrichtung eine Energieversorgung wie beispielsweise Dieselgenerator, Batteriespeicher und/oder Solarmodul umfasst, um einen netzunabhängigen Betrieb zu ermöglichen.

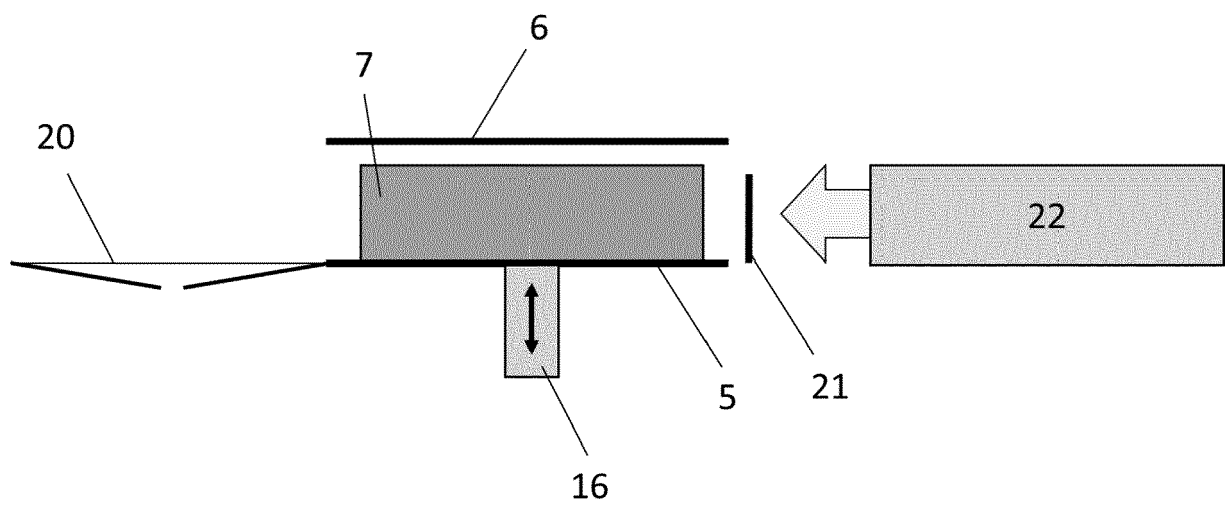
Figur 1



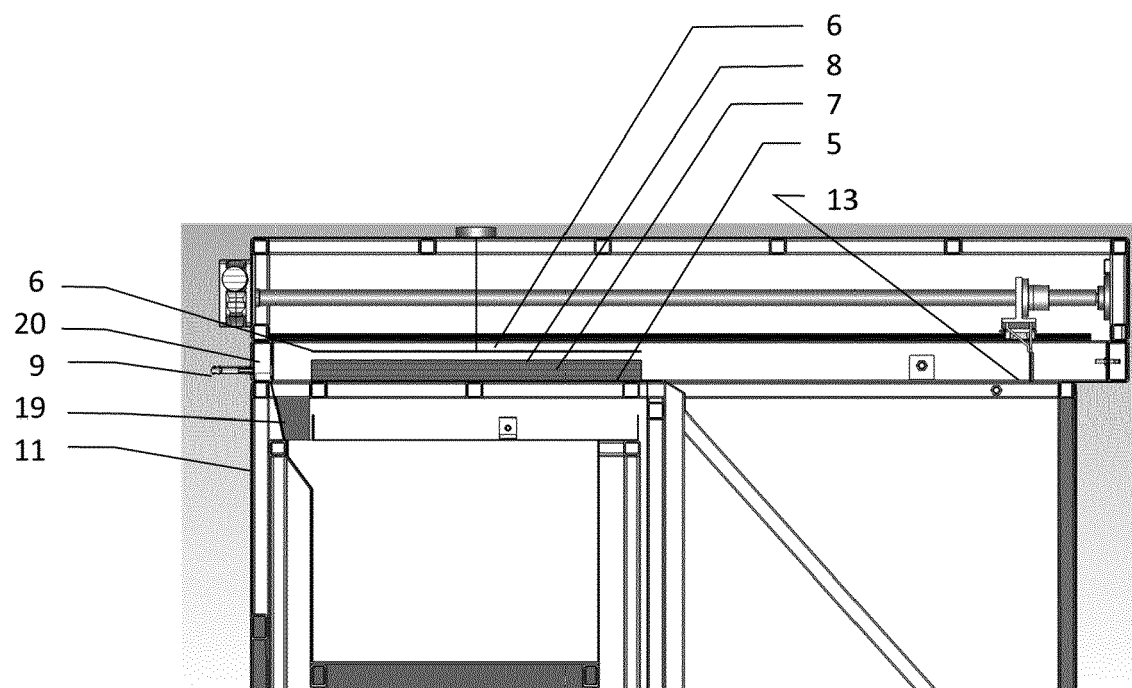
Figur 2



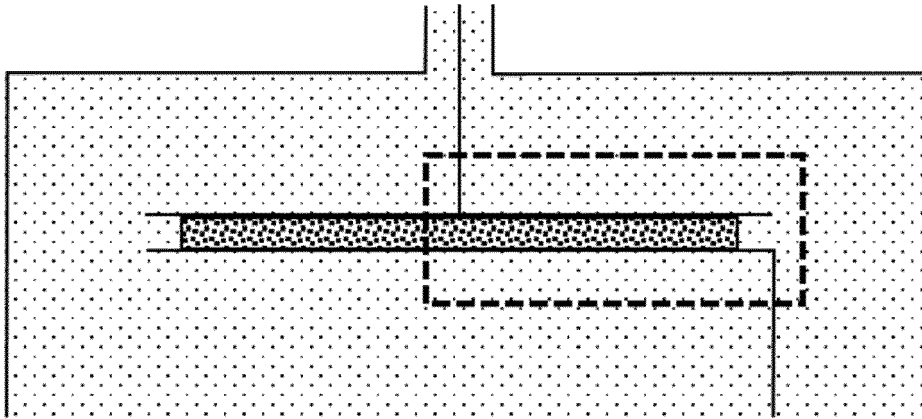
Figur 3



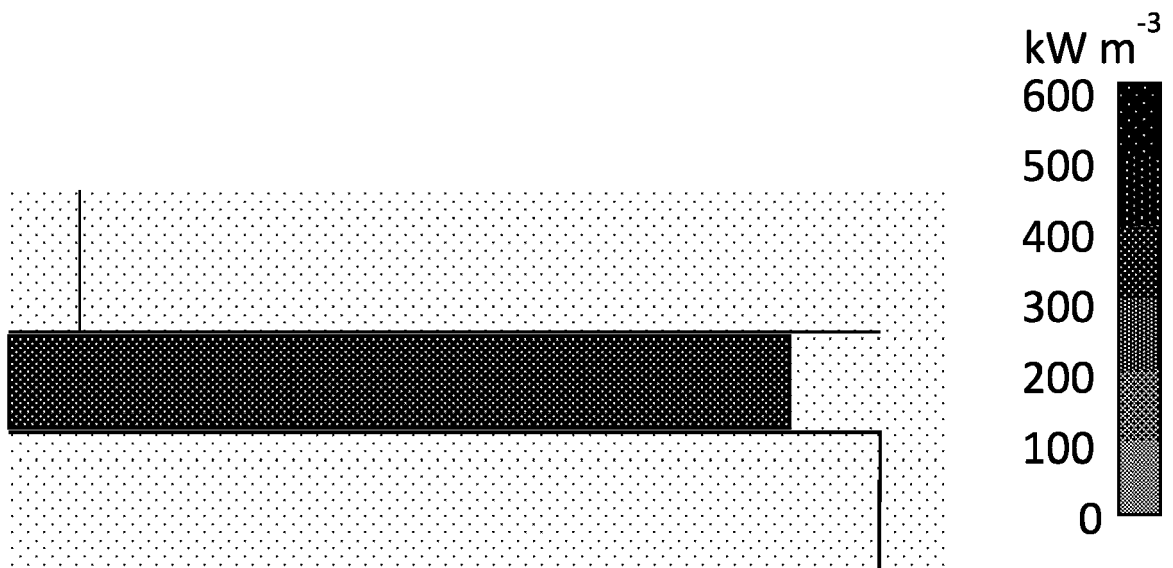
Figur 4



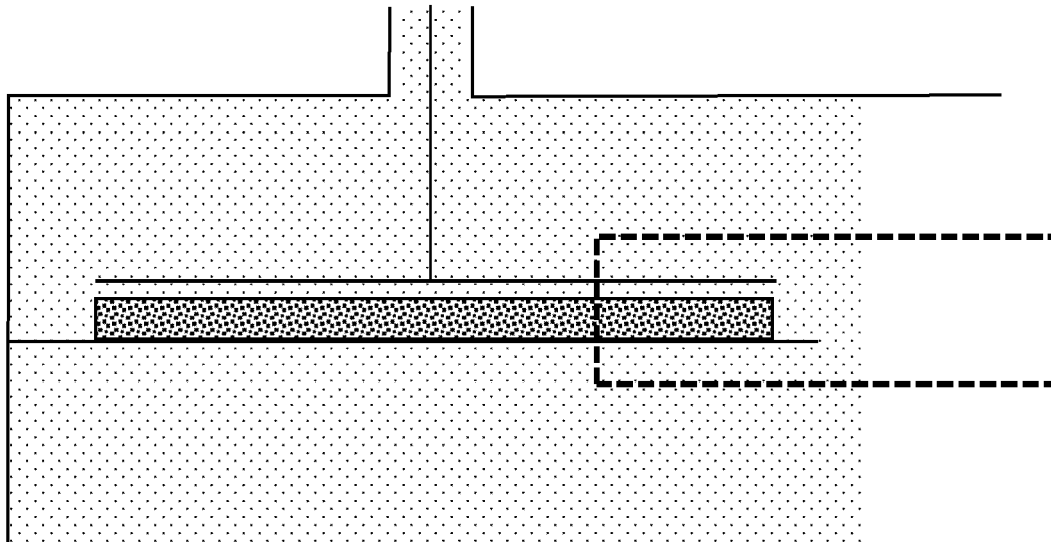
Figur 5a



