



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

705 866 A2

(51) Int. Cl.: C02F 11/04 (2006.01)  
B09B 3/00 (2006.01)

**Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 01891/11

(71) Anmelder:  
PDX Technologies AG, Vordergasse 53  
8200 Schaffhausen (CH)

(22) Anmeldedatum: 28.11.2011

(72) Erfinder:  
Bart Pieper, Dunlap, 61525 Illinois (US)  
Michele Gina Elizabeth Gothard,  
Royston, SG8 7XL Hertfordshire (GB)

(43) Anmeldung veröffentlicht: 31.05.2013

(74) Vertreter:  
Murgitroyd & Company, 14, Rue du Rhône  
1204 Genève (CH)

(54) **VERFAHREN FÜR DIE BEHANDLUNG VON BIOLOGISCH ABBAUBAREN ABFALLSTRÖMEN.**

(57) Die vorliegende Erfindung richtet sich an Verfahren und Systeme für die Vorbehandlung von Klärschlamm in einem Klärwerk (KW), um die anaerobe Faulung zu begünstigen. Diese Verfahren umfassen: (a) Leiten von Klärschlamm durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem KW in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; (b) Leiten des in Schritt (a) behandelten Klärschlammes zu einem anaeroben Faulbehälter; und (c) Sammeln von in Schritt (b) produziertem Methan. Ausserdem werden andere Verfahren für die Vorbehandlung eines biologisch abbaubaren Abfallstroms bereitgestellt. Derartige Verfahren umfassen: (a) Leiten eines biologisch abbaubaren Abfallstroms durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; (b) Entwässern des biologisch abbaubaren Abfallstroms aus Schritt (a); und (c) optional Verdichten des aus Schritt (b) resultierenden Materials.

**Beschreibung****GEBIET DER ERFINDUNG**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung stellt unter anderem Verfahren und Systeme für die Behandlung von biologisch abbaubaren Abfallströmen, wie z.B. Klärschlamm, bereit.

**ALLGEMEINER STAND DER TECHNIK**

**[0002]** Die Behandlung von Klärschlamm in Klärwerken (KW) wird vornehmlich von einer Notwendigkeit angetrieben, die Probleme zu mildern, die mit öffentlicher Gesundheit und der Entsorgung und Reduzierung des Volumens der aus den einlaufenden flüssigen Abfallflüssen abgesetzten biologischen Feststoffe assoziiert sind. Beim derzeitigen Klima der Reduzierung des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks und der Notwendigkeit, erneuerbare Energiequellen zu finden, setzen eine zunehmende Zahl von KW und verwandten Einrichtungen auf die Produktion von Methan (CH<sub>4</sub>), über anaerobe Faulung (AF), um sowohl eine Energiequelle vor Ort für einige ihrer eigenen Abläufe bereitzustellen als auch ein kommerzielles Energieprodukt in Form von entweder Biogas (Methan) oder extern oder vor Ort aus der Verbrennung von Methan in einem Gasmotor oder Generator generierter Elektrizität bereitzustellen. Die Abwasserbranche setzt ausserdem darauf, wirtschaftliche und produktive Endpunkte für die am Ende der verschiedenen in KW verfügbaren Behandlungswegen (aerob und anaerob) zurückbleibenden Feststoffe zu finden. Es gibt derzeit in vielen Ländern auf der ganzen Welt gesetzliche Grenzwerte für die Masse von behandeltem Abwasserkuchen, der über Deponien oder Verklappung entsorgt werden kann, und es wird zunehmend darauf gedrängt, diese Feststoffe als Rohmaterial für Festbrennstoff-Kraftwerke zu verwenden oder dass sie eine ausreichende Güteklasse aufweisen, um als Dünger und Bodenverbesserer auf Land aufgebracht werden können. Die Fähigkeit, Endpunkt-Abwasserkuchen in diesen Anwendungen zu verwenden, wird jedoch z.B. durch Folgendes vorgegeben: (a) den endgültigen Wassergehalt des Kuchens, der sich auf Transportkosten und Effizienz auswirkt, und im Fall der Verwendung als Festbrennstoff reduzierte Verbrennungseffizienz, (b) ob sie mikrobiologisch sicher sind, d.h. innerhalb gesetzlicher Grenzwerte für pathogene mikrobielle Bakterienarten (insbesondere fäkale Kolibakterien), überlebensfähige Eier oder andere infektiöse Gewebe von menschlichen Pathogenen (insbesondere Plattwürmer) und Viren liegen, und (c) die Bekämpfung von Gerüchen während Transport und Verwendung.

