



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
10.08.2011 Patentblatt 2011/32

(51) Int Cl.:
E04B 1/70 (2006.01) F26B 3/347 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **11151913.8**

(22) Anmeldetag: **24.01.2011**

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

- **Holzer, Frank**
04299 Leipzig (DE)
- **Kraus, Markus**
04318 Leipzig (DE)
- **Trommler, Ulf**
04571 Rötha (DE)

(30) Priorität: **25.01.2010 DE 202010001410 U**

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

(72) Erfinder:
• **Roland, Ulf**
04158 Leipzig (DE)

(74) Vertreter: **Gulde, Klaus W.**
Anwaltskanzlei
Gulde, Hengelhaupt, Ziebig & Schneider
Wallstrasse 58/59
10179 Berlin (DE)

(54) **Vorrichtung zur Trocknung und Dekontamination von Mauerwerk, Beton, Holz und anderen Feststoffen**

(57) Vorrichtung zur Trocknung und/oder Dekontamination eines Festkörpers, in dem das Wasser und/oder die Schadstoffe gebunden sind.

Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung bereit zu stellen, mit der Festkörper aus Materialien wie Stein, Beton oder Holz effizient thermisch getrocknet und/oder dekontaminiert werden können. Die Vorrichtung umfasst mindestens eine Elektrode (14,16), aufweisend eine erste Seite (15) und eine zweite Seite (17), wobei die mindestens eine Elektrode (14,16) mit einem Einspeisungsmittel (18) zur Einspeisung einer hochfrequenten Spannung verbunden ist, eine Struktur (34) aufweisend eine Substanz (22), die geeignet ist, eine Flüssigkeit (10) und/oder einen Schadstoff (11) aufzunehmen, wobei die Struktur (34) derart angeordnet und ausgebildet ist, dass ein Stofffluss vom zu behandelnden Feststoff (12) zur Struktur (34) gestattet ist, und mindestens ein Steuerungsmittel (30) zur Steuerung des Einspeisungsmittels (18) zur Einspeisung der hochfrequenten Spannung, wobei das Steuerungsmittel (30) mit dem Einspeisungsmittel (18) verbunden ist.

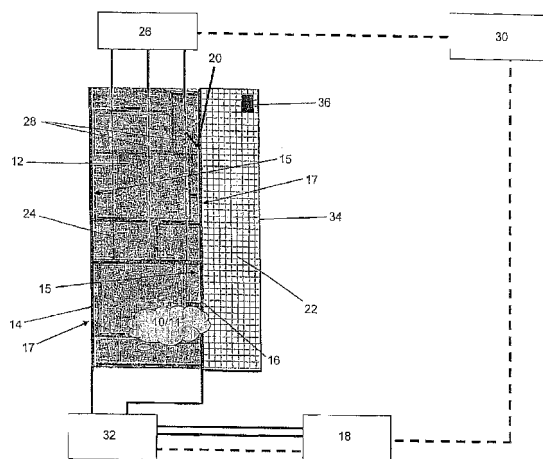


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Trocknung und/oder Dekontamination eines Festkörpers, vorzugsweise von Mauerwerk, Beton oder Holz durch Erhöhung der Temperatur der Struktur, in welcher das Wasser und/oder die Schadstoffe gebunden sind. Die Vorrichtung weist zumindest eine Elektrode zum Einbringen von Hochfrequenz-Energie auf, in deren Einflussbereich sich der zu behandelnde Festkörper zumindest teilweise befindet, wobei die Elektrode mit einer Hochfrequenz-Spannungsquelle verbunden ist. Die Vorrichtung weist weiterhin eine Struktur mit einem Medium, welches geeignet ist, das Wasser und/oder die Schadstoffe aufzunehmen sowie Steuerungsmittel zum Überwachen und Beeinflussen des Trocknungs- und/oder Dekontaminationsprozesses auf.

[0002] Die Entfeuchtung von Mauerwerk, Beton oder Holz ist eine weit verbreitete Aufgabe bei der Sanierung von Alt- und historischen Bauten, jedoch auch bei neueren Bauwerken infolge von Planungs- und Ausführungsfehlern sowie nach ungewollten Wassereinbrüchen oder Wasserschäden. Neben der Verhinderung des erneuten Wasserzutritts durch geeignete bautechnische oder andere Maßnahmen ist die Entfeuchtung bereits durchnässter Materialien eine essentielle Aufgabe.

[0003] Beispielsweise muss der Gehalt an Porenwasser in Baustoffen als Voraussetzung für das Einbringen von anderen Chemikalien, die zur Sanierung des Materials dienen, verringert werden. Ein Beispiel für entsprechende Chemikalien sind Substanzen, die den Baustoff hydrophober und damit wasserunempfindlicher machen. In den verwendeten Mitteln sind vorzugsweise Acrylate, Harze, Paraffine oder Siloxane enthalten. Derartige Injektionsverfahren sind in der Regel erst dann sinnvoll, wenn der Porenwassergehalt einen Wert von 60 % des Maximalwertes nicht überschritten hat oder wenn durch vorbereitende Maßnahmen wie die thermische Trocknung dieser Wert vorher erreicht wurde.

[0004] Ein alternativer möglicher Zielparameter für den Sanierungserfolg ist auch das Erreichen der so genannten Ausgleichsfeuchte, welche einen Gleichgewichtswert für den jeweiligen Baustoff bei einer entsprechenden äußeren Luftfeuchte und Temperatur darstellt. Die Ausgleichsfeuchte im Speziellen und die zu erreichende Endfeuchte im Allgemeinen werden jedoch von einer Reihe von material-, umgebungs- und nutzungsspezifischen Faktoren beeinflusst. Die entsprechenden Werte sind der relevanten Fachliteratur zu entnehmen.

[0005] Die Dekontamination von Festkörpern, wie Mauerwerk, Beton oder Holz ist notwendig, wenn durch Verwendung belasteter Materialien oder durch äußere Einflüsse, wie z.B. Havarien von Heizöltanks oder Hochwasserschäden, Schadstoffe in den Festkörpern vorliegen, deren Konzentrationen eine Sanierung bzw. Entfernung erforderlich machen. Es ist bekannt, dass eine Temperaturerhöhung die Freisetzung von Schadstoffen wie beispielsweise Kohlenwasserstoffen durch Thermo-

desorption stark beschleunigen kann. Die Ursache hierfür ist die vorteilhafte Beeinflussung zahlreicher Parameter der Schadstoffe wie Dampfdruck, Wasserlöslichkeit, Diffusivität oder Oberflächenspannung. Thermische Verfahren zur Schadstoffentfernung sind bereits im Bereich der Bodensanierung etabliert.

[0006] Eine Erwärmung und Austrocknung von Holz kann zudem dazu dienen, Holzschädlinge wie beispielsweise Hausschwamm zu schädigen, abzutöten oder ihnen die Lebensgrundlage zu entziehen. Auch in diesem Bereich hängt die Wahl der einzustellenden Parameter wie Endtemperatur, Dauer der Aufheizung oder Restfeuchte vom konkreten Problemfall und insbesondere von der Art der Holzschädlinge ab.

[0007] Es gibt bereits eine Reihe von Verfahren zur Mauerwerkstrocknung, die den Wassertransport in den relevanten Bereichen unterbinden bzw. einschränken. Das Spektrum reicht dabei von invasiven Verfahren, wie dem Einbringen von Sperrschichten über elektrokinetische Verfahren bis hin zu Methoden, deren physikalische Wirkprinzip unbekannt und deren Wirkungseffizienz in vielen Fällen kritisch zu hinterfragen ist.

[0008] Nach dem Stand der Technik kann die Entfeuchtung von Mauerwerk beispielsweise durch die Temperaturerhöhung mittels Infrarotstrahlern erreicht werden. In diesem Fall wird elektromagnetische Strahlung einer bestimmten Frequenz oder eines bestimmten Frequenzbereiches, hier im Bereich der Infrarotstrahlung, auf das Material gerichtet. Infolgedessen wird die Oberfläche des Materials erwärmt und Wasser verdunstet in diesem Bereich, entweicht dann als Wasserdampf in die Raumluft und muss aus dieser entfernt werden. Der Nachteil dieses Verfahrens ist, dass nur der Oberflächenbereich erwärmt wird, da die Infrarotstrahlung praktisch nicht in das Material eindringen kann. Die Temperatur im Inneren des Materials wird nur durch Wärmeleitung erhöht. Dadurch kann Wasser aus diesem Bereich nur sehr langsam freigesetzt werden. Nachteilig sind auch die auftretenden großen Temperaturgradienten, die zu einer Schädigung des Materials führen können. Typische Anlagen, die nach diesem Prinzip arbeiten, sind für Wandflächen von weniger als 1 m² ausgelegt.

[0009] Für die Dekontamination von Bauteilen kann diese Technik in analoger Weise zum Einsatz kommen, wenn die Schadstoffe durch die Temperaturerhöhung in die Gasphase übergehen und analog zum Wasser an die Oberfläche transportiert werden. In gleicher Weise sind jedoch auch hier die geringen Eindringtiefen und die damit entsprechenden großen Temperaturgradienten von Nachteil.

[0010] Die Verwendung von Heizstäben zur Trocknung ist zwar technisch einfacher und durch die Positionierung der Stäbe auch besser im inneren Volumen des Bauteils zu realisieren und zu kontrollieren, allerdings wird das Bauteil durch das Einbringen der Heizstäbe mechanisch geschädigt. Die großen Temperaturgradienten in der Umgebung des Stabes können außerdem zusätzlich zu einer thermischen Schädigung des Materials füh-

ren. Das Volumen zwischen den Heizstäben kann allerdings ebenfalls nur durch Wärmeleitung, also in indirekter Weise, erreicht werden. Die derzeit eingesetzten Heizstäbe besitzen Leistungen von 100 bis 200 W. Sie werden in Bohrlöcher von typischerweise 15 bis 20 mm Durchmesser eingebracht.

[0011] Während der Einsatz dieses Verfahrens im Allgemeinen nur mit einer zwar in der Regel reversiblen, aber deutlichen Schädigung des Mauerwerks, Betons oder des Holzes verbunden ist und daher zu erhöhten Aufwendungen im Zuge der Wiederherstellung führt, verbietet sich die Anwendung von Heizstäben im Denkmalschutzbereich oft völlig. Dort muss in der Regel auf nicht-invasive Verfahren zurückgegriffen werden.

[0012] Ein weiteres nicht-invasives Verfahren zur Mauerwerkstrocknung beruht auf dem Einsatz von Mikrowellen mit Frequenzen im GHz-Bereich. Die Erwärmung ist hier auf die direkte Energieeinkopplung in die Wassermoleküle bzw. andere polare Strukturen im Mauerwerk zurückzuführen. Allerdings sind auch hier die Eindringtiefen relativ gering und die Erwärmung fokussiert sich somit ebenfalls auf den Oberflächenbereich des Bauteils. Dies ist mit den bereits beschriebenen Nachteilen, d.h. der Ausbildung hoher Temperaturgradienten und einer inhomogenen Austrocknung verbunden.

