

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
15. Januar 2009 (15.01.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2009/006993 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
C02F 1/467 (2006.01)

(74) Gemeinsamer Vertreter: **FORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE GMBH**; Stabsabteilung Innovation, Post-  
fach 36 40, 76021 Karlsruhe (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/004975

(22) Internationales Anmeldedatum:  
20. Juni 2008 (20.06.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2007 031 984.5 10. Juli 2007 (10.07.2007) DE

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,  
CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE,  
EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID,  
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC,  
LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN,  
MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,  
PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV,  
SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN,  
ZA, ZM, ZW.

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme  
von US): **FORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE  
GMBH** [DE/DE]; Weberstrasse 5, 76133 Karlsruhe (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BLUHM, Han-  
sjoachim** [DE/DE]; Nibelungenring 61, 76297 Stutensee  
(DE). **GUPTA, Suryakant** [IN/DE]; Schützenstrasse 110,  
76137 Karlsruhe (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,  
MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF,  
BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN,  
TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: REACTOR FOR DISINFECTING LIQUIDS CONTAMINATED WITH BACTERIA BY USING HIGH-VOLTAGE  
PULSE TECHNOLOGY AND METHOD THEREFOR

(54) Bezeichnung: REAKTOR ZUR HOCHSPANNUNGSIMPULSTECHNISCHEN DESINFEKTION BAKTERIENVER-  
SEUCHTER FLÜSSIGKEITEN UND VERFAHREN DAZU

(57) Abstract: A reactor for disinfecting liquids contaminated with bacteria by using high-voltage pulse technology is presented:  
it has a convex, simple-polygonal or round cross section and a parallel electrode arrangement comprising two electrode strips which  
are opposite each other perpendicularly and mirror-invertedly with respect to the longitudinal axis and are electrically insulated from  
each other. One electrode is connected to an electrical reference potential and the other, the high-voltage electrode, is connected  
to an electrical high-voltage potential that can be set in terms of duration and level. Or the electrode arrangement is of a coaxial  
construction with inner and outer conductors. On the electrode that can be subjected to high-voltage potential there is a ceramic  
layer 100 to 300 µm thick. The two electrodes are opposite each other with a maximum distance between them such that, when  
high-voltage potential is applied, it is certain that no spark-over forms between the two electrodes as a result of the high voltage, but  
with a minimum distance between them such that, while the high-voltage electrode is under the electrical high-voltage potential, the  
formation of a maximum field strength of at least 1 MV/cm occurs on the exposed surface of the ceramic layer without a spark-over.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Reaktor zur hochspannungsimpulstechnischen Desinfektion bakterienverseuchter Flüssigkei-  
ten vorgestellt: Er hat einem konvexen, einfach polygonalem oder rundem Querschnitt und eine parallele Elektrodenanordnung aus  
zwei sich senkrecht und bezüglich der Längsachse spiegelbildlich gegenüberstehenden, elektrisch voneinander isolierten Elektroden-  
bändern. Eine Elektrode ist an ein elektrisches Bezugspotential und die andere, die Hochspannungselektrode, an ein in der Zeitdauer  
und Höhe einstellbares elektrisches Hochspannungspotential angeschlossen. Oder die Elektrodenanordnung ist coaxial mit Innen-  
und Außenleiter aufgebaut. Auf der mit Hochspannungspotential beaufschlagbaren Elektrode befindet sich eine 100 bis 300 µm di-  
cke Keramikschicht. Beide Elektroden stehen sich mit einem derartigen Höchstabstand gegenüber, dass sich bei Beaufschlagung mit  
Hochspannungspotential durch die Hochspannung zwischen den beiden Elektroden in jedem Fall kein Funkenüberschlag ausbildet,  
aber auch mit einem Mindestabstand derart, dass es an der exponierten Oberfläche der Keramikschicht während des Anstehens des  
elektrischen Hochspannungspotentials an der Hochspannungselektrode zur Ausbildung einer Maximalfeldstärke von mindestens 1  
MV/cm ohne Funkenüberschlag kommt.

WO 2009/006993 A2



**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts*

## Reaktor zur hochspannungsimpulstechnischen Desinfektion bakterienverseuchter Flüssigkeiten und Verfahren dazu

Die Erfindung betrifft einen .Reaktor zur hochspannungsimpulstechnischen Desinfektion bakterienverseuchter Flüssigkeiten und ein Verfahren zum Betreiben des Reaktors.

Zur Wasserdesinfektion werden heute überwiegend Chlor und seine Verbindungen eingesetzt. Dabei können sich gesundheitsschädliche chemische Nebenprodukte bilden, die schwierig biologisch abzubauen sind. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn das belastete Wasser erhebliche Mengen organischer Substanzen enthält. Daher werden zunehmend chemische Verfahren zur Wasserdesinfektion durch physikalische Verfahren ersetzt.

Herkömmliche chemische Desinfektionsverfahren können zu unerwünschten toxischen Nebenprodukten, wie Trihalomethan, THM, oder Brom-Chlor-Verbindungen führen. Dies trifft insbesondere dann zu, wenn das Wasser sehr viel organisches Material enthält.