**[0003]** Die meisten KW leiten einen Anteil des Primärschlammes (PS), der durch Absetzen der Feststoffe aus dem eingehenden Schmutzwasserfluss gebildet wird, durch eine aerobe Faulung. Diese aerobe Faulung wird üblicherweise in grossen belüfteten Betten ausgeführt, wo Luft durch den Primärschlamm gepumpt wird, um das Wachstum einer Mikroflora und -fauna zu fördern, die die biologischen Feststoffe des Schlammes aerob (in Anwesenheit von Sauerstoff) zersetzen. Am Ende dieser aeroben Faulung sind die verbleibenden Feststoffe vorwiegend aus Bakterien und deren assoziierten Biofilmen und ausserdem mehrzelligen Zersetzern, wie etwa Fadenwürmern, Rädertierchen und Muschelkrebse zusammengesetzt. Dieses Material kann als belebter Sekundärschlamm (BSS) oder Überschussschlamm (ÜS) bezeichnet werden. In diesem Dokument wird er als ÜS bezeichnet. In vielen Anlagen ist der geringe Feststoffgehalt, typischerweise 3 Gew.-%, für ÜS-Schlämme für die Beladung von Faulbehältern nicht zulässig und die Feststoffe werden durch Zugabe eines kationischen oder polyionischen Polyacrylamids (Polymer) konzentriert, das ÜS-Flocken über Ladungs-Ladungs-Wechselwirkungen anzieht. Der eingedickte ÜS, genannt «EÜS», kann entweder über Absetzen ausgefällt werden, was Feststoffkonzentrationen um 5-6 Gew.-% ergibt, Zentrifugation des Materials kann jedoch die Feststoffwerte des EÜS auf 11 Gew.-% oder mehr erhöhen.

**[0004]** Der ÜS oder typischer EÜS bildet das Rohmaterial für die anaeroben Faulbehälter. Er kann allein verwendet werden, wird jedoch üblicher mit Primärschlamm vermischt, um die Nährstoffgehalte für den Faulbehälter zu steuern und die Beanspruchung des aeroben Abschnitts der Faulung in der Anlage zu reduzieren. ÜS/EÜS ist jedoch für den AF-Prozess nicht ohne Probleme. Die anaeroben Bakterien, die innerhalb des Faulbehälters eine Zersetzungskaskade bilden, sind Extremophile und wachsen daher langsam und akklimatisieren sich langsam an schnelle Änderungen der Umgebung und Bedingungen. Primärschlamm weist inhärent eine sehr hohe Beladung an jederzeit verfügbarem biologischem Material für den Verzehr durch die Anaerobier auf und weist als Folge eines Mazerationsschritts im Anlagenprozess eine sehr grosse Oberfläche auf (kleine Partikelgrösse). Im Gegensatz dazu ist ÜS/EÜS aus Flocken von Bakterienzellen mit assoziierten Biofilmen zusammengesetzt. Das stellt ein sehr strukturiertes hartnäckiges Substrat zum Faulen mittels der AF-Mikroben dar. Die Biofilme weisen ein sehr hohes Wasserspeichervermögen auf und die Biopolymere mit hohem Molekulargewicht (typischerweise Polysaccharide und in geringerem Ausmass Glycoproteine), aus denen sie zusammengesetzt sind, haben sich weiterentwickelt, um die Bakterien vor umgebungsbedingter und chemischer Beanspruchung zu schützen und sind als Folge beständig gegen enzymatisches und chemisches Aufschlüsseln. Wenn die ÜS/EÜS- bzw. ÜS/EÜS-PS-Mischungen nicht eine Form der Vorbehandlung erhalten, um die Biopolymere des bakteriellen Biofilms aufzuschlüsseln, und die Bakterienzellen und mehrzelligen Mikroben zu lysieren, um Zelleninhalte freizusetzen, treten eine Zahl von Nachteilen in der anaeroben Faulung auf, wie etwa geringe Feststoffbeladung infolge Wasserspeicherung, was zu einer «hydraulischen Überlastung» führen kann, wodurch die anaeroben Bakterien über zu wenig Substrat für Wachstum und Vermehrung verfügen, ohne beim kontinuierlichen Feststoffaustrag aus dem Faulbehälter ausgewaschen zu werden (Gerardi, M., 2003). Andere Nachteile umfassen lange Verweilzeiten für die Feststoffe im Faulbehälter, um akzeptable Ausmasse der Methangenerierung und Feststoffreduzierung zu erlangen, sowie einen hohen Energiebedarf zum Pressen und Trocknen der ausgetragenen Feststoffe am Ende des Prozesses.

**[0005]** Es gibt eine Zahl von Vorbehandlungstechniken und -vorgehensweisen für die Aufbereitung von ÜS/EÜS und Primärschlämmen. Diese Vorbehandlungen können in mechanisch/physikalisch, thermisch, chemisch und biologisch unterteilt werden.