[0013] Es ist somit die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung bereit zu stellen, die die Nachteile im Stand der Technik überwindet und mit der Festkörper aus Materialien wie Stein, Beton oder Holz effizient thermisch getrocknet und/oder dekontaminiert werden können. Die Vorrichtung soll ein nicht-invasives Verfahren ermöglichen und die Entstehung von lokalen Temperaturgradienten vermeiden. Weiterhin soll die erfindungsgemäße Vorrichtung auch für die Bekämpfung von Holzschädlingen geeignet sein.

[0014] Die erfindungsgemäße Aufgabe wird mit einer Vorrichtung gemäß dem Hauptanspruch gelöst, vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0015] Erfindungsgemäß wird eine Vorrichtung zur Trocknung und/oder Dekontamination eines Festkörpers bereitgestellt, wobei der Festkörper mindestens eine Flüssigkeit und/oder einen Schadstoff enthält, aufweisend mindestens eine Elektrode, wobei sich der Festkörper zumindest teilweise im Einflussbereich der mindestens einen Elektrode befindet und wobei die mindestens eine Elektrode mit einem Einspeisungsmittel zur Einspeisung einer hochfrequenten Spannung und einem Steuerungsmittel verbunden ist sowie eine Struktur aufweisend eine Substanz, die geeignet ist, die Flüssigkeit und/oder den Schadstoff aufzunehmen, wobei die mindestens eine Elektrode so gestaltet ist, dass sie einen Stofffluss vom zu behandelnden Feststoff zu der Struktur mit der aufnehmenden Substanz gestattet. Bei einer bevorzugten Ausgestaltung der Vorrichtung enthält diese mindestens einen Temperatursensor, der geeignet ist, die Temperatur des Festkörpers zu bestimmen, wobei der Temperatursensor im Feststoff positioniert und mit

einer Auswerteeinheit verbunden ist und/oder mindestens ein Steuerungsmittel zur Steuerung des Einspeisungsmittels zur Einspeisung der hochfrequenten Spannung, wobei das Steuerungsmittel mit dem Einspeisungsmittel und der Auswerteeinheit für den Temperatursensor verbunden ist.

[0016] Vorzugsweise ist die Struktur an der zweiten Seite der mindestens einen Elektrode angeordnet. Vorzugsweise ist ein Temperatursensor auf der ersten Seite der mindestens einen Elektrode angeordnet.

[0017] Vorzugsweise liegt der Feststoff in partikulärer Form vor.

[0018] Vorzugsweise ist der Temperatursensor ein faseroptischer Temperatursensor, ein Infrarotsensor oder eine Infrarotkamera zur Bestimmung der Oberflächentemperatur des Feststoffes.

[0019] Die Begriffe Flüssigkeit und Schadstoff werden hier und im Folgenden zusammenfassend für Wasser und andere Stoffe verwendet, die in dem zu behandelnden Feststoff sowohl in adsorbierter und absorbierter Form sowie als flüssige Phase vorliegen können. Für die Anwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind durch die Art der Wechselwirkung der Substanzen mit dem Feststoff keine prinzipiellen Grenzen gegeben. Der Begriff Schadstoff wird in der allgemeinen Form auch gebraucht, wenn mehrere Schadstoffe als Einzelsubstanzen gleichzeitig vorliegen und durch die Vorrichtung freigesetzt werden sollen.

[0020] Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung handelt es sich somit um eine Vorrichtung zur dielektrischen Erwärmung. Obwohl ähnliche Grundprinzipien wie bei der Mikrowellen-Anwendung, z.B. die Orientierungspolarisation von Dipolmolekülen oder anderen polaren Strukturen im Feststoff, für die Erwärmung relevant sind, bietet der Einsatz Hochfrequenz-Energie den Vorteil größerer Eindringtiefen für die relevanten Materialien. Damit können praktisch homogene Temperaturprofile im Mauerwerk bzw. im zu behandelnden Festkörper im Allgemeinen eingestellt werden, was zur Vermeidung der im Stand der Technik vorhandenen Probleme führt. Ein weiterer wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist das Potenzial einer nichtinvasiven Anwendung, wodurch sich auch die Möglichkeit des Einsatzes an wertvollen historischen Gebäuden und allgemein im Bereich der Denkmalpflege eröffnet.

[0021] Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann demnach immer dann eingesetzt werden, wenn die Feuchte und/oder der Gehalt an Schadstoffen in einem Festkörper effizient reduziert werden sollen. Bevorzugte Festkörper, die mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung getrocknet und/oder dekontaminiert werden können, sind Textilien, Lebensmittel, Holz, Baumaterialien, Mauerwerk. Unter Baumaterial wird erfindungsgemäß vorzugsweise Sand, Lehm, Kies, Zement, Beton, Ziegel, Gips, Gipskarton oder eine Mischung daraus verstanden.

[0022] Besonders bevorzugt wird die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Trocknung und/oder Dekontamination von Mauerwerk, Baumaterial oder Holz einge-

setzt. Dabei wird durch dielektrische Erwärmung des Festkörpers dessen Temperatur soweit erhöht, dass das Wasser und/oder die Schadstoffe desorbieren und/oder verdampfen und aus der Matrix des Festkörpers freigesetzt werden. Die Vorrichtung kann darüber hinaus eingesetzt werden, um durch Temperaturerhöhung und/oder Austrocknung Holzschädlinge abzutöten oder deren Lebens- und Entwicklungsgrundlage dauerhaft zu verschlechtern.

[0023] Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist mindestens eine Elektrode auf, die mit einem Mittel zur Einspeisung einer hochfrequenten Spannung verbunden ist. Bei dem Einspeisungsmittel handelt es sich vorzugsweise um einen Hochfrequenz- (HF-) Generator. Zwischen der mindestens einen Elektrode und dem HF-Generator ist vorzugsweise ein elektronisches Anpassnetzwerk angeordnet, das den Abgleich der variablen Impedanz des Festkörpers beispielsweise auf Grund schwankender Feuchtigkeit an den Innenwiderstand des HF-Generators ermöglicht. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit einer sehr energieeffizienten Erwärmung des Festkörpers, da die abgegebene HF-Energie nahezu vollständig in Prozesswärme umgewandelt werden kann. Der energetische Wirkungsgrad ist daher durch den Einsatz des Anpassnetzwerkes deutlich erhöht. Eine kontinuierliche Regelung des elektronischen Anpassnetzwerkes während des Trocknungs- und/oder Dekontaminationsprozesses erlaubt es, diese günstigen Bedingungen auch bei sich verändernder Materialfeuchte aufrecht zu erhalten. Die Temperaturerhöhung im Material führt dann zur Mobilisierung von Wasser und/oder Schadstoffen und somit zum erwünschten Behandlungserfolg.

[0024] Die Vorrichtung ermöglicht unterschiedliche Modi des Energieeintrages und insbesondere der Aufheizung des Festbettes und der Realisierung unterschiedlicher Temperaturprofile. Insbesondere ist es möglich, den Festkörper homogen zu erwärmen, wobei auch technisch relevante Volumina bis in den Kubikmeter-Maßstab behandelt werden können. Vorzugsweise liegt das Volumen des zu trocknenden und/oder zu dekontaminierenden Festkörpers im Bereich von 0,001 bis 100 Kubikmeter, noch bevorzugter im Bereich von 0,1 bis 10 Kubikmeter.

[0025] Vorzugsweise stellt der HF-Generator eine Spannung mit einer Frequenz zwischen 500 kHz und 100 MHz zur Verfügung, weiter bevorzugt sind Frequenzen zwischen 1 MHz und 30 MHz. Besonders bevorzugt ist die Verwendung von Frequenzen, die für die Anwendung für den industriellen, wissenschaftlichen und medizinischen Bereich freigegeben sind. Besonders bevorzugt sind dabei die ISM-Frequenzen von etwa 6,9 MHz, 13,56 MHz oder 27 MHz.

[0026] Die erfindungsgemäß mindestens eine Elektrode weist eine Seite auf, die dem zu erwärmenden Festkörper zugewandt ist und mit diesem eine Grenzfläche ausbildet. Dabei umfasst der Begriff "Grenzfläche" sowohl die Ausführungsform, dass sich der Festkörper und die mindestens eine Elektrode berühren, als auch die

Ausgestaltung, dass die Grenzfläche eine Schicht aus einem Übermittlungsmedium, vorzugsweise Luft, ist. Bei letzterer Ausgestaltung ist die Dicke der Schicht (Übergangsbereich) aus einem Übermittlungsmedium durch die Reichweite der mindestens einen Elektrode begrenzt. Kleine Schichtdicken, d.h. Abstände zwischen Elektrode und Feststoff im Bereich von 0,1 bis 50 cm, sind bevorzugt.

[0027] Vorzugsweise handelt es sich bei der mindestens einen Elektrode um eine Plattenelektrode. Plattenelektroden werden vorzugsweise derart angeordnet, dass die dem zu behandelnden Feststoff zugewandte Fläche der mindestens einen Elektrode parallel oder im Wesentlichen parallel zum zu trocknenden und/oder dekontaminierenden Festkörper ausgerichtet ist. Unter "im Wesentlichen parallel" wird erfindungsgemäß ein mittlerer Abweichungswinkel im Bereich von 0 bis 20°, vorzugsweise ein Winkel im Bereich von 0 bis 5° und besonders bevorzugt ein Winkel im Bereich von 0 bis 1° verstanden. Vorzugsweise wird die Elektrode so ausgerichtet, dass bei unebenen Oberflächen möglichst große Anteile von Elektrodenfläche und Festkörperoberfläche parallel angeordnet sind. Vorzugsweise sind die Elektroden parallel angeordnet, wobei sich der Festkörper zwischen den Elektroden befindet.

[0028] Die flächige Ausdehnung der mindestens einen Elektrode liegt vorzugsweise im Bereich von 0,1 bis 10 m² und besonders bevorzugt im Bereich von 0,5 bis 2 m².

[0029] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung ist die mindestens eine Elektrode für die mindestens eine Flüssigkeit und/oder den Schadstoff permeabel. Besonders bevorzugt sind die Ausgestaltungen als perforierte Elektrode oder als Netzelektrode. Durch eine permeable Ausgestaltung wird gewährleistet, dass das Wasser und/oder der mindestens eine Schadstoff aus dem Festkörper austreten und sich anschließend von der Oberfläche des Festkörpers entfernen können.

[0030] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist die erfindungsgemäße Vorrichtung zwei Elektroden auf. Vorzugsweise ist dabei eine der zwei Elektroden eine kalte Elektrode und eine der zwei Elektroden eine heiße Elektrode. Dabei wird als kalte Elektrode die Elektrode definiert, die geerdet ist. In einer besonders bevorzugten Ausführungsvariante ist die kalte Elektrode mit den Gehäusen des HF-Generators und des elektronischen Anpassnetzwerkes elektrisch leitend verbunden.