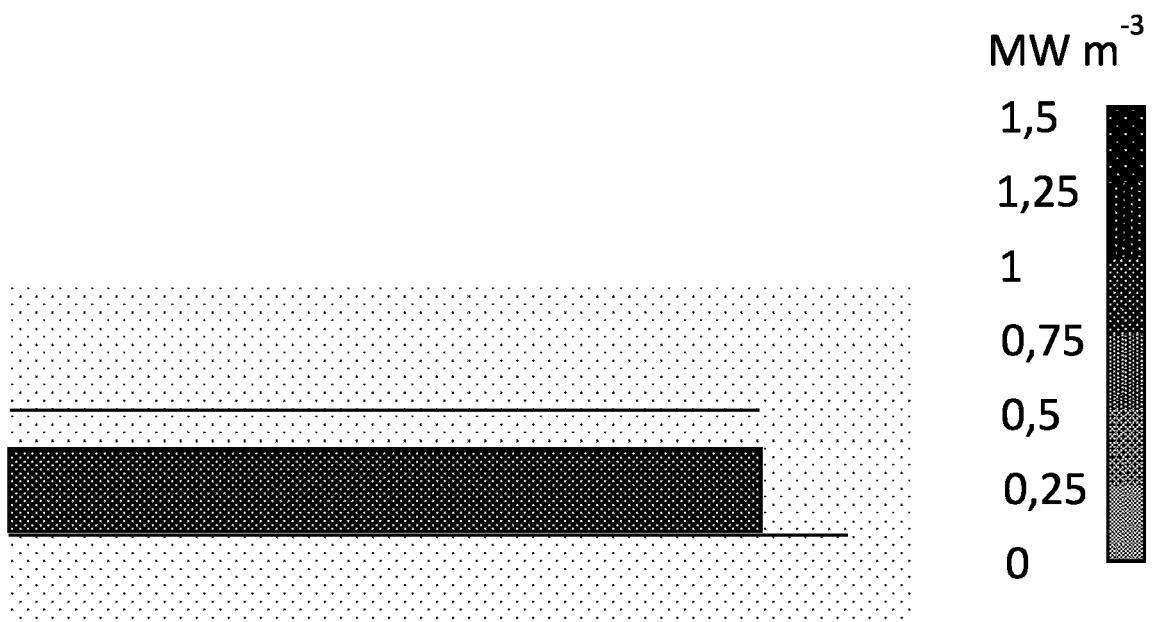
Figur 5b



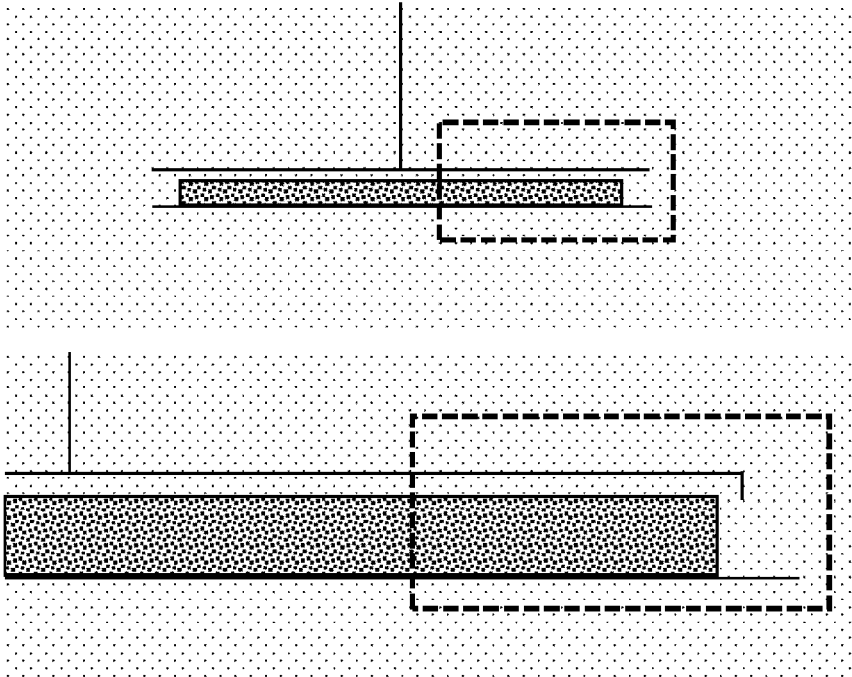
Figur 6a



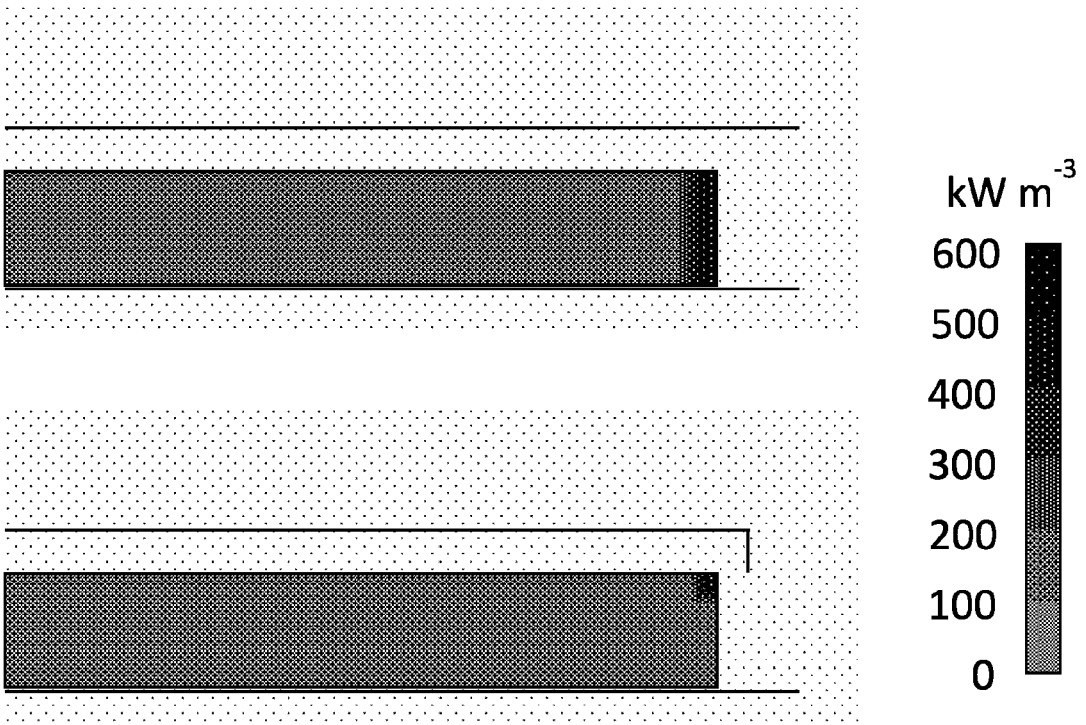
Figur 6b



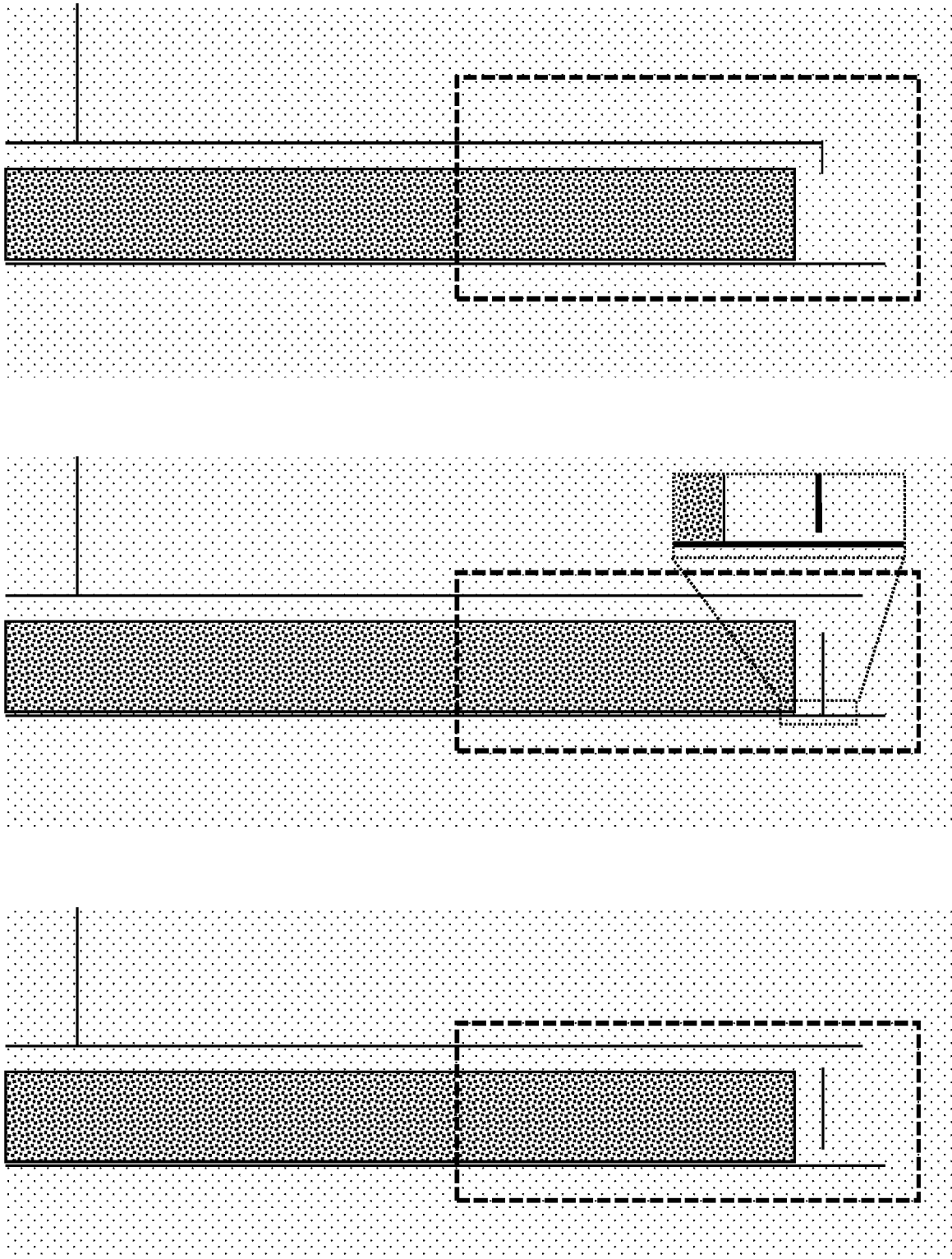
Figur 7a



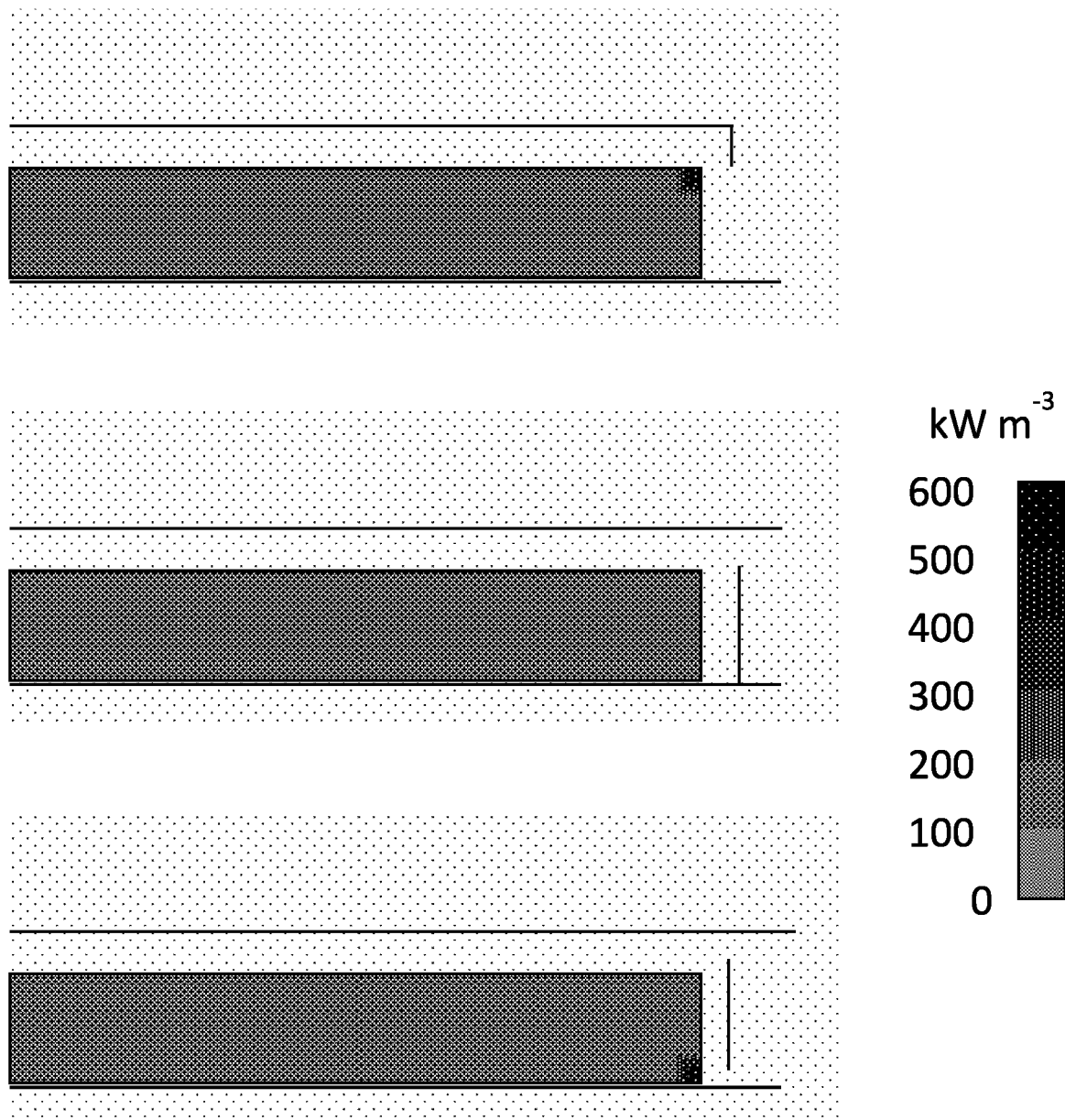
Figur 7b



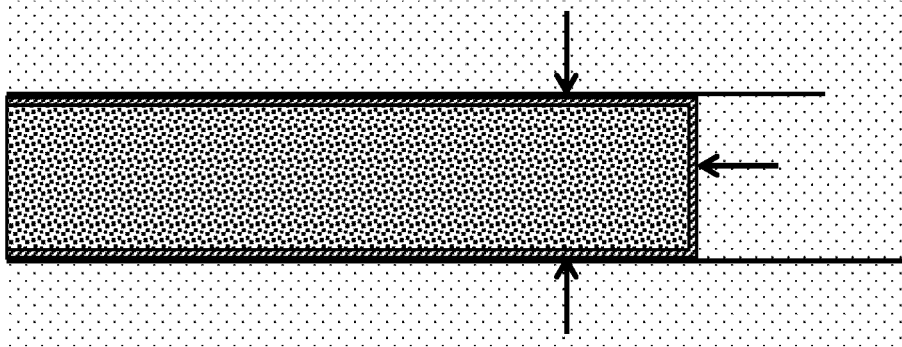
Figur 8a



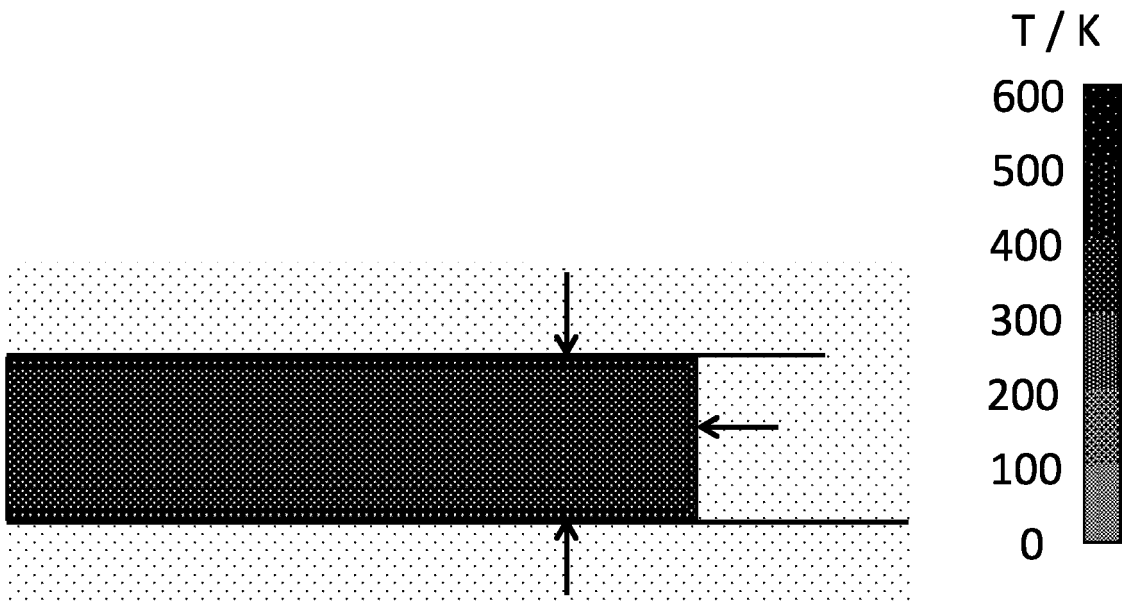
Figur 8b



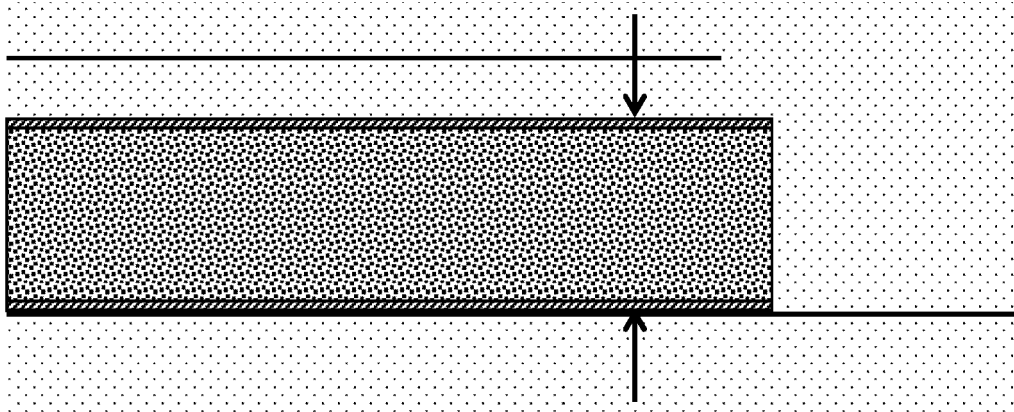
Figur 9a



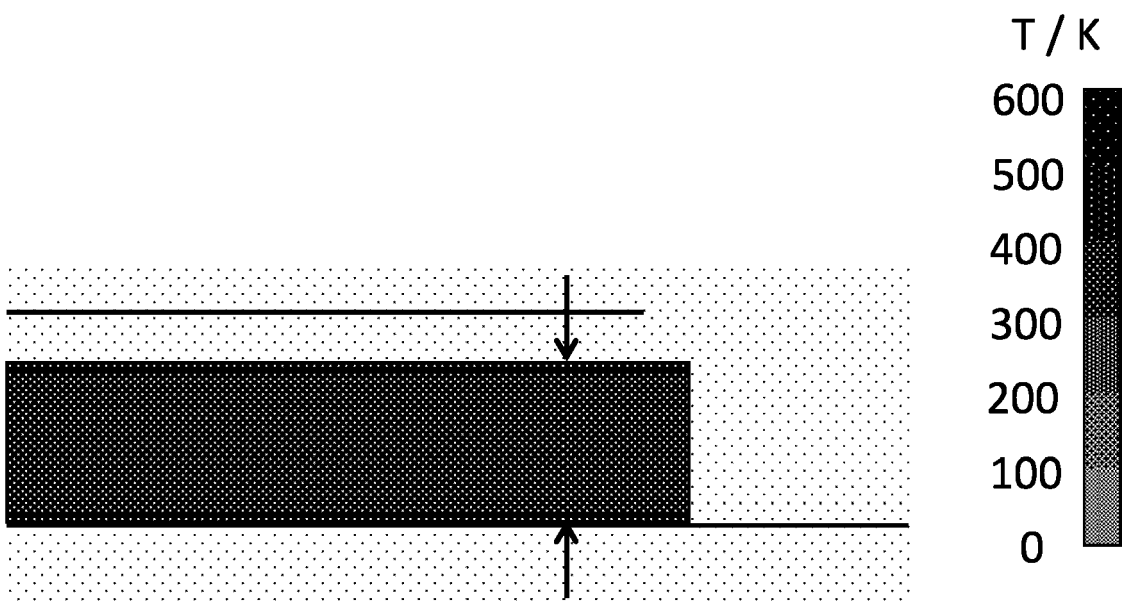