## **Mechanisch/physikalisch**

### **Ultrabeschallung**

**[0006]** Die Ultrabeschallungsbehandlung von Klärschlamm vor dem anaeroben Faulen nutzt Kavitation als Hauptmechanismus des Aufbrechens. Der Schlamm wird hochfrequenten Schallwellen ausgesetzt. Die von den Schallwellen in dem Klärschlamm generierten örtlich konzentrierten hohen und niedrigen Drücke produzieren sowohl Scherung als auch Kavitation. Das Einfallen der Kavitationsblasen generiert sowohl Scherung als auch extrem hohe Temperaturen an der Stelle des Einfallens. Das begünstigt das Aufbrechen von Flocken und Zellen im Klärschlamm (Bougrier et al., 2006, Khanal et al., 2007). Die Ultraschallbehandlung kann ausserdem helfen, den Schlamm zu entgasen, was das Absetzen von Feststoffen im Faulbehälter erhöht. Beispiele von kommerziellen Ultrabeschallungssystemen umfassen die von Hielscher in Deutschland hergestellten. Ultrabeschallungssysteme können bei der Verwendung sehr energieintensiv sein und eignen sich aufgrund von Problemen, z. B. mit der Skalierbarkeit, nicht für grosse Prozessströme.

### **Venturi**

**[0007]** Der von Siemens vertriebene Crown® Disintegration System Process beruht auf dem Venturi-Effekt, um Bakterienflocken und Mikroben in dem Klärschlamm aufzubrechen. Dieses System besteht aus einem Umwälzungs-Chargentank, der den vermischten Schlamm, ÜS oder EÜS aufnimmt. Material gelangt von dem Tank durch einen Mazerator zu einem Pumpenventilsystem, das den Prozessleitungsdruck auf 175 psi erhöht. Der mit Druck beaufschlagte Schlammstrom gelangt durch einen Mischer, um das Material zu homogenisieren, bevor es durch eine Venturidüse gezwängt wird, wo es hohe Scherkräfte und eine rasche Druckentlastung erfährt, bevor es zu dem Chargentank zurückkehrt. Der Schlamm wird mehrmals auf diese Weise verarbeitet, bevor die Charge dann von dem Chargentank zu einem anaeroben Faulbehälter gepumpt wird. Bei einem derartigen System gibt es eine Zahl von Nachteilen, einschliesslich der Prozesszeiten, die benötigt werden, um den gewünschten Grad der Aufschlüsselung zu erreichen, Pumpenverschleiss infolge des mit Druck beaufschlagten Systems und Verstopfen der Venturidüse infolge grosser Partikel oder schlechter Viskositätssteuerung des eingehenden Schlamms.

**[0008]** Andere mechanische/physikalische Verfahren zum Vorbehandeln von Klärschlämmen vor der anaeroben Faulung umfassen Hochdruckhomogenisierung, Zentrifugation sowie Prallplatten und Mahlen. Diese Techniken nutzen hohe externe Druck- und Scherkräfte, um Biofilme und Zellen in dem Schlamm auseinanderzureissen. Diese Techniken wurden aufgrund von Problemen, z.B. mit Energieverbrauch, Chargengrössen sowie Verschleiss oder Wartung von Geräten, nie in kommerziellem Massstab übernommen. Siehe z.B. Carrere et al., 2010.

### **Thermische Vorbehandlungen**

**[0009]** Thermische Vorbehandlungen erfordern das Erwärmen des Schlamms, bzw. üblicher, das Erwärmen in Anwesenheit von erhöhtem Druck. Thermische Vorbehandlungen erreichen den Abbau von Schlammfeststoffen durch eine Kombination von Effekten. Der Anstieg der Temperatur erhöht die chemische Hydrolyse von Polysacchariden, Proteinen und Lipiden, die die komplexe Struktur der Flocken und Zellen bilden. Der Anstieg der Temperatur erhöht ausserdem die Lösbarkeit der Hydrolyseprodukte und kann, wenn die Temperatur hoch genug ist, das Produkt sterilisieren. Die rasche Druckentlastung, die mit dem schlagartigen Abkühlen eines Produkts von hoher Temperatur zusammenhängt, fügt zu dem aufgeweichten, hydrolysierten Schlamm Scherung hinzu. Zwei kommerzielle Beispiele eines thermischen Prozesses umfassen den BioTHELYS®- und den Cambi-Process® und werden als thermische Hydrolysevorbehandlungen (THV) bezeichnet. Beide dieser Prozesse beruhen auf dem Einspritzen von Dampf, um den Schlamm unter Druck auf Temperaturen von ungefähr 150-180 °C zu erwärmen.

**[0010]** Das BioTHELYS-System kann als Nachrüstprozess im Prozess eines existierenden Klärwerks genutzt werden. Das Cambi-System stellt jedoch eine grossmassstäbliche Konstruktion mit assoziierten Kapitalaufwendungen dar. Es eignet sich ausserdem nur für Anlagen für grosse Bevölkerungen (2 Millionen oder mehr Personenäquivalente pro Jahr) und ist folglich nicht für kleinere Verarbeitungsszenarios geeignet. Beide Systeme arbeiten auf einer Basis der Chargenverarbeitung.