[0031] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung werden parallele Plattenelektroden verwendet. Parallele Plattenelektroden gewährleisten für homogene Festkörper ein Temperaturprofil mit geringen Gradienten und sind somit für eine homogene Erwärmung am besten geeignet. Vorzugsweise weisen beide Elektroden je eine Grenzfläche mit dem Festkörper (Feststoff) auf.

[0032] In einer bevorzugten Ausgestaltung der Vorrichtung sind die Elektroden derart angeordnet, dass die Flächen der Plattenelektroden eine gemeinsame Grenzfläche mit dem Festkörper bilden, wobei die Elektroden

voneinander elektrisch isoliert nebeneinander angeordnet sind und die gemeinsame Grenzfläche eine ebene Fläche ist. Bei dieser Anordnung befinden sich die Elektroden auf derselben Seite des Festkörpers. Diese Anordnung ist besonders geeignet, wenn die Gesamtausdehnung des Festkörpers größer ist als der Einflussbereich der einen oder der mehreren Elektroden. Dann kann die erfindungsgemäße Vorrichtung an dem Festkörper entlang bewegt werden und die Trocknung und/oder Dekontamination wird sequentiell ausgeführt. Bevorzugte Festkörper, die mit dieser Elektrodenanordnung getrocknet werden, sind Bauwerke und Mauerwerk.

[0033] Alternativ werden die Elektroden vorzugsweise derart parallel angeordnet, dass sich der Festkörper zwischen den Elektroden befindet. Diese Anordnung ist besonders für Festkörper geeignet, deren räumliche Ausdehnung zumindest in einer Dimension innerhalb des Einflussbereichs der beiden Elektroden bei vorliegendem Elektrodenabstand liegt. Diese Anordnung ist beispielsweise bei Holz geeignet, wobei ein Holzbalken dann zwischen den Elektroden positioniert ist. Ist der Balken länger als die Elektroden breit sind, so wird die Vorrichtung entlang des Balkens verschoben und die Trocknung und/oder Dekontamination wird ebenfalls sequentiell vorgenommen. Die Wahl der Elektrodengeometrie, von denen noch weitere Varianten möglich sind, wird durch die Anforderungen des jeweiligen Prozesses bestimmt (Anordnung des zu behandelnden Festkörpers in einer Struktur wie z.B. einem Gebäude, notwendige Temperaturhomogenität, mechanische Anforderungen an die Anordnung, zu erzielende Aufheizraten usw.) und kann vom Fachmann gegebenenfalls optimiert werden.

[0034] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung sind mehr als zwei Elektroden vorgesehen, die mit einer hochfrequenten Wechselspannung gespeist werden. Vorzugsweise sind eine heiße und mehrere kalte Elektroden vorgesehen.

[0035] In einer weiteren Ausgestaltung der Vorrichtung wird der zu behandelnde Feststoff durch den Wirkungsbereich der mindestens einen Elektrode geführt. Als mechanische Hilfsmittel können dabei vorzugsweise Fördereinrichtungen wie Bänder zum Einsatz kommen. Gegebenenfalls wird der Feststoff, beispielsweise ein Baustoffe oder natürlicher mineralischer Stoff, vor der Behandlung in eine Form gebracht, der die beschriebene Art der Förderung durch den Einflussbereich der mindestens einen Elektrode erlaubt.

[0036] Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist in räumlicher Nähe zu der mindestens einen Elektrode zur dielektrischen Erwärmung eine Struktur mit einer Substanz auf, die das freigesetzte Wasser und/oder den mindestens einen freigesetzten Schadstoff aufnimmt. Diese Substanz wird verallgemeinernd Adsorbermaterial genannt und kann in fester, flüssiger oder gasförmiger Form vorliegen. Die Positionierung eines geeigneten Adsorbermaterials in der Nähe der mindestens einen Elektrode erlaubt einen effektiven Austrag der Problemstoffe durch

deren schnelle Aufnahme in das Adsorbermaterial und die Initiierung vorteilhafter Konzentrationsgradienten.

[0037] Der Stofftransport zwischen dem zu behandelnden Festkörper und dem Adsorbermaterial kann in einer Ausgestaltung der Vorrichtung durch eine aktive Gasströmung vermittelt werden, die einen verbesserten, konvektiven Transport des freigesetzten Wasser und/oder des freigesetzten mindestens einen Schadstoffs ermöglicht.

[0038] Bei dem aus dem Festkörper zu entfernenden Material handelt es sich vorzugsweise um eine Substanz, die in reiner Phase bei Umgebungstemperatur als Flüssigkeit vorliegt. Flüssigkeiten, die erfindungsgemäß entfernt werden, sind vorzugsweise Wasser und Schadstoffe mit unterschiedlichen chemischen, physikalischen und toxikologischen Eigenschaften. Schadstoffe, die vorzugsweise mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung aus dem Feststoff entfernt werden können, sind vorzugsweise Kohlenwasserstoffe oder halogenierte Kohlenwasserstoffe, besonders bevorzugt Mineralölkohlenwasserstoffe, organische Lösungsmittel, Bestandteile von Anstrichstoffen, Flammenschutzmitteln, Holzschutzmitteln und anderen Substanzen, die dem Schutz von Baumaterialien gegenüber Schädlingen dienen.

[0039] In einer bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei der Struktur mit der adsorbierenden Substanz um einen Hohlkörper mit der äußeren Form eines Zylinders oder Quaders. Die Erfindung ist jedoch grundsätzlich nicht an eine bestimmte Form der Struktur gebunden, es sind auch beliebige andere Geometrien möglich, ohne dass die Funktionsfähigkeit der Anordnungen eingeschränkt würde. Vorteilhafterweise ist der Behälter permeabel für die zu adsorbierenden Flüssigkeiten oder Schadstoffe. Alternativ weist der Behälter Öffnungen auf, durch die die Wasser und/oder Schadstoffe eintreten können. Besonders bevorzugt handelt es sich bei dem Behälter um einen Gitterbehälter, d.h. einen Käfig, wobei die Löcher im Gitter derart gewählt werden, dass das adsorbierende Material im Behälter verbleibt.

[0040] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung handelt es sich bei der in dem Behälter enthaltenen Substanz, um ein adsorbierendes Material, bevorzugt ein poröses Material, wie beispielsweise ein geeignetes γ -Aluminiumoxid, Silikagel, Aktivkohle, einen Zeolith oder eine Mischung dieser Materialien. Besonders bevorzugt im Fall der Trocknung eines Feststoffes ist ein hydrophiler Zeolith, insbesondere ein A-, X- oder Y-Zeolith. Für unpolare oder wenig polare organische Schadstoffe sind hydrophobe Zeolithe oder Aktivkohle bevorzugt als Adsorbermaterialien einzusetzen. Besonders bevorzugt ist dabei ein dealuminierter Y-Zeolith mit hohem Si/Al-Verhältnis. Bei der Suche nach geeigneten Adsorbermedien kann auf den Stand der Technik zurückgegriffen werden.

[0041] Die eingesetzten Adsorbentien weisen vorzugsweise eine hohe Porosität mit großen spezifischen Oberflächen von vorzugsweise mehr als 100 m²/g, weiter bevorzugt mehr als 250 m²/g und noch bevorzugter mehr

als 500 m²/g auf. In vielen Fällen wird diesen Materialien vor dem Verpressen ein Bindemittel beigemischt, um eine bessere mechanische Stabilität zu erreichen. Im Folgenden werden diese Mischmaterialien jedoch vereinfachend so bezeichnet wie die adsorptionsaktive Komponente.

[0042] Im Rahmen einer modular aufgebauten erfindungsgemäßen Vorrichtung kann eine Komponente zur Eliminierung der aus dem Feststoff freigesetzten Schadstoffe eingesetzt werden. Die Zuführung der desorbierten Schadstoffe zu der entsprechenden Komponente kann vorzugsweise wiederum durch einen Gasstrom erfolgen. In einer weiteren vorteilhaften Gestaltung der Vorrichtung ist der Einsatz einer zusätzlichen Katalysator-komponente im Adsorbermaterial vorteilhaft. Als Katalysatoren werden beispielsweise Metalle, vorzugsweise Platin, Palladium oder andere Übergangs- bzw. Edelmetalle, oder Perowskit eingesetzt. Die katalytisch aktiven Edelmetalle sind vorzugsweise auf porösen Trägermaterialien aufgebracht. Diese porösen Materialien weisen typischerweise Porositäten zwischen 0,2 und 0,7 auf.

[0043] Die Substanz, die als Adsorber und/oder als Katalysator verwendet wird, ist insbesondere ein Granulat oder anderes Schüttgut, wobei die Korndurchmesser vorzugsweise im Millimeter-Bereich liegen. Erfindungsgemäß besonders geeignet, sind Korngrößen im Bereich von 0,1 bis 10 mm, vorzugsweise von 1 bis 5 mm, noch bevorzugter von 1 bis 3 mm.

[0044] Vorzugsweise ist das Schüttgut in einem Behälter, besonders bevorzugt in einem käfigartigen Behälter angeordnet.

[0045] Vorzugsweise enthält die Anordnung mindestens einen Temperatursensor, der geeignet ist, während der dielektrischen Erwärmung des Festkörpers dessen Temperatur zu bestimmen. Vorzugsweise handelt es sich dabei um einen faseroptischen Temperatursensor, der unter den vorliegenden Bedingungen eines elektromagnetischen Feldes eingesetzt werden kann und somit eine kontinuierliche Messung während des Betriebes der Vorrichtung gestattet. Der Temperatursensor ist vorzugsweise direkt im Volumen des Festkörpers angeordnet. Besonders bevorzugt ist der Einsatz mehrerer Temperatursensoren, die die Erfassung eines repräsentativen dreidimensionalen Temperaturprofils im Feststoff gestatten.

[0046] In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung weist die Vorrichtung weitere Sensoren auf, die die Analyse von Wasser und/oder Schadstoffen gestatten. Die weiteren Sensoren sind vorzugsweise ebenfalls mit einer Auswerteeinheit verbunden. In dieser Ausgestaltung ist es vorteilhafterweise möglich, den Wasser- und/oder den Schadstoffaustrag aus dem Festkörper zu registrieren und die dielektrische Erwärmung auf diese Daten abzustimmen. Insbesondere kann so leicht ermittelt werden, wann die dielektrische Erwärmung beendet werden kann.

[0047] Die erfindungsgemäße Vorrichtung enthält weiterhin in einer bevorzugten Variante ein Steuerungsmittel

zur Steuerung des HF-Generators, wobei das Steuerungsmittel mit dem HF-Generator und bevorzugt mit dem Temperatursensor verbunden ist. Dadurch ist gewährleistet, dass die dielektrische Erwärmung an die Temperatur im Festkörper angepasst ist und beispielsweise lokale Überhitzungen vermieden werden können. Vorzugsweise handelt es sich bei dem Steuerungsmittel um einen Personalcomputer (PC) oder eine ähnliche elektronische Steuereinheit mit Prozessleitsystem.