Die Verwendung von Ozon als alleiniges Desinfektionsmittel erfordert sehr hohe Dosen, um eine effektive Desinfektion zu erreichen. Bei Verwendung von Ozon entstehen erheblichen Mengen an toxischen Verbindungen, insbesondere bei Anwesenheit von Bromiden.

Bei der Verwendung von Gamma-, Röntgen- oder Elektronenbestrahlung ist die Effizienz meist sehr gering und die Apparat- und Betriebskosten deshalb sehr hoch, insbesondere auch, weil eine wirksame Strahlenabschirmung erforderlich ist.

UV-Bestrahlung ist in trüben Wässern wegen zu geringer Eindringtiefe nicht effektiv und kann außerdem zu unkontrollierbaren mutagenen Veränderungen des bakteriellen Erbguts führen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Reaktor zur Verfügung zu stellen, mit dem ein hochwirksames, hochspannungsimpulstechnisches Verfahren zur Desinfektion bakteriell verseuchten Wassers, ganz allgemein bakteriell verseuchte Flüssigkeiten, durchgeführt werden kann. Darüber hinaus soll ein solcher Reaktor eine technisch und konstruktiv einfache Einrichtung sein, die ohne zusätzliche periphere Schutz-einrichtungen auskommt.

Die Aufgabe wird durch einen Reaktor mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und dem damit durchführbaren Verfahren gemäß den Verfahrensschritten des Anspruchs V1 gelöst.

Die Erfindung stellt einen Reaktor und ein Verfahren vor, bakteriell verseuchte Flüssigkeiten, insbesondere bakteriell verseuchtes Wasser, mit Hilfe gepulster Unterwasserkoronaentladungen wirksam zu desinfizieren, bzw. Keime darin wirksam abzutöten.

Unterwasserkoronaentladungen wurden bisher hauptsächlich zur Zerstörung komplexer chemischer Substanzen untersucht. Für diese Grundlagenuntersuchungen wurden meist Spitze Platte-Anordnungen herangezogen. Solche Elektrodenkonfigurationen haben kurze Lebensdauern, da die Elektrodenspitzen rasch abbrennen. Auch lassen sich solche Elektrodengeometrien nicht zu den hohen Massendurchsätzen skalieren, die für eine industrielle Nutzung zur Flüssigkeitsdesinfektion erforderliche sind.

Bei der Unterwasserkoronaentladung entsteht ein nichtthermischer Plasmakanal, in der Einrichtung hier: viele nichtthermische Plasmakanäle, in dem die Elektronen Energien von einigen eV erreichen. Elektronen mit diesen Energien können Wassermoleküle spalten/dissoziieren und ionisieren und dadurch verschiedene, sehr reaktive Radikale, wie:  $\cdot\text{OH}$ ,  $\text{H}\cdot$ ,  $\text{O}\cdot$ ,  $\text{HO}_2\cdot$ , und Moleküle:  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  und  $\text{O}_3$ , erzeugen. Zusätzlich ist der Plasmakanal eine Quelle für intensive UV-Strahlung und Stoßwellen, die ihrerseits zur Produktion freier Radikale führen. An der Spitze des Plasmakanals werden elektrische

Felder von mehr als 200 MV/cm erreicht, die die Membran biologischer Zellen durch Elektroporation zerstören. Die Kombination dieser Effekte führt zu einer sehr wirksamen Abtötung von Mikroorganismen/Keimen und darüber hinaus zur Zerstörung toxischer organischer Substanzen in der Flüssigkeit, im Wasser.

Die Erfindung löst das Problem der Spaltung/Keimabtötung durch die Erzeugung einer Vielzahl von Koronakanälen, in der Fachsprache auch Streamerkanäle genannt, an einer mit einer dünnen porösen Keramikschicht beschichteten Anode.

Gemäß Anspruch 1 ist der Reaktor zur hochspannungsimpulstechnischen Desinfektion bakterienverseuchter Flüssigkeiten folgendermaßen aufgebaut:

Er besteht aus einem an seinen beiden Stirnseiten anflanschbaren Rohrabschnitt mit lichtem, einfach polygonalem, mindestens jedoch rechteckigem Querschnitt oder lichtem, einfach konvexem, rundem Querschnitt. Einer bezüglich der Längsachse des Rohrabschnitts parallelen Elektrodenanordnung aus zwei sich senkrecht und bezüglich der Längsachse spiegelbildlich gegenüberstehenden, elektrisch voneinander isolierten Elektrodenbändern über höchstens die Länge des Rohrabschnitts und beim polygonalen Querschnitt über höchstens die Breite der Polygonseite. Die Mantelflächen bei polygonalem Querschnitt sind vorzugsweise eben.

Die eine Elektrode ist an ein elektrisches Bezugspotential, häufig Erdpotential, und die andere, die Hochspannungselektrode, an ein pulsförmiges, in der Zeitdauer und Höhe einstellbares elektrisches Hochspannungspotential anschließbar. Die Hochspannungselektrode ist auf der nach innen exponierten, bzw. zur Gegenelektrode hin exponierten Fläche mit einer porösen Keramikschicht bedeckt.