### **Chemische Vorbehandlungen**

**[0011]** Bei chemischen Vorbehandlungen wird eine Chemikalie zu dem Schlamm hinzugegeben, um das Aufschlüsseln der organischen Materialien in dem Schlamm zu unterstützen.

**[0012]** Alkalivorbehandlungen - Zu dem Schlamm wird Alkali, typischerweise Natriumhydroxid (NaOH) zugegeben, um pH-Werte von 11-12 zu erreichen. Das Alkali kann hydrolytisch auf die organische Komponente des Schlamms wirken und schädigt ausserdem die Zellmembranen der Bakterien und anderer vorhandener Mikroben. Diese Behandlungen werden

über lange Zeiträume durchgeführt (24 Stunden), wobei der pH-Wert vor der Nutzung im Faulbehälter auf unter pH 7 herab eingestellt werden muss. Diese Arten der Behandlung sind noch experimentell (Perez-Elvira et al., 2006, Valo et al., 2004).

**[0013]** Ozon- und Wasserstoffperoxidbehandlungen - Ozon ist ein starkes Oxidans, das reichlich freie Sauerstoffradikale produziert. Wird der Schlamm Ozon ausgesetzt, kommt es durch Spalten kovalenter Bindungen (typischerweise C-C) zum Abbau der organischen Substanz, wodurch kleinere organische Moleküle aus den komplexen Flockenstrukturen generiert werden (Bougrier et al., 2007). Wasserstoffperoxid kann auf ähnliche Weise genutzt werden wie Ozon, da es ebenfalls ein starkes Oxidans ist.

**[0014]** Chelatoren - Chelatoren sind Chemikalien, die die Fähigkeit aufweisen, kompetitiv mit Metallionen Bindungen einzugehen, typischerweise  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  und  $Fe^{3+}$ . Zusätzlich zu dem ÜS oder EÜS binden die Chelatoren die Metallionen, die sowohl die Polysaccharid-/Glycoproteingele des die Flocken bindenden bakteriellen Biofilms stabilisieren, als auch helfen, Wasser zu speichern und entziehen ausserdem den Mikroben unentbehrliche Metalle (Kofaktoren für Stoffwechsel und osmotisches Gleichgewicht). Die am häufigsten verwendeten Chelatoren sind EDTA und CDTA. Auch diese Art von chemischem Prozess wird nicht kommerziell angewandt und wird nur als experimentelle Vorgehensweise betrachtet. Chemikalienkosten und Konsequenzen der Beanspruchung der anaeroben Mikroben, wenn überschüssige Chemikalien in den Faulbehälter verschleppt werden, stellen wahrscheinlich ernsthafte Herausforderungen für diese Prozesse dar.

### Biologische Vorbehandlung

**[0015]** Enzyme - Enzymatische Vorbehandlungen sind von z.B. Genencor und DSM kommerzialisiert worden. Die dem Schlamm zugegebenen Enzyme sind ein Cocktail aus Proteasen, Lipidasen und Glycosidasen, der dazu bestimmt ist, die gemischte Protein-, Fett- und Kohlehydratmatrix der organischen Fraktion der Schlammflocken abzubauen. Die genutzten Enzyme weisen Aktivitätsmaxima um 30 °C oder 50 °C auf, um die zwei Arten der anaeroben Faulung (mesophil 30-35 °C und thermophil 50-55 °C) zu ergänzen. Die Enzymbehandlungen können in Verbindung mit anderen Vorbehandlungen verwendet werden, werden jedoch von einem betrieblichen Standpunkt aus häufig als teuer angesehen.

**[0016]** Temperature Phased Anaerobic Digestion (TPAD) (anaerobe Faulung in Temperaturphasen) - Dieser Prozess ist eigentlich eine zweistufige Faulung. Die TPAD weist normalerweise eine Vorfaulungsstufe auf, bevor der Schlamm in die bevorzugte Stufe eintritt. Diese erste Stufe kann entweder ein weiterer anaerober Schritt (entweder mesophil oder thermophil, je nach Art der letzten Hauptstufe) sein oder kann in manchen Ausführungen aerob sein. TPAD kann in Verbindung mit Enzymbehandlungen ausgeführt werden, um die zusätzliche Faulungsstufe zu verstärken. Ein Beispiel eines kommerzialisierten Produkts auf diesem Gebiet ist Biolysis® von Degremont Technologies.

### Kombinatorische Vorbehandlungen

**[0017]** Es gibt eine Zahl von Vorbehandlungen für Schlämme, die einige der vorangehend erwähnten Vorgehensweisen kombinieren.

**[0018]** Zum Beispiel kombiniert die Advanced Thermal Hydrolysis (AHT) (fortgeschrittene thermische Hydrolyse) direkte Dampfeinspritzung und die Zugabe von Wasserstoffperoxid. Die Temperatur erhöht die Reaktionsrate für das Wasserstoffperoxid und hilft beim thermischen Aufbrechen der Biofilmgele an den ÜS-Flocken (Albelleira et al., 2011). Der Kepro-Prozess kombiniert die Säuerung von Schlamm (pH 1-2), um die Säurehydrolyse des organischen Materials zu begünstigen, mit thermischer Hydrolyse (Perez-Elvira et al., 2006).