[0048] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung weist die Vorrichtung ein Mittel zur Bestimmung der Beladung der adsorbierenden Substanz in Bezug auf die Flüssigkeit und/oder den Schadstoff auf. Dadurch kann vorteilhafterweise gewährleistet werden, dass immer ausreichend Adsorbermaterial zur Aufnahme des Wassers und/oder des Schadstoffs zur Verfügung steht und das Wasser und/oder der Schadstoff aus der Umgebungsluft entfernt werden. Das Bestimmungsmittel weist vorzugsweise einen Sensor und ein Alarmsystem auf, das bei Überschreiten eines vorher festgelegten Grenzwertes auf den Beladungszustand hinweist und einen Austausch des Adsorbermaterials empfiehlt.

[0049] Vorteilhafterweise enthält die erfindungsgemäße Vorrichtung auch Einrichtungen dafür, die Adsorptions- und/oder Reaktionswärme der freigesetzten Stoffe bei ihrer Wechselwirkung mit dem Adsorbermaterial sowie die erhöhte Temperatur des vom erwärmten Feststoff weg gerichteten Gasstromes wieder zur Erwärmung des Feststoffes zu nutzen. Dies können beispielsweise Wärmetauscher unterschiedlicher Bauart sein.

[0050] Es versteht sich, dass diese Erfindung nicht auf die spezifischen Vorrichtungen, Zusammensetzungen und Bedingungen beschränkt ist, wie sie hierin beschrieben sind, da diese variieren können. Es versteht sich des Weiteren, dass die vorliegend verwendete Terminologie ausschließlich dem Zweck der Beschreibung besonderer Ausführungsformen dient und nicht den Schutzzumfang der Erfindung einschränken soll. Wie vorliegend in der Spezifikation einschließlich der anhängigen Ansprüche verwendet, schließen Wortformen im Singular, wie z. B. "ein", "eine", "einer", "der", "die" oder "das" die Entsprechung im Plural ein, sofern der Kontext nicht eindeutig etwas anderes vorgibt.

[0051] Im Folgenden soll die Erfindung an Hand von Figuren und Ausführungsbeispielen beispielhaft näher beschrieben werden. Es zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung bei der ein Festkörper 12 zwischen zwei Elektroden 14, 16 angeordnet ist;

Fig. 2 eine erfindungsgemäße Vorrichtung bei der zwei Elektroden 14, 16 parallel auf einer Seite eines Festkörpers 12 angeordnet sind;

Fig. 3 Temperaturprofile in einem Festkörper 12 in einer mittleren Ebene bei verschiedenen Temperaturen gemäß Beispiel 1;

- Fig. 4 die Abnahme des normierten Wasseranteils im Verlaufe der Zeit und mit steigender Temperatur in einem Festkörper 12 gemäß Beispiel 1;
- Fig. 5 Temperaturprofile in einem Festkörper 12 in einer mittleren Ebene bei verschiedenen Temperaturen gemäß Beispiel 2;
- Fig. 6 die Abnahme des normierten Wasseranteils im Verlaufe der Zeit und mit steigender Temperatur in einem Festkörper 12 gemäß Beispiel 2;
- Fig. 7 Adsorptionsisothermen von Wasser an drei verschiedenen Substanzen 22; und
- Fig. 8 eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit einer Fördereinrichtung für den Feststoff 12 zwischen den Elektroden 14, 16.

[0052] Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung bei der ein Festkörper 12 zwischen zwei Plattenelektroden 14, 16 angeordnet ist. Somit befindet sich der Festkörper 12 zumindest teilweise im Einflussbereich der Elektroden 14, 16. Die beiden Elektroden 14, 16 weisen jeweils eine erste Seite 15 und eine zweite Seite 17 auf, wobei die erste Seite 15 mit dem Festkörper 12 eine Grenzfläche 20 ausbildet. Auf der zweiten Seite 17 mindestens einer Elektrode 16 ist ein Behälter 34 angeordnet, der mit einer adsorbierenden Substanz 22 gefüllt ist. Vorzugsweise ist zumindest die Elektrode 16 perforiert, als Netzelektrode oder anderweitig für Gas durchlässig ausgelegt.

[0053] Die adsorbierende Substanz 22 ist geeignet, eine Flüssigkeit 10 und/oder einen Schadstoff 11 zu adsorbieren, welche durch die dielektrische Erwärmung des Festkörpers 12, die wiederum mittels der Elektroden 14, 16 realisiert wird, aus dem Festkörper 12 freigesetzt wurden. Das Adsorptionsmittel 22 liegt hier in Partikelform mit einer Korngröße von ca. 3 mm als Schüttung in dem Behälter 34 vor. Der Behälter 34 ist als käfigartiger Behälter 34 (auch als Struktur bezeichnet) ausgestaltet, damit die Flüssigkeit 10 und/oder der Schadstoff 11 leicht in den Behälter 34 einströmen kann und dann von dem Adsorptionsmittel 22 adsorbiert wird. Im Inneren des Behälters 34 ist ein Mittel 36 zur Bestimmung des Beladungszustands des Adsorptionsmittels 22 mit der Flüssigkeit 10 und/oder dem Schadstoff 11 angeordnet. Nach Überschreiten eines vorher festgelegten Grenzwertes wird von dem Bestimmungsmittel 36 ein Signal ausgesandt, das anzeigt, dass das Adsorptionsmittel 22 ausgetauscht werden muss. Dadurch ist immer eine ausreichende Menge an unbeladenem oder nicht vollständig beladenem Adsorptionsmittel 22 vorhanden.

[0054] In dem Festkörper 12 sind faseroptische Temperatursensoren 24 angeordnet, die mit einer Auswerteeinheit 26 verbunden sind. Die Temperatursensoren 24 überwachen die Temperatur des Festkörpers 12 während der dielektrischen Erwärmung, so dass der Pro-

zessverlauf beobachtet wird und beispielsweise lokale Überhitzungen vermieden werden. Vorteilhafterweise sind weitere Sensoren 28 vorgesehen, die den Feuchtigkeitsgrad bzw. den Kontaminationszustand des Festkörpers 12 oder auch die Temperatur an zusätzlichen Messpunkten registrieren. Die weiteren Sensoren 28 sind ebenfalls mit der Auswerteeinheit 26 oder optional einer weiteren Auswerteeinheit verbunden.

[0055] Die Elektroden 14, 16 sind über ein elektronisches Anpassnetzwerk 32 mit einem Mittel 18 zur Einspeisung hochfrequenter Spannung verbunden. Bei dem Einspeisungsmittel 18 handelt es sich vorzugsweise um einen HF-Generator. Mit Hilfe eines elektronischen Anpassnetzwerkes 32 werden der Innenwiderstand des HF-Generators 18 und die variable Impedanz des Festkörpers 12 auf Grund der sich verändernden Temperatur und schwankender Feuchtigkeits- und/oder Schadstoffgehalte aufeinander abgestimmt. Die Steuerung der Vorrichtung erfolgt mittels eines Steuerungsmittels 30. Bei dem Steuerungsmittel 30 handelt es sich vorzugsweise um einen Personalcomputer (PC) mit Prozessleitsystem, der mit dem HF-Generator 18 und der Auswerteeinheit 26 verbunden ist.

[0056] Fig. 2 zeigt eine alternative Anordnung der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Bezugszeichen gelten analog. Die Plattenelektroden 14, 16 sind in dieser Ausführungsform nebeneinander in einer Ebene angeordnet. Zumindest eine der Elektroden 14, 16 ist perforiert, als Netzelektrode oder anderweitig für Gas durchlässig ausgelegt. Die erste Seite 15 der Plattenelektroden 14, 16 weist in Richtung des Festkörpers 12 und bildet die Grenzfläche 20 aus (nicht gezeigt). Auf der zweiten Seite 17 der Elektroden 14, 16 ist der käfigartige Behälter 34 mit dem Adsorptionsmittel 22 angeordnet. Das Adsorptionsmittel 22 ist geeignet, die Flüssigkeit 10 und/oder den Schadstoff 11 zu adsorbieren. Die Temperatur des Festkörpers 12 wird über Temperatursensoren 24 überwacht und die Daten werden von einer Auswerteeinheit 26 an den PC mit Prozessleittechnik 30 weitergegeben. Vorzugsweise sind weitere Sensoren 28 vorgesehen, die Temperaturen oder den Feuchtigkeits- 10 und/oder Schadstoffgehalt 11 des Festkörpers 12 überwachen und die Daten über die Auswerteeinheit 26 ebenfalls an den PC 30 mit Prozessleittechnik weitergeben. Der PC steuert den HF-Generator 18 und damit die dielektrische Erwärmung, wobei über ein elektronisches Anpassnetzwerk 32 ein optimaler Energietransfer vom HF-Generator 18 an den Festkörper 12 bei sich verändernder Feuchte realisiert wird.

[0057] Die Elektrodenform und -anordnung können für die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten der erfindungsgemäßen Vorrichtung so variiert werden, dass auch kompliziert geformte Bauteile und Holzkonstruktionen effektiv erwärmt werden können. Die Vorrichtung wird vorzugsweise so angelegt, dass ein möglichst homogener Energieeintrag in den Festkörper 12 realisiert werden kann und somit ein Temperaturprofil mit geringen Gradienten entsteht. Prinzipiell unterscheiden sich die An-

ordnungen für die Anwendungen Trocknung, Dekontamination und Bekämpfung von Schädlingen nicht wesentlich.

Beispiel 1

[0058] Die erfindungsgemäße Vorrichtung wurde an einem Festkörperblock 12 (50 cm x 50 cm x 20 cm) aus Sandstein mit einer Anfangsfeuchte von ca. 4,5 Ma.-% getestet. Der Steinblock 12 wurde beidseitig mit massiven Plattenelektroden 14, 16 aus Kupferblech versehen. Diese enthielten auf einer Seite Löcher (Durchmesser ca. 5 mm) für die Durchführung von faseroptischen Temperatursensoren 24, mit denen der Temperaturverlauf im Steinblock 12 kontinuierlich verfolgt werden konnte. Zur dielektrischen Erwärmung kam ein HF-Generator 18 mit 5 kW Maximalleistung und einer konstanten Arbeitsfrequenz von 13,56 MHz zu Einsatz. Die während der Aufheizphase kontinuierlich eingebrachte HF-Leistung betrug 1,3 kW. Nach dem Erreichen einer mittleren Temperatur von 105 °C wurde diese konstant gehalten, indem die Leistung nur noch temporär eingebracht wurde. Als adsorbierende Substanz 22 im Behälter 34 wurde eine Schüttung von Zeolith 13X mit einer mittleren Korngröße von 3 mm verwendet.