Der Reaktor kann aber auch aus einer bezüglich der Längsachse des Rohrabschnitts koaxialen/konzentrischen Elektrodenanordnung aus der

zumindest elektrisch leitenden Innenwand, dem Außenleiter, und dem koaxialen Innenleiter bestehen. Dann ist einer von beiden, vorzugsweise der Außenleiter, an ein elektrisches Bezugspotential und der Innenleiter an ein in der Zeitdauer und Höhe einstellbares elektrisches Hochspannungspotential anschließbar. Aber auch bei dieser Bauform ist die Hochspannungselektrode auf der zur gegenüberliegenden Elektrode exponierten Fläche mit einer porösen Keramikschiicht, wie oben beschrieben, bedeckt. In allen Bauformen liegt die Schichtdicke der porösen Keramikschiicht im Bereich von 100 bis 300  $\mu\text{m}$ . Dabei haben die beiden Elektroden einen Abstand derart zueinander, dass an der exponierten Oberfläche der Keramikschiicht während des Anstehens des elektrischen Hochspannungspotentials an der Hochspannungselektrode eine elektrische Feldstärke von mindestens 1 MV/cm ohne Funkenüberschlag besteht. Hiermit ist eine rezeptive Anleitung zum elektrotechnischen und baulichen Dimensionieren von Fall zu Fall gegeben, um geplante Durchsatzmengen, wie vorgesehen, prozessieren zu können. Ein Ausführungsbeispiel wird unten beschrieben. Wesentlich ist, dass während der Pulsdauer kein Durchschlag, d. h. ein Kurzschluss, stattfindet. Jedoch sich viele Streamer während des Hochspannungspulses zwischen und entlang des mit zu prozessierender Flüssigkeit aufgefüllten Elektrodenzwischenraums ausbilden.

Elektrisch sind der Hochspannungsimpulsgenerator und der Reaktor einerseits einfach miteinander verbunden. Für eine elektrisch sich dauernd ändernde Last könnten dann unter Umständen elektrische Maßnahmen zum Schutz des Generators vor problematischen Reflexionen notwendig sein. Bei nur mehr sich gering ändernder Last kann ein solcher Reflexionsschutz durch Impedanzanpassung zwischen Generator und Reaktor einfach gelöst werden.

Nützliche Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen 2 bis 6 beschrieben:

Zur Flüssigkeitsein- und Ausleitung ist an den beiden Endbereichen des Reaktorraumes mindestens je ein Anschlussstutzen angebracht. Für

Diagnostik und Analysezwecke sitzt mindestens ein weiterer Anschlussstutzen in der Rohrwand im Reaktorraumbereich (Anspruch 2).

Durch eine Hochspannungsdurchführung in der Rohrwand ist der Innenleiter mit einem Hochspannungsimpulsgenerator verbunden. Die Rohrwand, zumindest die elektrisch leitenden Rohrrinnenwand ist an ein Bezugspotential, meist Erdpotential, angeschlossen, so dass bei Erdpotential umgebende Sicherheitsabschirmungen entfallen können.

Für den Betrieb ist es vorteilhaft, wenn die Keramiksicht zuverlässig an dem inneren Leiter haftet, da bei der Streamerentladung durchweg auch Schockwellen entstehen. Das wird nach Anspruch 4 noch dadurch unterstützt, als die Keramik und das Innenleitermaterial nicht zu verschiedene thermische Ausdehnungskoeffizienten von der Umgebungstemperatur bis zur Betriebstemperatur haben, vorzugsweise sind sie ähnlich bis gleich.

Gegenüber der Prozessflüssigkeit und den durch die Bepulsung entstandenen Reaktionsprodukten muss zumindest die innere Oberfläche des Reaktorraums inert sein, bzw. ist der Reaktor aus solchen Materialien aufgebaut sein (Anspruch 5).

Im Falle koaxialen Elektrodenaufbaus gibt es eine geometrisch umfassendere Bauweise der nur bezüglich der beiden Elektrodenachsen bestehenden Koaxialität und eine engere Bauweise der Elektrodenkoaxialität mit Positionsgleichheit der beiden ähnlichen Querschnitte der Innenelektrode und der lichten Weite der Außenelektrode. Beide Bauweisen des koaxialen, konzentrischen Reaktors sind in Anspruch 6 kennzeichnend beschrieben, und zwar dass im Falle koaxialer, konzentrischer Elektrodenanordnung der lichte Querschnitt der Außenelektrode beliebig zum Querschnitt der Innenelektrode steht, vorzugsweise jedoch der Innenelektrodenquerschnitt durch bezüglich der Längsachse radiale Stauchung aus dem lichten Querschnitt der Außenelektrode hervorgeht und umgekehrt.