**[0019]** Ein anderer, weitläufiger genutzter kombinatorischer Prozess für die Vorbehandlung von Klärschlämmen ist das Monse®-System (Monsel Limited, UK). Dieses System nutzt Dampf, Venturi-Effekte und Enzyme. Das System erfordert eine Enzymbehandlung, um die Viskosität der Schlämme zu reduzieren, insbesondere derjenigen, die EÜS oder hohe Feststoffbeladungen enthalten. Der Schlamm mit reduzierter Viskosität wird dann durch eine Venturivorrichtung mit integrierter Dampfeinspritzung geleitet. Der Dampf wird an der engsten Stelle der Venturieinengung mit einem Druck von 4 bar eingespritzt und erwärmt den Schlamm vor der mechanischen Scherung und dem Druckabfall, wenn sich der Schlamm in die grössere Rohrgeometrie hinter der Venturivorrichtung ausdehnt.

**[0020]** Damit eine Vorbehandlung auf diesem Gebiet von Nutzen sein kann, muss sie das Aufbrechen von ÜS, EÜS und potentiell der Endfeststoffe am Ende der AF (Faulrückstand) bewirken können. Ausserdem Erreichen der physikalisch-chemischen und biologischen Ergebnisse, muss der Prozess ausserdem in der Lage sein, die in Klärwerken behandelten potentiell grossen Materialvolumen zu handhaben (Skalierbarkeit) und eine positive Ökobilanz sowie ein wirtschaftliches Umsetzungsmodell aufzeigen. Viele der oben offenbarten Technologien weisen einen oder mehrere Nachteile auf und sind daher nicht erwünscht.

### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0021]** Es wurde vorgeschlagen, dass die Kombination der Hochgeschwindigkeits-Dampfstrombedingungen der PDX-Reaktortechnik (siehe z. B. gemeinsam gehaltene US-Patentanmeldungen mit den Seriennummern 11/658 265 und 12/590,129 sowie US-Patent Nr. 7 111 975), kombiniert mit ihrer inwendig glatten «Clean Bore-Ausführung», die Skalierbarkeit für die in Klärwerken erforderliche Massenmaterialförderung in entweder einem kontinuierlichen Strom oder einem Chargenprozess bereitstellen kann und den richtigen Grad und die richtige Art an Materialaufschlüsselung zum Vorbehan-

deln von ÜS, EÜS und potentiell Faulrückstand und PS für die AF und Entwässerung/Trocknung nach der aeroben Faulung bereitstellen kann. Es wurde ausserdem vorgeschlagen, dass die Verwendung der Technologie ein günstiges Energiegleichgewicht und einen Fokus in dem Prozess bereitstellen könnte, um einen positiven betrieblichen Vorteil zu ergeben.

**[0022]** Die vorliegende Erfindung nutzt die dampfgetriebenen Vorrichtungen, die z.B. im gemeinsam gehaltenen US-Patent Nr. 7 111 975 und der US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 12/590,129 beschrieben sind, alleinstehend oder in Reihe konfiguriert, um Klärschlämme und andere biologisch abbaubare Materialien vorzubehandeln, um die Methanproduktion bei der anaeroben Faulung zu verstärken und die Entwässerung der resultierenden Feststoffe zu verbessern. Der Prozess begünstigt das Aufbrechen von Bakterienflocken in aerob gefaulten Schlämmen und anaerobem Faulrückstand, erhöht den löslichen chemischen Sauerstoffbedarf (LCSB) der Materialien massgeblich und verstärkt die Solubilisierung von flüchtigen Fettsäuren (FFS) und Kohlehydraten bei Reduzierung der Schlammpartikelgrösse. Die anaerobe Faulung der vorbehandelten Materialien ergibt eine massgebliche Verbesserung der Qualität des produzierten Gases und der täglichen Produktionsraten.

**[0023]** Das Gerät, das einen Teil dieser Erfindung bildet, besteht aus einer Zahl von Vorrichtungen, wie sie z.B. in der gemeinsam gehaltenen US-Patentanmeldung mit der Seriennummer 12/590,129 und dem gemeinsam gehaltenen US-Patent Nr. 7 111 975 offenbart sind, obwohl andere ähnlich konfigurierte Vorrichtungen verwendet werden können, sofern sie ähnliche Vorbehandlungsgrade erreichen. Diese Vorrichtungen können in einer Reihe angeordnet sein, so dass der Prozessstrom von Material jede der Reihe nach durchläuft. Eine beispielhafte Einrichtung für eine Prozessausrüstung, die in der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann, ist in Fig. 9 gezeigt. Jede Vorbehandlungsvorrichtung in dieser Anwendung wird von Dampf (4-9 bar), abhängig vom erforderlichen Ergebnis, angetrieben. Schlamm wird optional über eine Pumpe zu der Reihe von Vorrichtungen eingespeist oder die Vorbehandlungsvorrichtungen können die Pumpwirkung bereitstellen. Die Zahl der verwendeten Vorrichtungen und sowohl die Strömungsgeschwindigkeit des Dampfes zu der Vorbehandlungsvorrichtung als auch des Prozessstroms der gewünschten Prozessmaterialien kann abgewandelt werden, um verschiedene Massengleichgewichts-/Energieszenarios für den Prozess zu erreichen.