[0059] Die Temperaturprofile in einer mittleren Ebene im Steinblock sind in Fig. 3 für unterschiedliche Phasen des Versuches dargestellt. Die bei höheren Temperaturen zum Rand des Steines 12 hin auftretenden Temperaturgradienten sind vor allem auf die fehlende thermische Isolierung zurückzuführen. Während der Erwärmung wurde kontinuierlich das Gewicht des Steines 12 bestimmt, der auf einer Waage positioniert war. Fig. 4 zeigt die Abnahme des normierten Wassergehalts, gemessen als Gewichtsabnahme infolge der Trocknung, in Korrelation mit der mittleren Temperatur des Steines 12 während der Trocknung. Im Verlaufe des Versuches wurde ein Trocknungsgrad von etwa 94 % erreicht. Es ist zu beachten, dass die erreichte Endfeuchte unter Umständen nicht der Ausgleichsfeuchte entspricht, die bei einer praktischen Anwendung anzustreben ist. Um Schäden am Material zu vermeiden, ist möglicherweise dann ein geringerer Wasseraustrag anzustreben und die Trocknung wäre somit eher abzubrechen. Erwartungsgemäß war mit Erreichen einer Temperatur von 100 °C im Festkörperstein 12 ein deutlicher Anstieg der Wasseraustragsrate um etwa den Faktor 4 zu verzeichnen. Der energetische Wirkungsgrad, also die Effizienz der Umwandlung von HF-Energie in Wärme im Sandstein 12 lag bei diesem Versuch bei 91 %. Durch eine verbesserte thermische Isolierung könnte dieser Wert noch erhöht werden.

Beispiel 2

[0060] Im Beispiel 2 wurde mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ein Festkörper 12 aus demselben Material wie in Beispiel 1 mit Hilfe von Gitternetzelektroden

14, 16 getrocknet. Die Gitternetzelektroden 14, 16 wurden als Edelstahlnetz mit einer Maschenweite von ca. 6 mm ausgestaltet. Diese Auslegung der Elektroden 14, 16 bietet beim praktischen Einsatz eine höhere Flexibilität und kann der äußeren Form des Festkörpers 12 einfacher angepasst werden. Die HF-Erwärmung und die Messwerterfassung erfolgten in analoger Weise zu Beispiel 1. Die eingebrachte Leistung betrug 1,6 kW. Fig. 5 zeigt die Temperaturprofile zu verschiedenen Zeiten des Versuchs auf einer mittleren Ebene im Festkörper 12. Fig. 6 stellt den Verlauf der Trocknung des Steinblocks 12 mit der Entwicklung der mittleren Temperatur während des Versuches dar. Der erzielte Trocknungsgrad lag bei ca. 91 % und die Energieeffizienz, d.h. der Wirkungsgrad, lag bei 89 %. Beide Werte liegen für diese Elektrodenform im selben Bereich wie für massive Kupferelektroden, was die Flexibilität hinsichtlich der Elektrodenauslegung unterstreicht.

[0061] Das Potenzial der Verwendung von verschiedenen Adsorbermaterialien 22 zur Bindung des aus dem Mauerwerk bzw. einem anderen Festkörper 12 entfernten Wassers 10 (wie in den Beispielen 1 und 2 demonstriert) wird in Fig. 7 veranschaulicht. Hier ist die Gleichgewichtsadsorption von Wasser an drei unterschiedlichen Zeolithen vom Typ 3A, 5A bzw. 13X für verschiedene Wasser-Partialdrücke angegeben. Die Wasseradsorption ist in Milliliter Wasser pro Gramm Adsorbermaterial angegeben. Derartige Kurven werden als Adsorptionsisothermen bezeichnet und sind der Fachliteratur auch für das Bindungsvermögen von organischen Schadstoffen 11 an Zeolithen oder anderen potenziellen Adsorbermaterialien 22 wie Aktivkohle oder Silikagele zu entnehmen. Je nach Anwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann der Fachmann die adsorptive Substanz 22 dann entsprechend auswählen.

[0062] In Fig. 8 wird eine Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung dargestellt, bei der das zu behandelnde Material 12 mittels einer Fördereinrichtung 40 zwischen den Elektroden 14, 16 derart hindurchbewegt wird, dass sich das Material 12 zumindest zeitweise im Wirkungsbereich der mindestens einen Elektrode 14, 16 befindet. Bevorzugt wird das Material vor der Behandlung mittels einer geeigneten, besonders bevorzugt trichterförmigen Einrichtung 50 auf die Fördereinrichtung 40 aufgebracht. Bevorzugt ist das Sammeln des Materials 12 nach der Behandlung mit einer entsprechenden Einrichtung 52. In einer bevorzugten Variante wird die Oberflächentemperatur des Materials 14 mittels eines Sensors 46 vorzugsweise kontinuierlich gemessen. Vorzugsweise wird das Material 14 während der Bewegung mittels der Fördereinrichtung 40 von einem Gasstrom 42 derart durchströmt, dass die freigesetzten Stoffe 10, 12 durch diesen aufgenommen werden. Der Sensor ist vorzugsweise mit einer Auswerteeinheit 26 verbunden. Die Einspeisung der HF-Energie wird wie bei den anderen Varianten durch eine HF-Spannungsquelle 18, die vorzugsweise über ein elektronisches Anpassnetzwerk 32 mit den Elektroden 14, 16 verbunden ist, realisiert. Die

Fördereinrichtung 40 ist vorzugsweise für die Durchströmung zumindest teilweise perforiert. In einer besonders bevorzugten Variante durchströmt der Gasstrom 42 nach der Aufnahme der Komponenten 10, 12 einen Feststoff 22, der sich in einem geeigneten, zumindest teilweise offenen Behälter 34 befindet. Vorzugsweise weist das Material zur Aufnahme der freigesetzten Stoffe 22 auch eine Komponente 44 auf, die unter geeigneten Randbedingungen (z.B. Temperatur) in der Lage ist, Schadstoffe 11 unschädlich zu machen.

Bezugszeichenliste

[0063]

10	Wasser (Flüssigkeit)	15
11	Schadstoff	
12	Festkörper/Feststoff	20
14, 16	Elektrode	
15	erste Seite	25
17	zweite Seite	
18	Mittel zur Einspeisung von HF-Energie	
20	Grenzfläche/Übergangsbereich	30
22	Substanz zur Aufnahme von freigesetzter Flüssigkeit/Schadstoff	
24	Temperatursensor	35
26	Auswerteeinheit	
28	Flüssigkeit-/Schadstoff- oder Temperatursensoren	40
30	Steuerungsmittel	
32	elektronisches Anpassnetzwerk	45
34	Behälter/ Struktur	
36	Mittel zur Bestimmung der Adsorberbeladung	
40	Fördereinrichtung	50
42	Gasstrom	
44	Mittel zur reaktiven Gasreinigung	
46	Infrarotsensor/Infrarotkamera	55
50	Mittel zum Ausbringen des zu behandelnden	

Materials

- 52 Mittel zum Sammeln des behandelten Materials

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Trocknung und/oder Dekontamination eines Feststoffes (12), der mindestens eine Flüssigkeit (10) und/oder einen Schadstoff (11) enthält, aufweisend
 - mindestens eine Elektrode (14, 16), aufweisend eine erste Seite (15) und eine zweite Seite (17), wobei die erste Seite (15) freiliegt und einen äußeren Teil der Vorrichtung ausbildet und die mindestens eine Elektrode (14, 16) mit einem Einspeisungsmittel (18) zur Einspeisung einer hochfrequenten Spannung verbunden ist,
 - eine Struktur (34) aufweisend eine Substanz (22), die geeignet ist, eine Flüssigkeit (10) und/oder einen Schadstoff (11) aufzunehmen, wobei die Struktur (34) derart angeordnet und ausgebildet ist, dass ein Stofffluss vom zu behandelnden Feststoff (12) zur Struktur (34) gestattet ist,
 - mindestens ein Steuerungsmittel (30) zur Steuerung des Einspeisungsmittels (18) zur Einspeisung der hochfrequenten Spannung, wobei das Steuerungsmittel (30) mit dem Einspeisungsmittel (18) verbunden ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich mindestens ein Temperatursensor (24) vorgesehen ist, der geeignet ist, die Temperatur des Festkörpers (12) zu bestimmen, wobei der Temperatursensor (24) mit einer Auswerteeinheit (26) verbunden ist.
3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Festkörper (12) ein Textil, ein Lebensmittel, ein Baumaterial, Holz, Sand, Lehm, Kies, Zement, Beton, Ziegel, Gips, Gipskarton, eine Mischung aus den vorgenannten Materialien, ein Mauerwerk oder ein anderes zumindest teilweise mineralisches Material ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Fördereinrichtung (40) zum Hindurchführen des Feststoffes (12), der vorzugsweise in partikulärer Form vorliegt, zwischen den Elektroden (14, 16) vorgesehen ist.
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** Mittel zum Erzeugen eines zusätzlichen Gasstroms (42) und zum Abführen der aus dem Feststoff (12) frei-

gesetzten Substanzen (10, 11) vorgesehen sind und/oder dass die aus dem Feststoff (12) freigesetzten Schadstoffe (11) einem Mittel zur reaktiven Gasreinigung (44) zugeführt werden.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Flüssigkeit (10) ein organisches oder anorganisches Lösungsmittel, vorzugsweise ein organisches oder anorganisches polares Lösungsmittel, besonders bevorzugt Wasser ist und/oder dass der Schadstoff (11) ein Kohlenwasserstoff oder ein halogener Kohlenwasserstoff, vorzugsweise ein Mineralölkohlenwasserstoff, ein organisches Lösungsmittel, ein Bestandteil von Anstrichstoffen, Flammschutzmitteln, Holzschutzmitteln und anderen Substanzen, die dem Schutz von Baumaterialien gegenüber Schädlingen dienen, oder ein Gemisch von mindestens zwei dieser Komponenten ist. 5
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Substanz (22) ein adsorbierendes Material ist, vorzugsweise ein poröses Material, insbesondere ein γ -Aluminiumoxid, Silikagel, Aktivkohle, ein Zeolith oder eine Mischung daraus, besonders bevorzugt ein hydrophiler Zeolith, insbesondere ein NaY-, NaX-, KA-, NaA- oder CaA-Zeolith oder ein hydrophober Zeolith, vorzugsweise ein dealuminierter Y-Zeolith mit hohem Si/Al-Verhältnis, ist. 10
8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Einspeisungsmittel (18) zur Einspeisung einer hochfrequenten Spannung ein Hochfrequenz- (HF-) Generator ist, vorzugsweise ein HF-Generator, der HF-Strahlung im Bereich von 100 kHz bis 500 MHz, vorzugsweise im Bereich von 1 MHz bis 50 MHz und besonders bevorzugt im Bereich von 1 MHz bis 30 MHz erzeugt. 15
9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Elektrode (14, 16) eine räumliche Ausdehnung im Bereich von 0,1 bis 10 m², besonders bevorzugt 0,5 bis 2 m², aufweist. 20
10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Elektrode (14, 16) eine Plattenelektrode ist. 25
11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Elektrode (14, 16) für die mindestens eine Flüssigkeit (10) und/oder den Schadstoff (11) permeabel, vorzugsweise perforiert ausgebildet ist oder eine Netzelektrode ist. 30