Das Verfahren zur hochspannungsimpulstechnischen Desinfektion bakterienverseuchter Flüssigkeiten besteht gemäß Anspruch 7 aus den folgenden Schritten:

Die bakterienverseuchte, zu prozessierende Flüssigkeit wird entweder durch einen rohrförmigen Hohlraum geströmt oder in einen solchen ladungsweise eingeleitet, der gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6 aufgebaut ist. Die sich im Hohlraum gegenüberstehenden Elektroden bilden den lichten Bereich, in dem durch Hochspannungsbepulung einer der beiden Elektroden das für die Prozessierung notwendige gepulste elektrische Feld ausbildet. Die hochspannungsbepulste Elektrode ist diejenige Elektrode, die der porösen Keramikschicht überzogen ist. Die verunreinigte, elektrisch zu prozessierende Flüssigkeit wird im Durchfluss- oder schubweisen Betrieb während eines Hochspannungsimpulses einer dadurch bewirkten Vielzahl von der exponierten Keramikschicht ausgehenden elektrischen Koronaentladungen entlang des potentialmäßig hochliegenden Leiters ausgesetzt. An der potentialmäßig hochliegenden Elektrode wird an der exponierten Keramikoberfläche eine gepulste elektrische Feldstärke von mindestens 1 MV/cm erzeugt, ohne dass ein Funkenüberschlag zur auf Bezugspotential liegenden Gegenelektrode provoziert wird.

In dem abhängigen Verfahrensanspruch 8 werden bewährte Parameterbereiche für einen vorteilhaften und langzeitlichen Betrieb beschrieben. Unter Berücksichtigung des Hochspannungsimpulsgenerators und der Leitungen zum Reaktor liegen die Anstiegszeiten des Hochspannungsimpulses unter 100 ns und die Impulsdauern deutlich über 100 ns, dabei können auch Impulsraten von einigen 10 Hz gefahren werden.

Der Reaktor ist eine koaxiale, längenbegrenzte Elektrodenanordnung. Eine qualitative Vorgabe des Elektrodenabstandes ist die Vermeidung eines einzelnen Funkenüberschlags und damit eines Kurzschusses während der Dauer des Hochspannungsimpulses. Entscheidend ist die vielfache radiale Streamerausbildung oder Büschelentladung im Elektrodenzwischenraum. Der Elektrodenabstand ist durch den erforderlichen Vo-



lumendurchsatz und die daran anzupassende Impulsamplitude gegeben. Bei beispielsweise 100 kV Impulsamplitude und 200 - 300 ns Pulsdauer beträgt der Elektrodenabstand 3 - 5 cm. Da der spezifische Widerstand der Wasserschicht klein gegen den spezifischen Widerstand in der Keramikschicht ist - er ist nur durch die Leitfähigkeit der Flüssigkeit in den Poren der Keramik bestimmt -, fällt ein Großteil der gesamten Pulsspannung über der Keramikschicht ab. Für das Auftreten der Streamer ist eine Feldstärke von mindestens 1MV/cm an der Oberfläche der Keramik erforderlich. Beispielsweise wird das durch einen 50 - 100 kV-Puls bei oben beispielhaft aufgeführtem Elektrodenabstand erreicht.

Als Generator zur Erzeugung der Hochspannungsimpulse ist eine Blumlein-Anordnung geeignet. Alternativ kann eine Kondensatorbank oder ein Marxgenerator als Hochspannungsimpulsquelle eingesetzt werden. Die Impedanz des Generators ist an die Impedanz des Reaktors angepasst, um Reflexionen in den Generator zu vermeiden. Die Impulsrate geht bis zu 10 Hz.

Zur Steigerung der Produktion von Oxidantien während der Bepulsung werden Mikrogasblasen durch den Reaktor geströmt. Sauerstoff und Edelgase sind beispielsweise dazu geeignet.

Die chemischen Reaktionen, die bei den Unterwasserkoronaentladungen entstehen, sind denen bei Elektronenstrahl-, Röntgen- oder Gammastrahl- sowie Ultraschallbehandlung sehr ähnlich. Der Vorteil der Unterwasserkoronaabehandlung besteht in der Kombination mit anderen Effekten, wie UV-Strahlung, Stoßwellen, hohen elektrischen Feldern, die zu einer Effizienzsteigerung führt und in den geringeren Apparate-, und Betriebskosten. Weiter besteht der Vorteil des Desinfektionsverfahrens in den hohen spezifischen Dekontaminationsraten. Experimentelle Ergebnisse mit Bakterien vom Stamm Pseudomasputida ergeben, dass für eine Reduktion der bakteriellen Konzentration um 6 Größenordnungen eine spezifische elektrische Energie von 5,5 kWh/m<sup>3</sup> erforderlich ist. Dieses Ergebnis ist auf die Kombinationswirkung von

Oxidantien, UV-Strahlung, Stoßwellen und starken elektrischen Feldern zurückzuführen, die bei Streamerentladungen erzeugt werden.

Im Folgenden wird die hochspannungsimpulstechnische Unterwasserkoronaentladung zur Desinfektion bakterienverseuchter Flüssigkeiten in einem beispielhaften Reaktor beschrieben. Hierzu werden Figuren mit darin dargestellten technischen Schemata verwendet. Es zeigt:

Figur 1 die Blockdarstellung der Desinfektionsanlage zur Entkeimung;

Figur 2 den Reaktor zur Entkeimung

Figur 3 stirnseitige Aufnahme einer brennenden Unterwasserkoronaentladung im Reaktor.