**[0024]** Bei der vorliegenden Erfindung können die gewählten Prozessmaterialien verschiedene Arten von Klärschlamm sein. Der hierin offenbarte Prozess kann entweder als Vorbehandlung für in den anaeroben Faulungsprozess eintretende Schlämme oder als Mischungs- und Aufschlüsselungsprozess als Teil der Umwälzung innerhalb eines anaeroben Faulbehälters wirken. Einer der Vorteile der vorliegenden Erfindung ist, dass sie den Abbau und die Solubilisierung von organischen Komponenten aus inhärenten organischen Materialien in dem Abfall, den Biofilmen und den Zellstrukturen und anderen Komponenten aus Bakterien und Schlammmikroflora und -fauna erreicht. Die Aufschlüsselung und Solubilisierung dieser Materialien erhöht deren Verfügbarkeit für die Kaskade von anaeroben Bakterien, die die Umwandlung von komplexen chemischen Komponenten in das endgültige gewünschte Ergebnis von Methan begünstigen. Die Aufschlüsselung dieser Komponenten begünstigt ausserdem ein höheres Mass an Entwässerung der Feststoffe am Ende des Faulungs- oder Vorbehandlungsprozesses. Ein weiterer Vorteil des Prozesses gemäss der vorliegenden Erfindung ist die Sterilisierung des Schlamms, um den Status der Klasse A für Feststoffe zum Aufbringen auf Land zu erreichen. Wie hierin verwendet, ist Schlamm der «Klasse A» wie in 40 CFR §503.32 (2011) definiert.

**[0025]** Eine weitere Ausführungsform der Erfindung nutzt eine Variante der zuvor beschriebenen Vorbehandlungsvorrichtung, die zum Eintragen von Flüssigkeiten oder Pulvern in den Prozessstrom verwendet werden kann. Das eingetragene Pulver bzw. die eingetragene Flüssigkeit kann eine Chemikalie oder ein Enzym oder eine vorteilhafte Mikrobekultur darstellen, die bzw. das während des Prozesses in den Schlamm gemischt werden sollen. So kann der Prozess als kombinatorische Vorbehandlung verwendet werden. Diese Vorrichtungen können je nach Anforderung eine oder mehrere der Standardvorrichtungen ersetzen. Derartige Vorrichtungen/Prozesse können zum Mischen und Hydrieren von zum Eindicken und Ausflocken von ÜS oder Schlämmen mit feinen Biofeststoffen verwendeten ionischen Polymeren verwendet werden.

**[0026]** Der Vorbehandlungsprozess kann auf andere biologisch abbaubare Materialien und Schlämme für die AF angewandt werden, wie etwa Lebensmittelabfall, Fabrik- und Prozessabfall, Landwirtschaftsabfall, Papier und kompostierbare Materialien.

**[0027]** Insbesondere handelt es sich bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung um ein Verfahren zur Vorbehandlung von Klärschlamm in einem Klärwerk (KW), um die anaerobe Faulung zu begünstigen. Dieses Verfahren beinhaltet Folgendes: (a) Leiten von Klärschlamm durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem Klärwerk in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; (b) Leiten des in Schritt (a) behandelten Klärschlammes zu einem anaeroben Faulbehälter; und (c) Sammeln von in Schritt (b) produziertem Methan.

**[0028]** Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung handelt es sich um ein Verfahren zum Mischen, Aufbrechen und Erwärmen von Faulrückstand in einer Schlammumwälzschleife an einem Faulbehälter in einem Klärwerk (KW). Dieses Verfahren beinhaltet Folgendes: (a) Leiten des Faulrückstands durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem Faulrückstand in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transport-

fluid in den Durchgang einzuspritzen; (b) Zurückleiten des in Schritt (a) behandelten Faulrückstands zu dem Faulbehälter; und (c) Sammeln von in dem Faulbehälter produziertem Methan.

**[0029]** Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung handelt es sich um ein Verfahren zum Vorbehandeln eines biologisch abbaubaren Abfallstroms, das Folgendes beinhaltet: (a) Leiten eines biologisch abbaubaren Abfallstroms durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; und (b) Leiten des in Schritt (a) behandelten biologisch abbaubaren Abfallstroms zu einem anaeroben Faulbehälter.