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung zwei Elektroden (14, 16) aufweist, wobei vorzugsweise eine der zwei Elektroden (14, 16) eine kalte, geerdete Elektrode (14) ist und eine der zwei Elektroden (14, 16) eine heiße Elektrode (16) ist. 35

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Elektroden (14, 16) nebeneinander angeordnet sind, wobei die ersten Seiten (15) der Elektroden (14, 16) in einer Ebene liegen und die Elektroden (14, 16) auf derselben Seite des Festkörpers (12) angeordnet sind. 40

14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem Einspeisungsmittel (18) zur Einspeisung einer hochfrequenten Spannung und der mindestens einen Elektrode (14, 16) ein elektronisches Anpassnetzwerk (32) angeordnet ist. 45

15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vorrichtung Bestimmungsmittel (36) zur Bestimmung der Beladung der Substanz (22) in Bezug auf die Flüssigkeit (10) und/oder den Schadstoff (11) aufweist und/oder dass ein Wärmetauscher zur Nutzung der Energie des abgeführten Gasstromes (42) und/oder der Adsorptions- und/oder Reaktionswärme bei der Wechselwirkung mit der adsorbierenden Substanz (22) oder einem Katalysator für die Erwärmung des Feststoffes (12) vorgesehen ist. 50

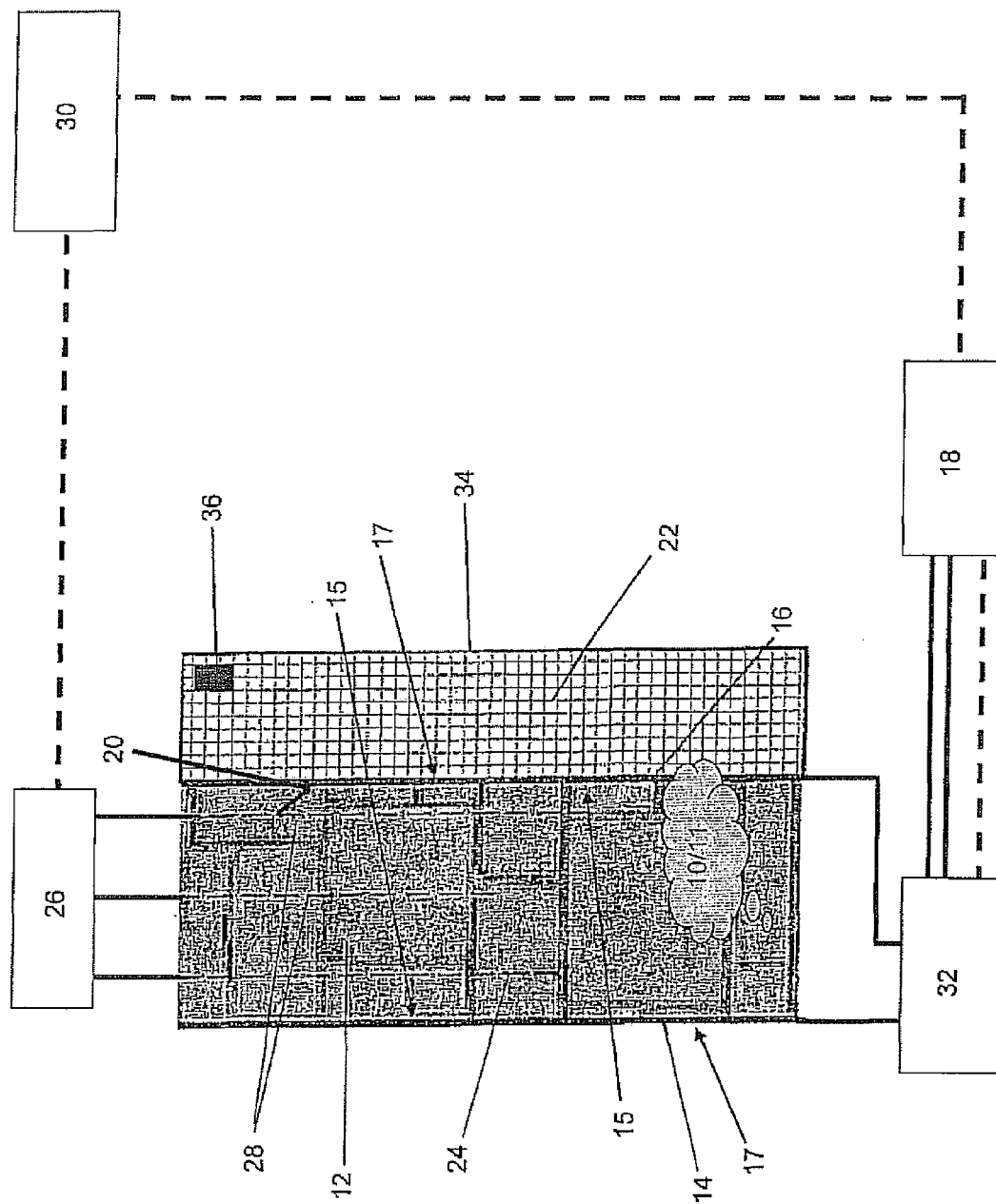


Fig. 1

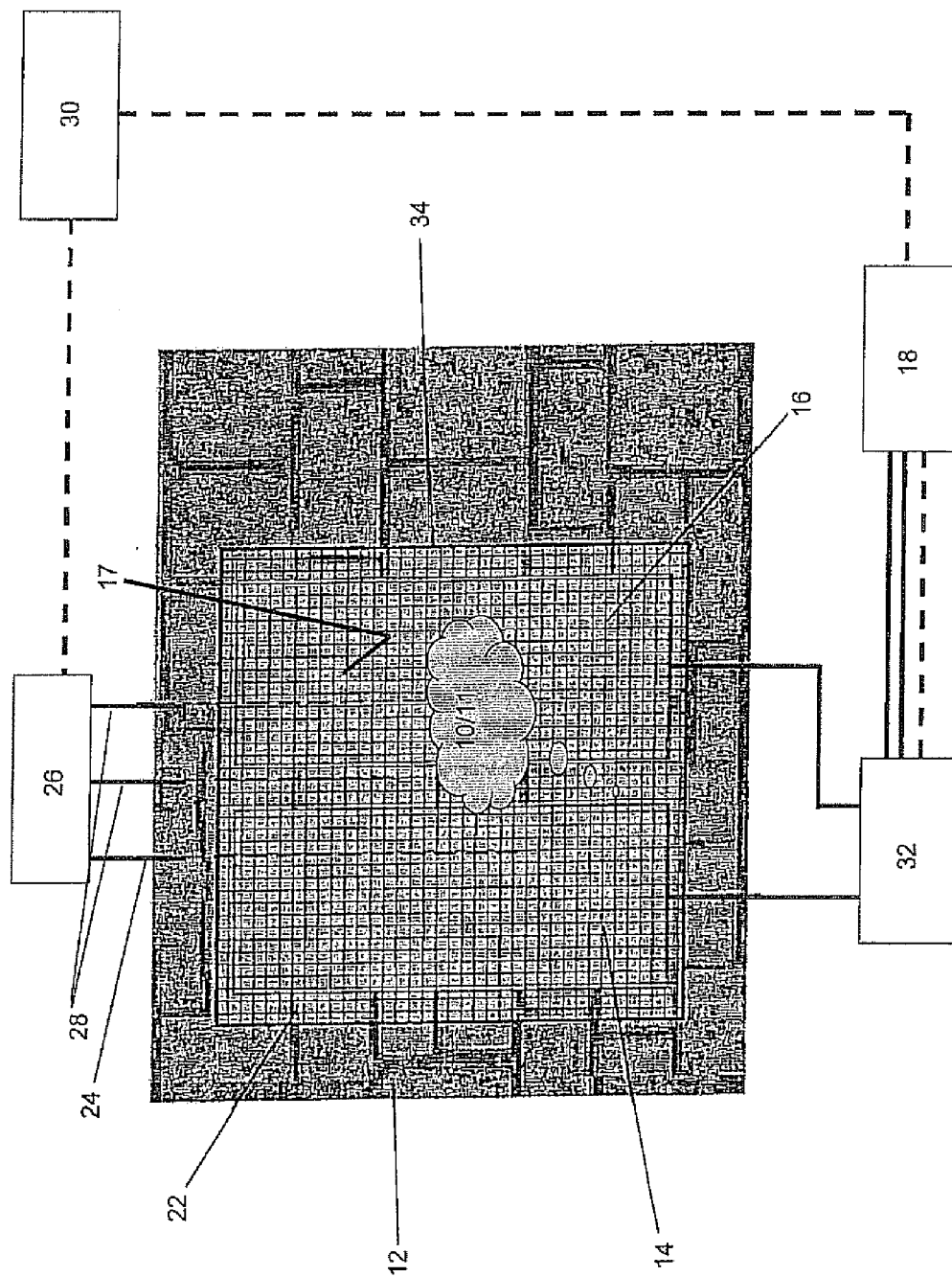


Fig. 2

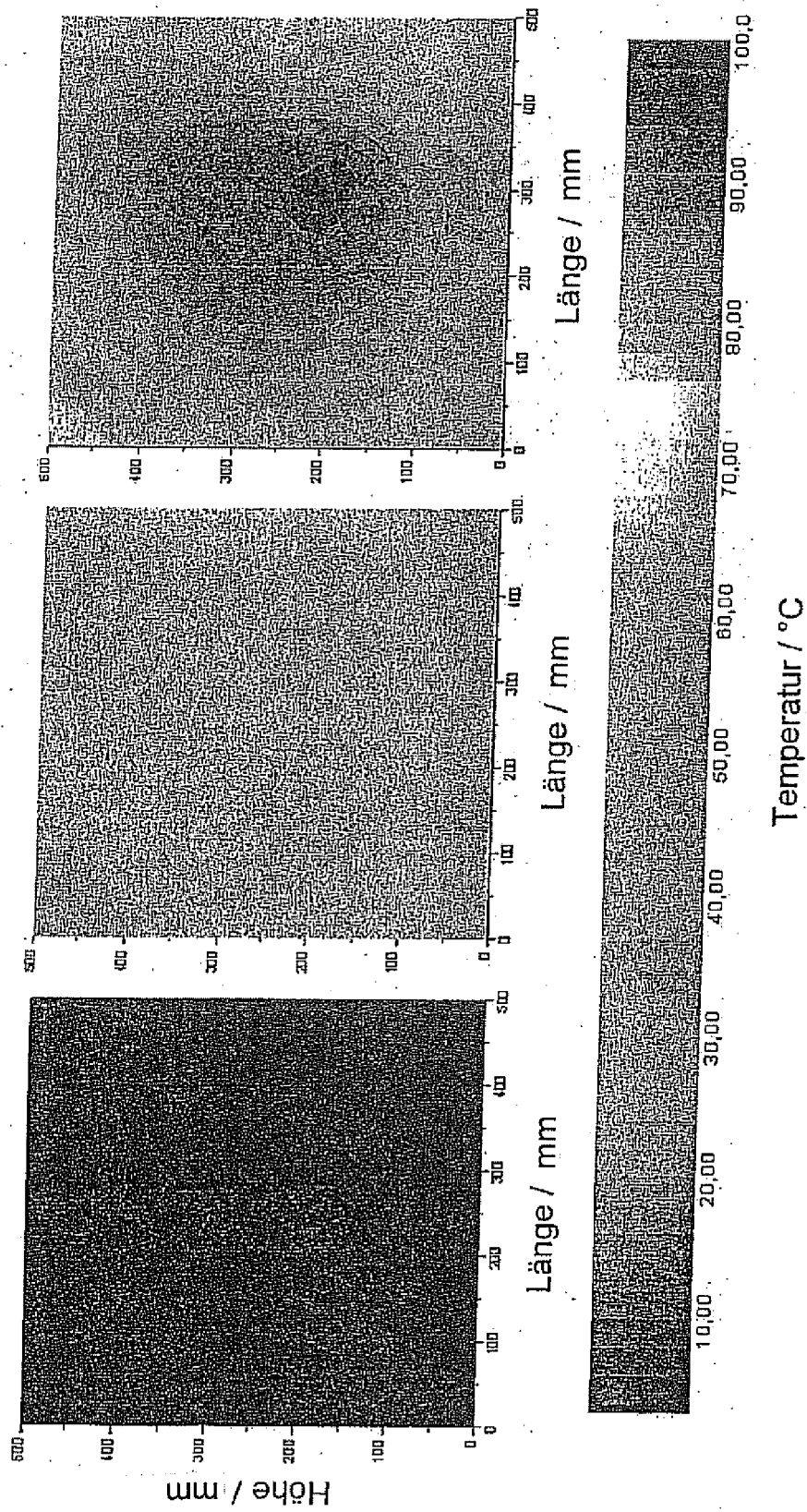


Fig. 3

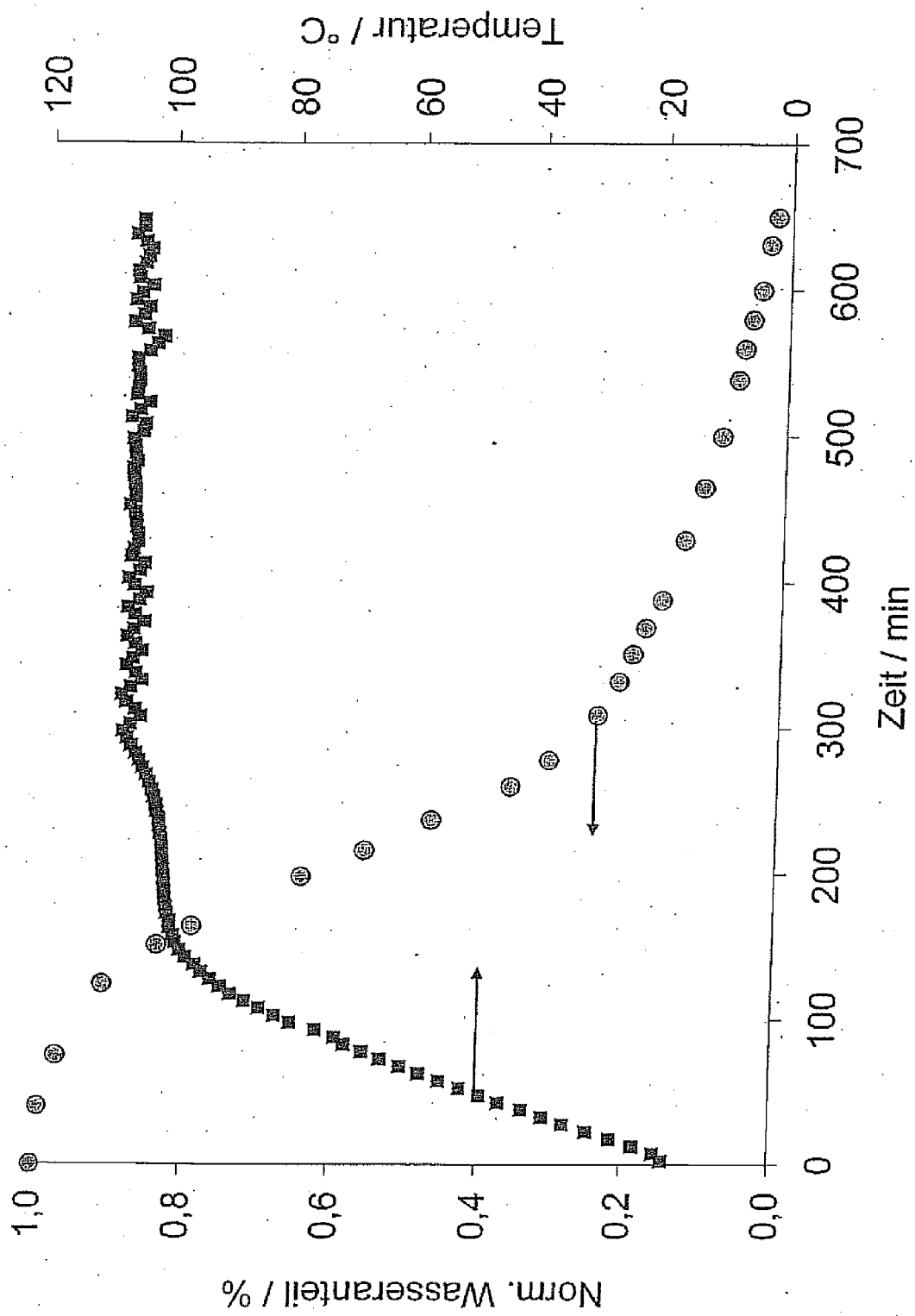


Fig. 4

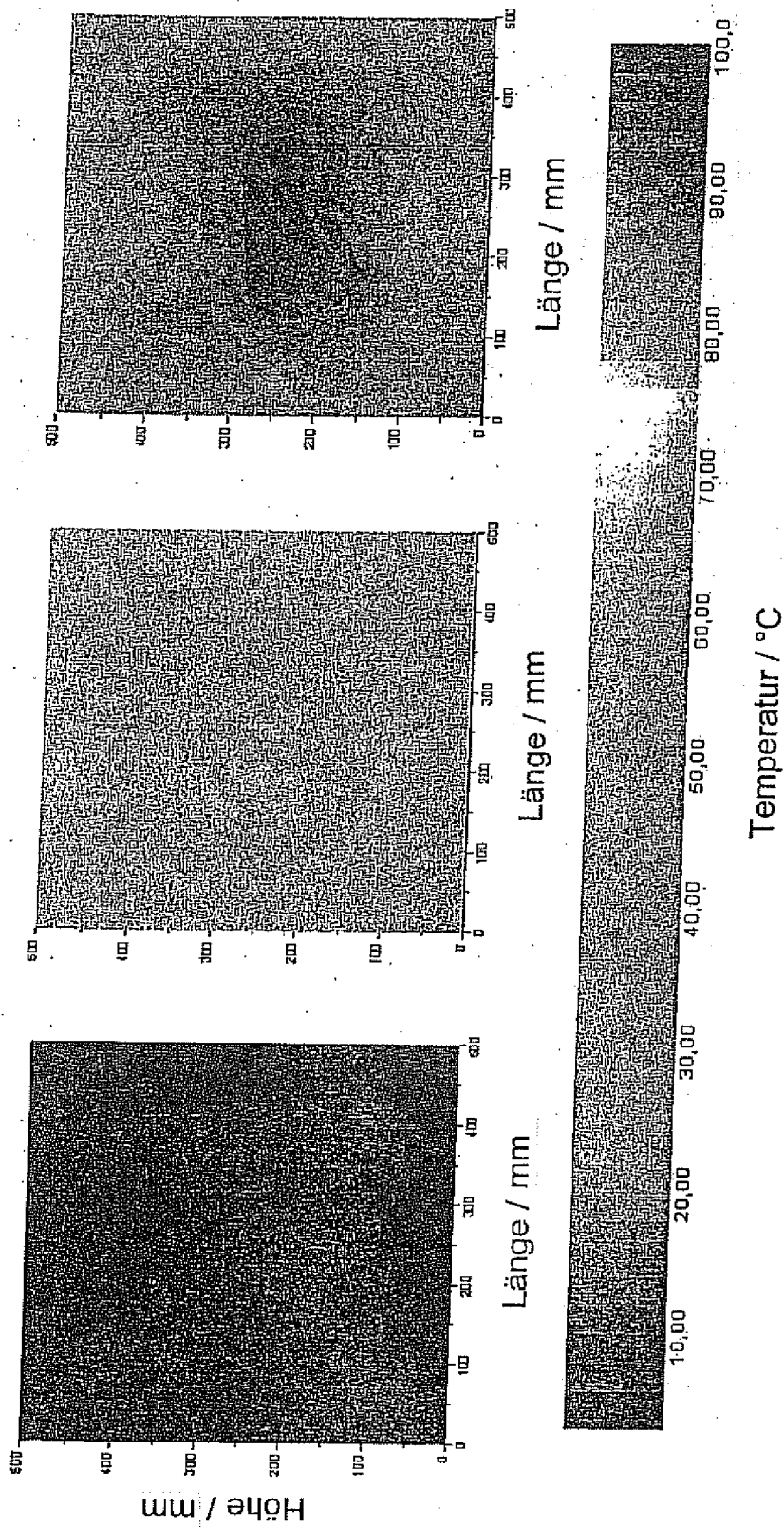


Fig. 5

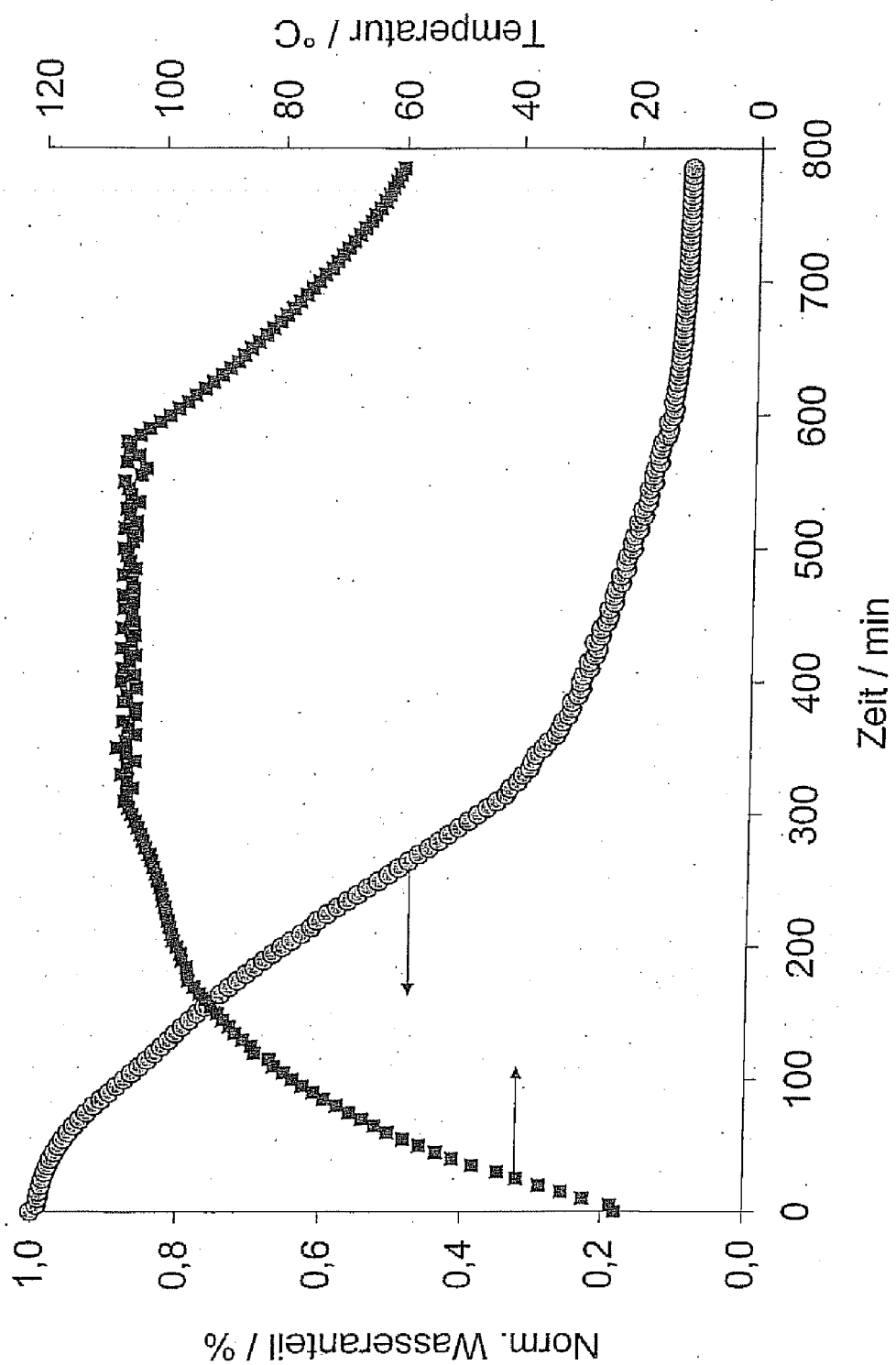


Fig. 6

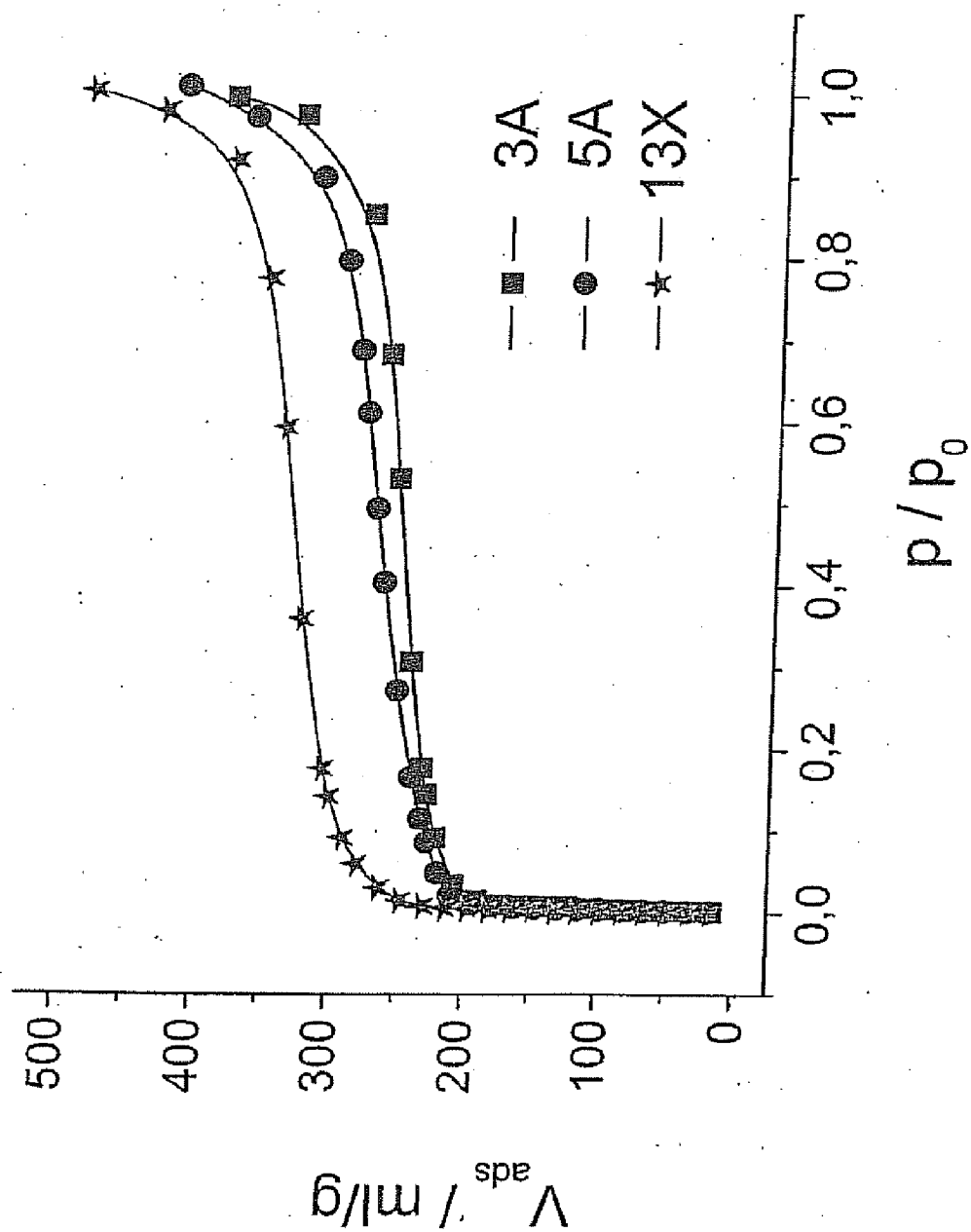


Fig. 7

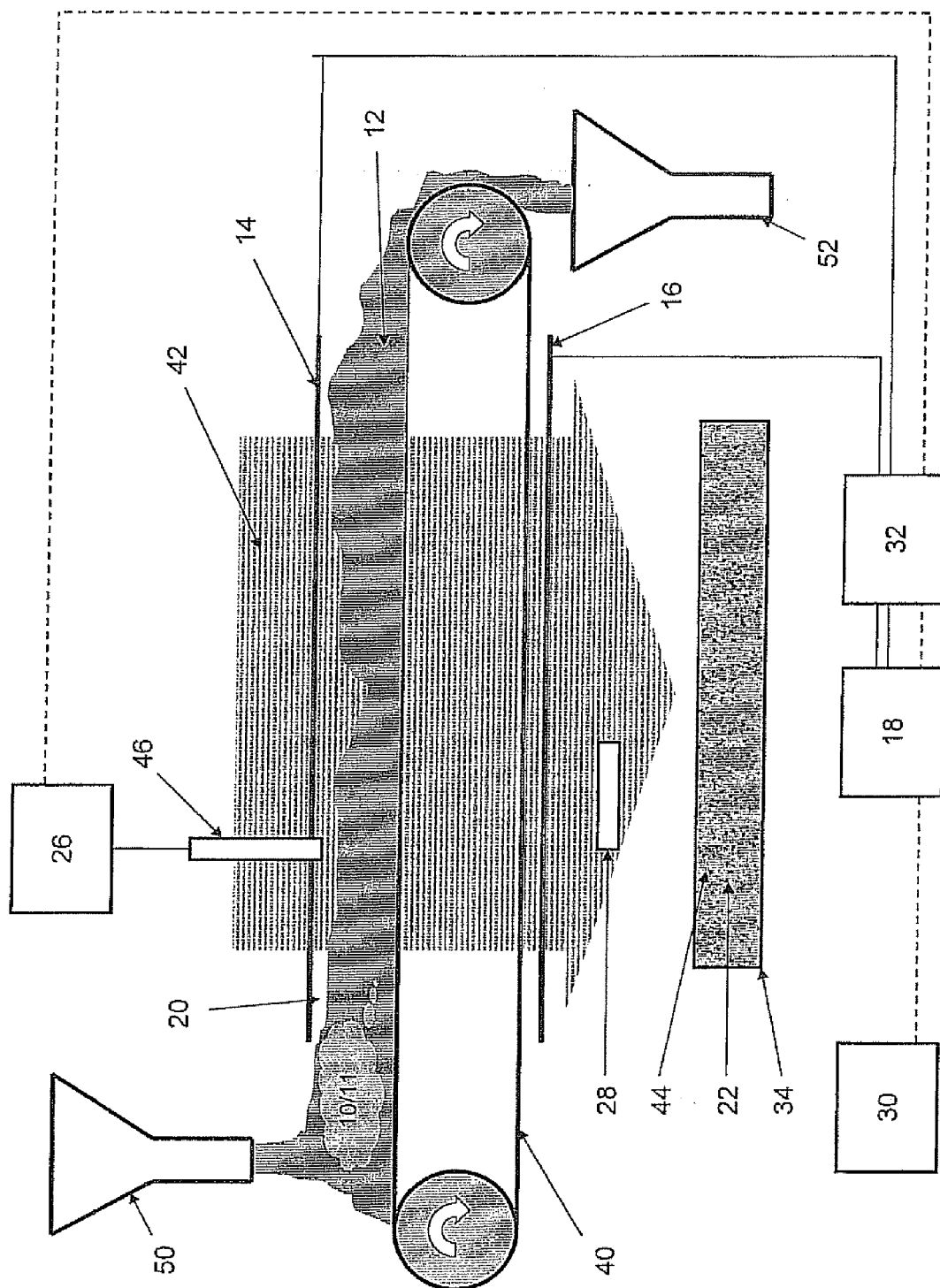


Fig. 8