Die schematische Darstellung in Figur 1 zeigt beispielhaft eine Anlage zur hochspannungsimpulstechnischen Desinfektion einer bakterienverseuchten Flüssigkeit, hier Wasser, die von einer Abwasserleitung eingeleitet wird. Links im Bild ist in Blöcken dargestellt:

Die gesteuerte Stromversorgung, die Einrichtung zur Erzeugung elektrischer Hochspannungsimpulse, hier ein Blumleingenerator, mit Messsensorik, zentral der Reaktor in koaxialer Bauweise, und eine an den Reaktor angeschlossene Analyseeinrichtung zur Untersuchung des Zustandes der zu prozessierenden, bakterienverseuchten Flüssigkeit durch die Einwirkung der Unterwasserkoronaentladungen. Die beiden Ausgänge des Blumleinimpulsgenerators sind mit dem Reaktor verbunden: Der Hochspannungsausgang ist über die Durchführung am Reaktorrohr mit dem koaxial sitzenden, keramikummantelten Innenleiter verbunden. Das Reaktorrohr ist aus Edelstahl. Über jeweils einen Flansch an den beiden Stirnseiten schließt ein Quarzfenster das innere des Reaktors hermetisch nach außen ab, so dass die Vorgänge darin visuell beobachtet werden können. Die beiden Flansche haben elektrisch leitenden Kontakt zur Rohrwand, deshalb ist das Bezugspotential des Blumleinimpulsgenerators mit dem nächstliegenden Flansch elektrisch leitend verbunden. Die Stutzen für die Einleitung und Ausleitung des zu prozessierenden Abwassers sind nicht angedeutet, jedoch ist der Reakto-

rinnenraum für den Prozess damit gefüllt. Über die Peristaltikpumpe werden aus dem Reaktorraum Proben genommen, in die Quarzküvette zur spektrophotometrischen Untersuchung geströmt und in den Reaktorraum zurückgepumpt. Der koaxial sitzende Innenleiter ist aus Titan und mit der Keramik Almandine 200 µm dick über eine Haftvermittlerschicht beschichtet. Hinsichtlich der thermischen Ausdehnungskoeffizienten sind beiden Materialien ideal, d. h. hinsichtlich des Ausdehnungskoeffizienten aufeinander abgestimmt, nämlich gleich, bzw. nahezu gleich.

In Figur 2 ist beispielhaft der Reaktor konstruktiv detailliert dargestellt. Die wesentlichen, beispielhaften Reaktordimensionen sind folgend aufgeführt. Der Hochspannungsanschluss ist hier für < 50 kV ausgelegt. In den beiden stirnnahen Bereichen befinden sich die Stutzen über die das Abwasser eingeleitet und ausgeleitet wird, so dass das zu prozessierende Abwasser zwangsweise und in großer Menge strömbar durch den wirksamen Elektrodenzwischenraum gelangen muss.

Beispielhaft werden für diese Ausführungsbeispiel die folgenden Dimensionen aufgeführt:

Länge der Innenelektrode 200 mm;

Durchmesser der Innenelektrode mit kreisförmigem Querschnitt 6 mm;

lichter Durchmesser der äußeren Elektrode 30 mm;

damit Elektrodenabstand 12 mm;

Almandine-Keramikbeschichtung 200 - 300 µm.

Prozessiert wurde mit diesem Ausführungsbeispiel:

Wasser mit unterschiedlichen Bakterienkonzentrationen und damit einem Leitfähigkeitsbereich der zu prozessierenden Flüssigkeit im Bereich 0,5 - 1,5 mS/cm. Die Hochspannungsamplitude war im Bereich < 50 kV, die Pulsform rechteckig mit einer Halbwertsbreite von 200 - 400 ns. Im so betriebenen Laborreaktor wurde schon eine Reduktion der bakteriellen Konzentration (*Pseudomonas putida*) um 6 Logarithmenstufen, d. h. Faktor 1 000 000, bei einem Energieeinsatz von 20 J/cm<sup>3</sup> erreicht.