**[0030]** Bei noch einer weiteren Ausführungsform der vorliegenden Erfindung handelt es sich um ein Verfahren zum Vorbehandeln eines biologisch abbaubaren Abfallstroms. Dieses Verfahren beinhaltet Folgendes: (a) Leiten eines biologisch abbaubaren Abfallstroms durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen, wobei Schritt (a) die Zahl der lebenden Mikroorganismen in dem biologisch abbaubaren Abfallstrom verglichen mit einem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Abwesenheit von Schritt (a) um mindestens 10 % reduziert.

**[0031]** Bei noch einer weiteren Ausführungsform der Erfindung handelt es sich um ein Verfahren zum Vorbehandeln eines biologisch abbaubaren Abfallstroms: Dieses Verfahren beinhaltet Folgendes: (a) Leiten eines biologisch abbaubaren Abfallstroms durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; (b) Entwässern des biologisch abbaubaren Abfallstroms aus Schritt (a); und (c) optional Verdichten des aus Schritt (b) resultierenden Materials.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

**[0032]** Fig. 1 ist ein Querschnittsprofil einer Vorbehandlungsvorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung. In der ganzen Patentschrift wurden gleiche Bezugszeichen für gleiche Teile verwendet.

**[0033]** Fig. 2 ist ein Querschnittsprofil einer Vorbehandlungsvorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung, wobei Endansichten als entlang der Linien 2-1 und 2-2 genommene Fig. 2-1 bzw. 2-2 gezeigt sind.

**[0034]** Fig. 3 ist ein Querschnittsprofil einer Vorbehandlungsvorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung, wobei Endansichten als entlang der Linien 3-1 und 3-2 genommene Fig. 3-1 bzw. 3-2 gezeigt sind.

**[0035]** Fig. 4 ist ein Querschnittsprofil einer anderen Ausführungsform, wobei Endansichten als entlang der Linien 4-1 und 4-2 darin genommene Fig. 4-1 bzw. 4-2 gezeigt sind.

**[0036]** Fig. 5 zeigt ein Prozessschema eines beispielhaften Systems gemäss dieser Erfindung.

**[0037]** Fig. 6 zeigt ein Flussdiagramm eines anderen beispielhaften Systems gemäss dieser Erfindung. Jede Trapezform mit einem «X» darin stellt eine bis vier inline angeordnete Vorrichtungen dar. Es wird bevorzugt, dass sich die Vorrichtungen an den Positionen A, D und F befinden.

**[0038]** Fig. 7 ist eine schematische Ansicht eines Teils eines beispielhaften Systems gemäss der vorliegenden Erfindung, das verschiedene Konfigurationen von Vorbehandlungsvorrichtungen umfasst.

**[0039]** Fig. 8 ist eine schematische Ansicht eines Teils einer Ausführungsform eines Systems gemäss der vorliegenden Erfindung.

**[0040]** Fig. 9 ist ein Flusschema, das eine Ausführungsform eines Verfahrens gemäss der vorliegenden Erfindung zeigt.

**[0041]** Fig. 10 ist ein Flusschema, das eine andere Ausführungsform eines Verfahrens gemäss der vorliegenden Erfindung zeigt.

**[0042]** Fig. 11A-D sind Graphen, die Vergleiche des normalisierten LCSB in eingedicktem ÜS (A), Primärschlamm (B), gefaultem Schlamm (C) und uneingedicktem ÜS (D) nach verschiedenen bei 8 bar betriebenen Vorbehandlungen zeigen. Niedrige Intensität (80-84 l·min<sup>-1</sup>), mittlere Intensität (60 l·min<sup>-1</sup>), hohe Intensität (36-38 l·min<sup>-1</sup>). Die angegebenen Temperaturänderungen entsprechen der Differenz zwischen dem Einlauf und dem Endschmutzwasser. «GF» bedeutet Gesamtfeststoffgehalt.

**[0043]** Fig. 12 zeigt einen Vergleich des Grads der in gefaultem Schlamm, uneingedicktem und eingedicktem Überschusschlamm (ÜS) erreichten Auflösung nach verschiedenen Vorbehandlungen. EÜS bedeutet eingedickter Überschusschlamm.

**[0044]** Fig. 13 zeigt eine volumetrische Partikelgrößenverteilung von eingedicktem ÜS nach verschiedenen Vorbehandlungsbedingungen.

**[0045]** Fig. 14 zeigt eine volumetrische Partikelgrössenverteilung von gefaultem Schlamm nach verschiedenen Vorbehandlungsbedingungen.

**[0046]** Fig. 15 zeigt einen Vergleich der einzelnen FFS-Gehalte von uneingedicktem ÜS nach verschiedenen Vorbehandlungen.

**[0047]** Fig. 16 zeigt einen Vergleich der Kohlehydratkonzentrationen von uneingedicktem ÜS nach verschiedenen Vorbehandlungen.