Figur 9b



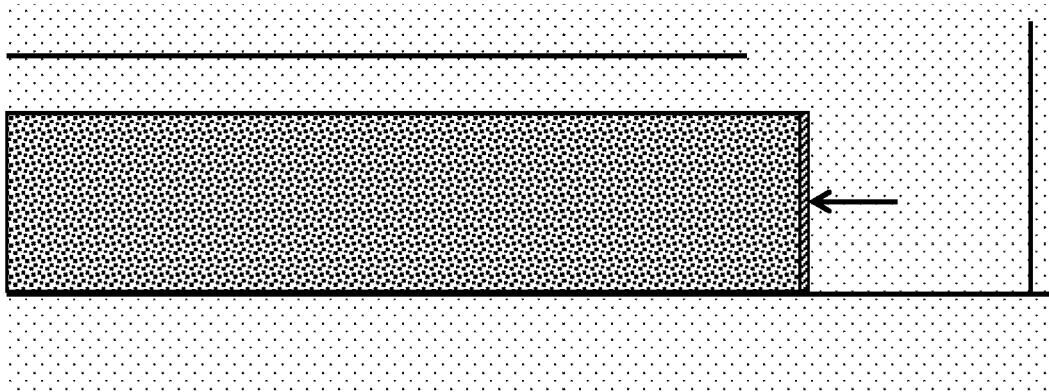
Figur 10a



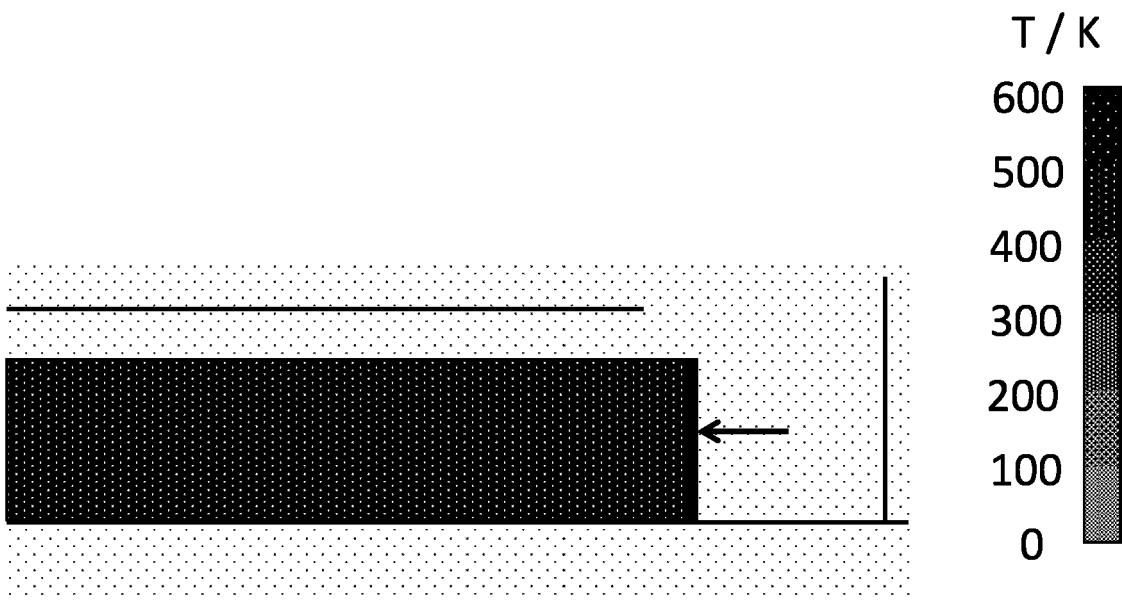
Figur 10b



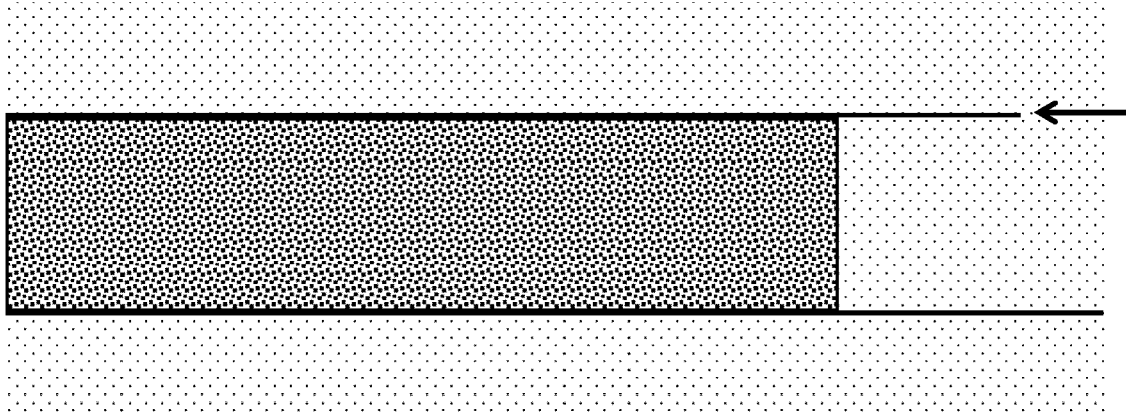
Figur 11a



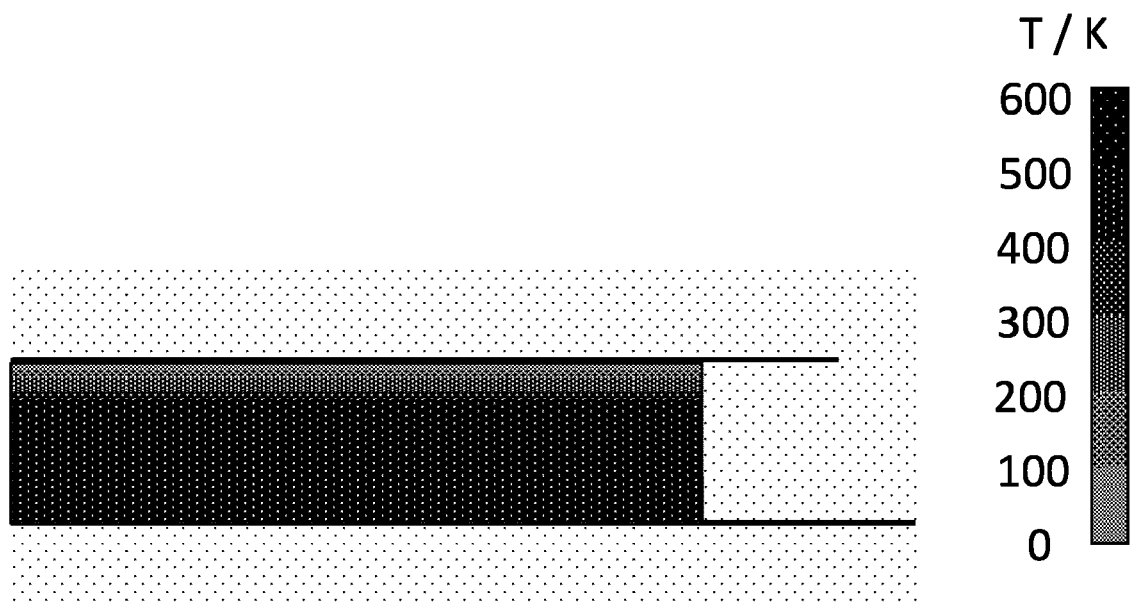
Figur 11b



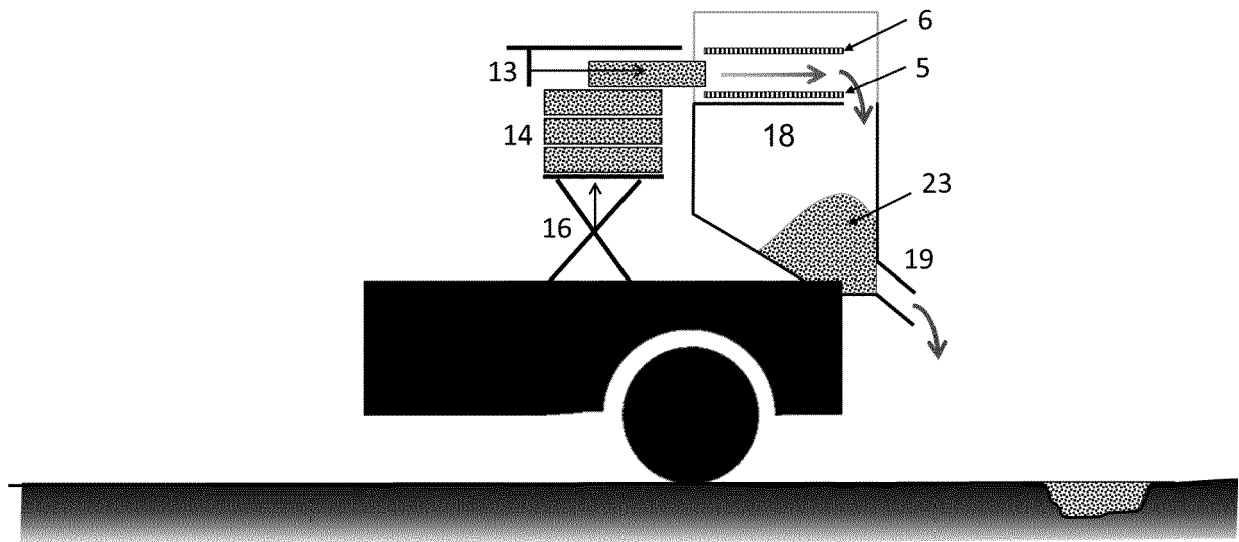
Figur 12a



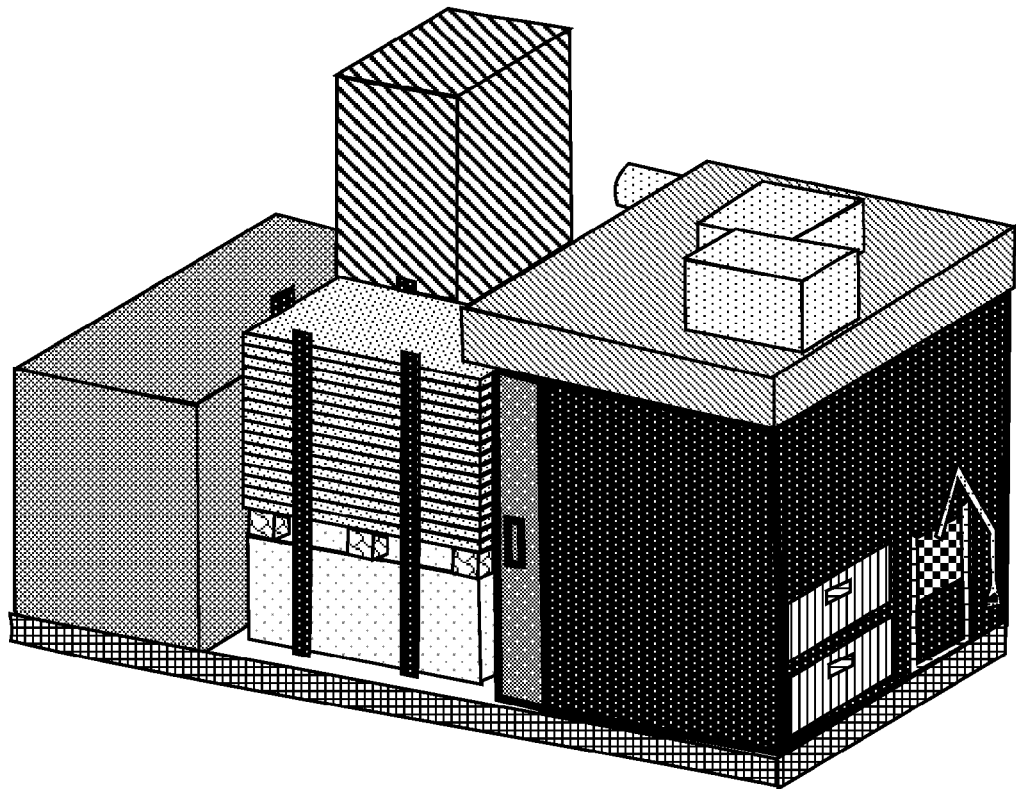
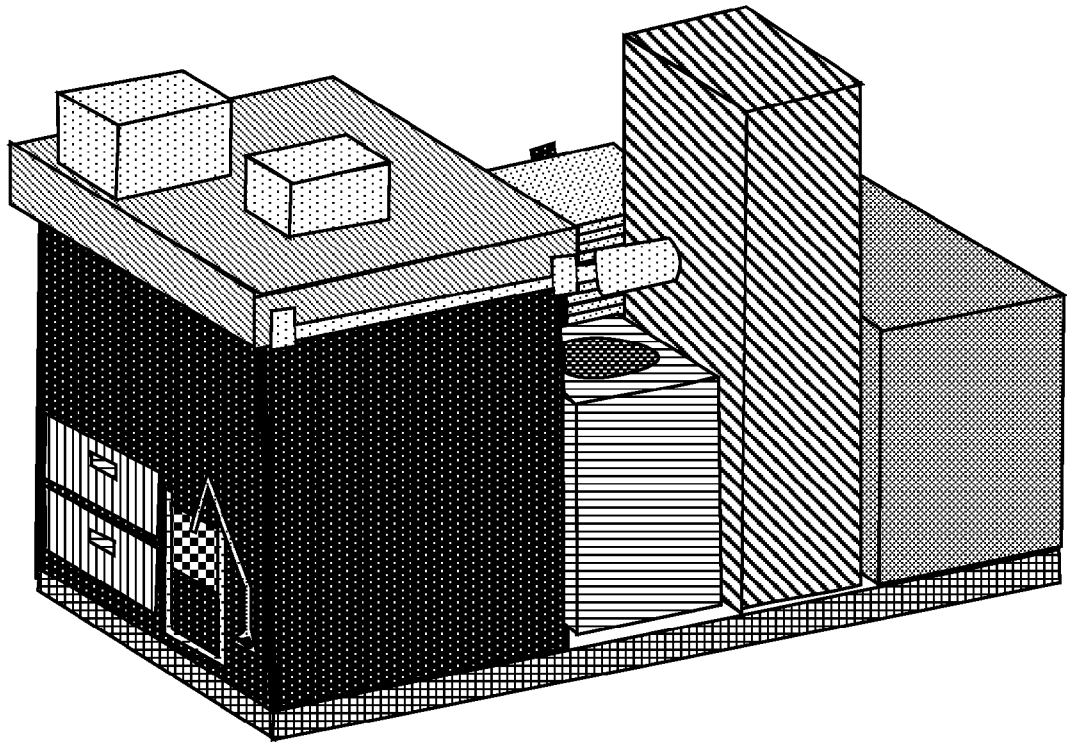
Figur 12b



Figur 13



Figur 14





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 16 4850