An den nicht mittigen Stutzen 26 und den mittigen Stutzen 27 ist die Diagnostikeinrichtung angeflanscht, die hier nicht angedeutet ist. Das im Bild linksseitige, mit der Reaktorwand 2, dem Außenleiter 2, verbundene Flanschstück 14 hat den Distanzring 5 zur Innenelektrodenfixierung eingelegt. Der Zulaufstutzen 4 für die zu prozessierende Flüssigkeit ist daran mantelwandseitig angeschweißt. Das im Bild rechtsseitige, ebenfalls mit der Reaktorwand 2, dem Außenleiter 2 verbundene Flanschstück 15 hat auf seiner Mantelwand den Auslaufstutzen 4 und gegenüber den Durchführungsstutzen 6 für die Hochspannung angeschweißt. Die stirnseitigen Quarzglasfenster 12 sind über jeweils den Flanschring 13 und Dichtringe 16 hermetisch dicht an das Reaktorrohr 2 über Flanschschraubklammern 19 angepresst. Die Elektroden 1, 2 des Reaktorraums sind coaxial wie in einem Koaxialkabelstück angeordnet und richten bei Beaufschlagung der Innenelektrode 1 mit Hochspannungspotential zu der Außenelektrode 2 das radiale elektrische Prozessfeld ein. Der Außenleiter 2, die Reaktorwand 2, ist an ein elektrisches Bezugspotential, hier Erdpotential, angeschlossen. Der Innenleiter 2 sitzt zentriert und wird an der einen Stirn über die Stütze 11 getragen und an der andern, im Bild rechten Stirnseite über die als Steckvorrichtung ausgeführte hochspannungselektrische Durchführung mit ihren Komponenten:

Durchführungsstutzen 6, Verschraubungshülse 7, Anschlussbolzen 8, Isolationsrohr 9, Anschlussstift 10 an Innenelektrode 2, mit in coaxialer Position gehalten. Die Hochspannungsdurchführung schließt den Reaktorraum dort über die Dichtungen 20 und 21 gas- und flüssigkeitsdicht hermetisch von der Umgebung ab.

materialgetrennt mit angedeuteten Dichtungen im Detail in der Figur 2 dargestellt.

Figur 4 schließlich zeigt die fotografische Momentaufnahme der Koronaentladung und hebt damit die Wirkung in dem Reaktorraum mit ringförmigem lichtem Querschnitt hervor.

Patentansprüche:

1. Reaktor zur hochspannungsimpulstechnischen Desinfektion bakterienverseuchter Flüssigkeiten, bestehend aus:
- einem an seinen beiden Stirnseiten flanschbaren Rohrabschnitt mit lichtem, einfach polygonalem, mindestens jedoch rechteckigem Querschnitt
- oder lichtem, einfach konvexem, rundem Querschnitt,
- einer bezüglich der Längsachse des Rohrabschnitts parallelen Elektrodenanordnung aus zwei sich senkrecht und bezüglich der Längsachse spiegelbildlich gegenüberstehenden, elektrisch voneinander isolierten Elektrodenbändern über höchstens die Länge des Rohrabschnitts und beim polygonalen Querschnitt über höchstens der Breite der Polygonseite,
- wovon die eine Elektrode an ein elektrisches Bezugspotential und die andere, die Hochspannungselektrode, an ein in der Zeitdauer und Höhe einstellbares elektrisches Hochspannungspotential anschließbar ist,
- oder
- einer bezüglich der Längsachse des Rohrabschnitts koaxialen/konzentrischen Elektrodenanordnung aus der zumindest elektrisch leitenden Innenwand, dem Außenleiter, und dem Innenleiter,
- wovon einer von beiden, vorzugsweise der Außenleiter, an ein elektrisches Bezugspotential und der Innenleiter an ein in der Zeitdauer und Höhe einstellbares elektrisches Hochspannungspotential anschließbar ist,
- einer porösen Keramiksicht auf der mit Hochspannungspotential beaufschlagbaren Elektrode auf der zur Gegenelektrode hin exponierten Fläche mit einer Schichtdicke im Bereich von 100 bis 300  $\mu\text{m}$ ,
- wobei sich beide Elektroden einerseits mit einem derartigen Höchstabstand gegenüber stehen, dass sich einerseits bei Beaufschlagung mit Hochspannungspotential durch die Hochspannung zwischen den beiden Elektroden in jedem Fall kein Funkenüberschlag ausbildet und andererseits mit einem Mindestabstand gegenüberste-

hen, dass es andererseits an der exponierten Oberfläche der Keramikschicht während des Anstehens des elektrischen Hochspannungspotentials an der Hochspannungselektrode zur Ausbildung einer Maximalfeldstärke von mindestens 1 MV/cm ohne Funkenüberschlag kommt.

2. Reaktor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor mindestens je einem Anschlussstutzen in den beiden Endbereichen oder Stirnseiten des Rohrstücks zur Flüssigkeitsein- und -ausleitung und mindestens einem Zugang für Diagnostikeinrichtungen hat.
3. Reaktor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Reaktor eine Hochspannungsdurchführung durch die Wand des Rohrstücks hat, durch die hindurch bei der coaxialen Elektrodenanordnung der Innenleiter an einen Hochspannungsimpulsgenerator anschließbar ist.
4. Reaktor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die auf den Innenleiter aufgebrachte Keramikschicht in dem Temperaturbereich von der Umgebung bis zur stationären Betriebstemperatur einen zumindest ähnlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie der Innenleiter hat.
5. Reaktor nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die im Reaktorraum exponierten Oberflächen aus gegenüber der zu prozessierenden Flüssigkeit und den Prozessprodukten inerten Materialien sind.
6. Reaktor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass im Falle coaxialer, konzentrischer Elektrodenanordnung der lichte Querschnitt der Außenelektrode beliebig zum Querschnitt der Innenelektrode steht, vorzugsweise jedoch der Innenelektrodenquerschnitt durch bezüglich der Längsachse radiale Stauchung aus dem lichten Querschnitt der Außenelektrode hervorgeht und umgekehrt.

7. Verfahren zur hochspannungsimpulstechnischen Desinfektion bakterienverseuchter Flüssigkeiten in einem rohrförmigen Reaktor, bestehend aus den Verfahrensschritten:

eine bakterienverseuchte, zu prozessierende Flüssigkeit wird entweder

durch einen rohrförmigen Hohlraum geströmt oder in einen solchen eingeleitet, in dem sich zwei Elektrodenbänder als Wandelemente längs der Hohlraumlängsachse elektrisch gegeneinander isoliert gegenüberstehen

oder

durch einen rohrförmigen Hohlraum mit konzentrisch ringförmig lichtem Querschnitt geströmt oder in einen solchen eingeleitet, in dem sich die Außenwand und der axiale Stab als koaxiale Leiteranordnung, elektrisch isoliert voneinander, radial gegenüberstehen,

wobei der einer der beiden Bandlektroden oder der Innenleiter, die oder der an der exponierten Fläche mit einer porösen Keramikschicht überzogen ist, vorübergehend/pulsförmig mit einem elektrischen Hochspannungspotential einstellbaren Maximums und einstellbarer Zeitdauer beaufschlagt werden und die jeweilige Gegenelektrode an Bezugspotential gelegt wird, um zwischen den beiden Elektroden das für den Prozess notwendige pulsförmige elektrische Feld von maximal mindestens 1 MV/cm an der exponierten Keramikoberfläche zu erzeugen und dadurch entlang der mit Hochspannungspotential beaufschlagten Elektrode von der exponierten Keramikoberfläche ausgehende Streamerentladungen zu erzeugen, wodurch die verunreinigte, zu prozessierende Flüssigkeit im Durchfluss- oder schubweisen Betrieb von dem elektrischen Feld und den Streamern durchdrungen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Hochspannungsimpulsgenerator und der angeschlossene Reaktor elektrisch so dimensioniert sind, dass Anstiegszeiten des Hochspannungsimpulses  $< 100$  ns und die Impulsdauer  $> 100$  ns erzeugt

werden und eine Impulsrate bis zu einigen 10 Hz erzeugt werden kann.