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 2008/030337 A2 (KINZER DWIGHT ERIC [US]) 13. März 2008 (2008-03-13) * Absatz [0074] - Absatz [0077]; Abbildungen 5, 6 *	1-4, 6-15	INV. H05B6/62 H05B6/50 H05B6/54
X, D	EP 2 354 349 A2 (HELMHOLTZ ZENTRUM UMWELTFORSCH [DE]) 10. August 2011 (2011-08-10) * Absatz [0052] - Absatz [0054]; Abbildungen 1, 2, 8 *	1-15	
X, D	DE 10 2013 217864 B4 (HELMHOLTZ ZENTRUM UMWELTFORSCH [DE] ET AL.) 8. März 2018 (2018-03-08) * Absatz [0055] - Absatz [0057]; Abbildung 1 *	1-15	
X	US 2 526 697 A (SCOTT JR GEORGE W) 24. Oktober 1950 (1950-10-24) * Spalte 3, Zeile 60 - Spalte 4, Zeile 13; Abbildung 1 *	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) H05B E04C B28B E01C
A	DE 819 858 C (TELEFUNKEN GMBH) 5. November 1951 (1951-11-05) * Seite 2, Zeile 23 - Zeile 68; Abbildung *	1-15	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 20. Juni 2023	Prüfer Gea Haupt, Martin
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 : nichtschriftliche 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			

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

EP 23 16 4850

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente 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.

20-06-2023

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	WO 2008030337 A2	13-03-2008	KEINE	
15	EP 2354349 A2	10-08-2011	AT 12590 U1	15-08-2012
			DE 202010001410 U1	27-05-2010
			EP 2354349 A2	10-08-2011
			EP 3287569 A1	28-02-2018
			ES 2660171 T3	21-03-2018
20			FR 2955506 A3	29-07-2011
	DE 102013217864 B4	08-03-2018	KEINE	
	US 2526697 A	24-10-1950	KEINE	
25	DE 819858 C	05-11-1951	KEINE	
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentedokumente

- DE 102013217864 B4 [0006]
- EP 2354349 A2 [0010]
- DE 102016107550 A1 [0010]
- EP 3236710 B8 [0010]
- DE 102016107547 B3 [0010]
- EP 3236711 B1 [0010]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **ROLAND et al.** On the role of water in dielectric heating with radio waves. *Chem. Eng. Tech.*, 2009, vol. 32, 754-762 [0040]
- **KRAUS et al.** Influence of humidity and temperature on the permittivity of zeolite NaY. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2011, vol. 13, 4119-4125 [0040]