Fig. 1

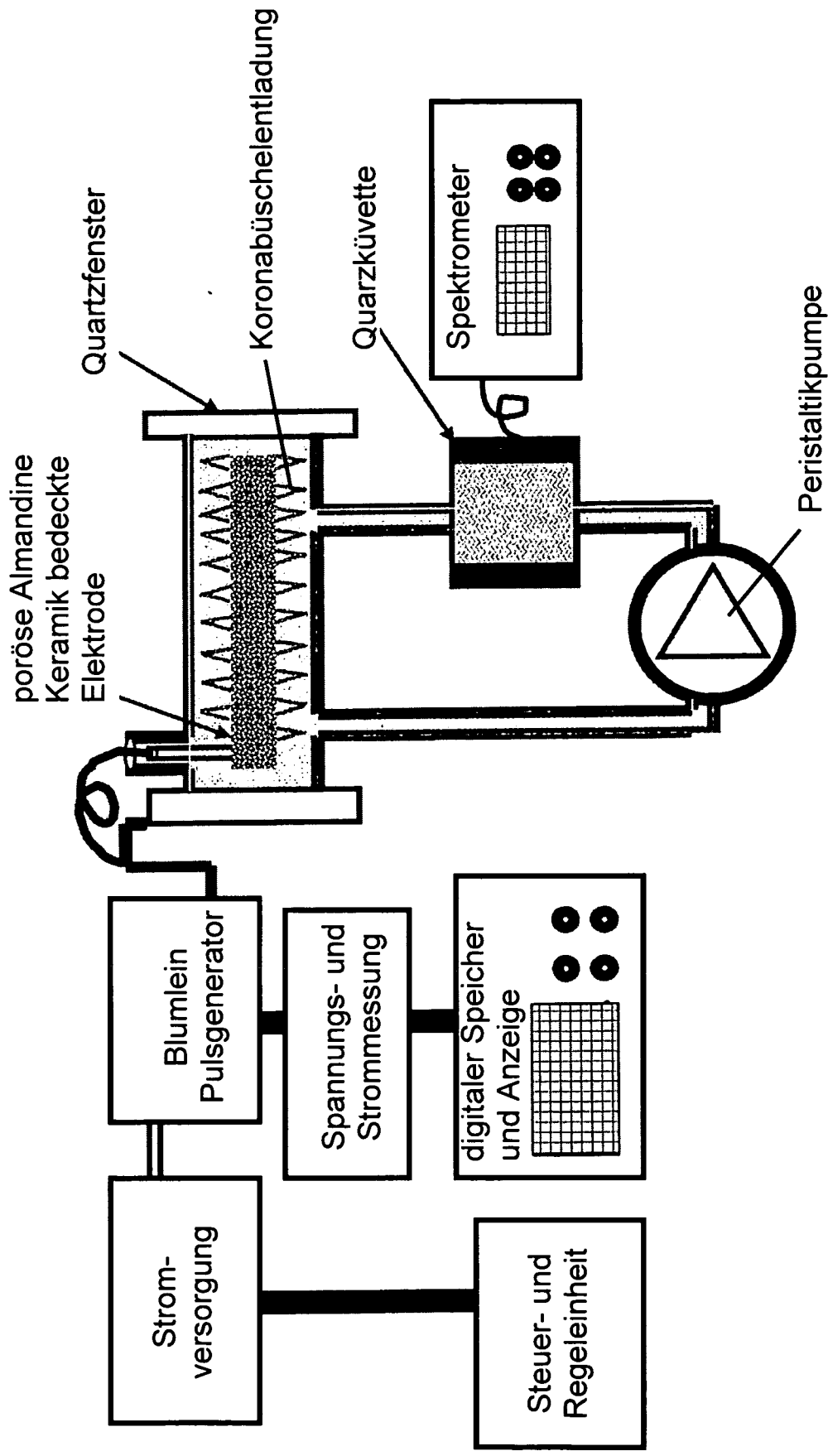
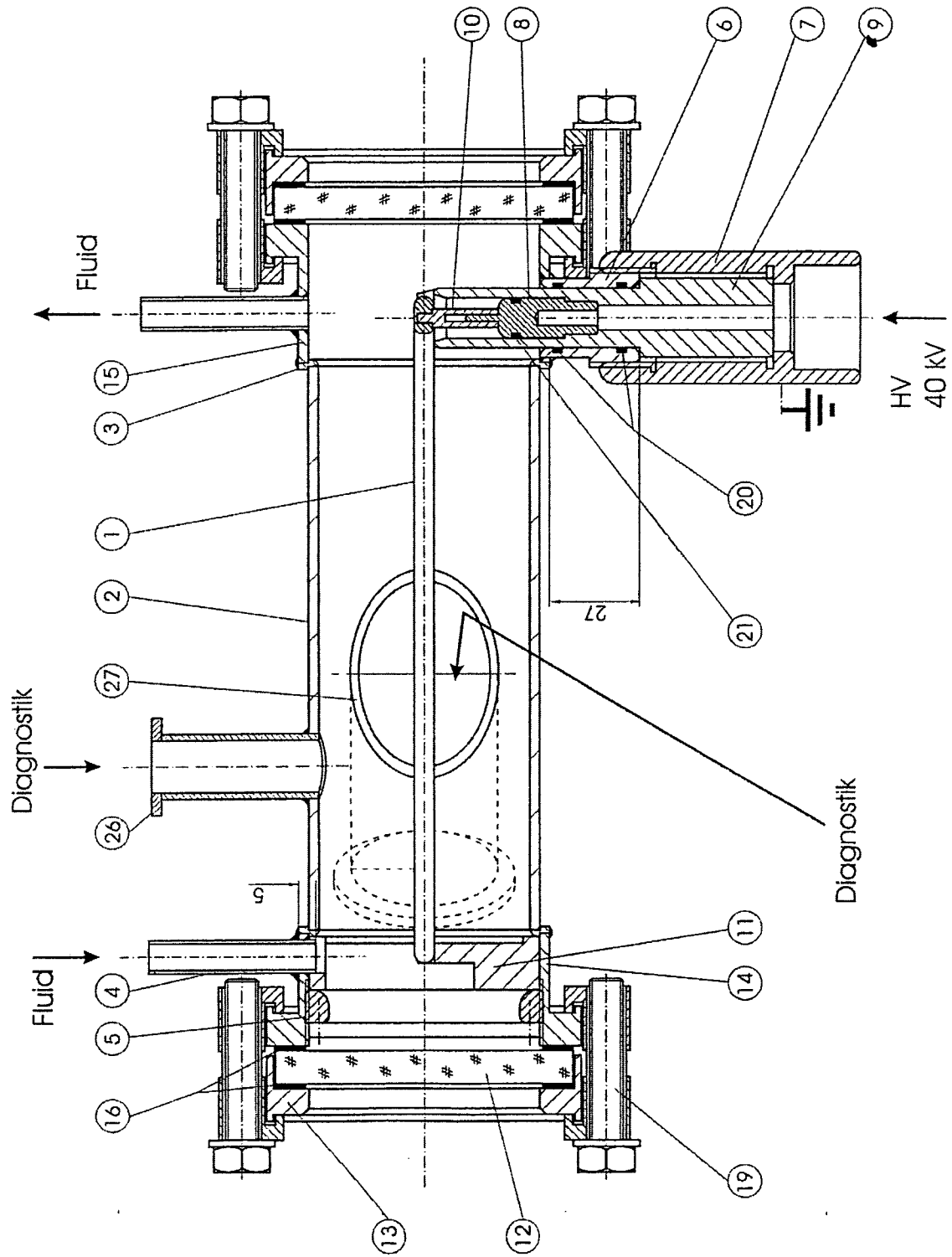


Fig. 2



3/3

Fig. 3