**[0048]** Fig. 17 zeigt die kapillaren Saugzeiten von verschiedenen Schlämmen nach anaerober Faulung.

**[0049]** Fig. 18A und B zeigen den Abtötungseffekt, der von einer oder mehreren Vorbehandlungsvorrichtungen auf Mikroorganismen wie etwa *E. coli* in verschiedenen biologisch abbaubaren Abfallströmen gemäss der vorliegenden Erfindung bereitgestellt wird.

## AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

**[0050]** Bei einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung handelt es sich um ein Verfahren zur Vorbehandlung von Klärschlamm in einem Klärwerk (KW), um die anaerobe Faulung zu begünstigen. Das Verfahren beinhaltet: (a) Leiten von Klärschlamm durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem KW in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; (b) Leiten des in Schritt (a) behandelten Klärschlammes zu einem anaeroben Faulbehälter; und (c) Sammeln von in Schritt (b) produziertem Methan.

**[0051]** Das in Fig. 9 gezeigte Ablaufschema ist eine repräsentative Veranschaulichung einer Ausrüstung, die im Umfang dieser ersten Ausführungsform liegt. Wie gezeigt, kann eine optionale Pumpe 600 verwendet werden, um den Klärschlamm von einer Vorbehandlungsvorrichtung 601, 602, 603 zu einer anderen und schlussendlich zu einem anaeroben Faulbehälter 604 zur weiteren Verarbeitung des Klärschlammes zu leiten. Die Art der Pumpe, die verwendet werden kann, ist nicht entscheidend, solange sie ausreicht, um den Klärschlamm mit der gewünschten Strömungsgeschwindigkeit zu bewegen, und nicht dazu führt, dass der Klärschlamm überhitzt wird.

**[0052]** «Klärschlamm» bedeutet das zurückbleibende halbfeste Material, das von wassergetragenen Abfall, wie z. B. städtischem oder industriellem Abwasser, Exkrement, Oberflächenabfluss von Niederschlag, anderem verbrauchten Wasser von Wohnhäusern und Institutionen, das Körperabfälle, Waschwasser, Nahrungsmittelzubereitungsabfälle, Wäscheabfälle und andere Abfallprodukte des normalen Lebens trägt, hinterlassen wird. Wie hierin verwendet, umfasst «Klärschlamm» Primärschlamm, Überschussschlamm (ÜS), EÜS und Faulrückstand allein oder in Kombination. «Primärschlamm» bedeutet Klärschlamm, der keiner Behandlung unterzogen wurde. Bei der vorliegenden Erfindung bedeutet «Überschussschlamm» oder «ÜS» Klärschlamm, der einem Behandlungsprozess unterzogen wurde, der Mikroorganismen wie z. B. Bakterien und Protozoen verwendet. «EÜS», wie hierin verwendet, ist ÜS nach dem Eindicken mit z. B. einem geladenen Polymer zum Erhöhen des Feststoffgehalts. Bei der vorliegenden Erfindung bedeutet «gefault» oder «Faulrückstand» Feststoffe vom Ende einer anaeroben Faulung.

**[0053]** Bei der vorliegenden Erfindung ist ein «Klärwerk» eine Anlage, bevorzugt eine Anlage in kommerziellem Massstab, die Klärschlamm behandelt, um ihn umweltfreundlicher zu machen, z. B. um ihn für die Verwendung zur Geländeauffüllung, als Dünger und/oder als Bodenverbesserer geeignet zu machen und/oder durch Gewinnen gewisser Komponenten daraus, z. B. Methan, und/oder ihn in eine Brennstoffquelle umzuwandeln, z. B. als Festbrennstoffquelle für ein Festbrennstoff-Kraftwerk.

**[0054]** Bei den vorliegenden erfindungsgemässen Verfahren gelangt der Klärschlamm durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, die ihn aufschlüsseln, z. B. so dass er leichter von einem anaeroben Faulbehälter, einem aeroben Faulbehälter oder beiden verarbeitet werden kann. Bei anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung, wie nachfolgend ausführlicher beschrieben, wird der Schlamm mit einem Eindickungsmittel in Kontakt gebracht, entwässert und optional verdichtet. Derartiges Material kann optional nicht in einen Faulbehälter eingebracht werden, sondern ist direkt für die Verwendung als Geländeauffüller, Dünger und/oder Bodenverbesserer geeignet oder ist, wenn zu z. B. Pellets verdichtet, für die Verwendung als Festbrennstoffquelle für ein Festbrennstoff-Kraftwerk geeignet.

**[0055]** Eine beispielhafte Vorbehandlungsvorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung beinhaltet einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen Einlass in Fluidverbindung mit dem KW und einen Auslass aufweist. Die Vorbehandlungsvorrichtung weist ausserdem eine mit dem Durchgang in Verbindung stehende Transportfluiddüse auf, die dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen. Die Transportfluiddüse weist einen Einlass, einen Auslass und einen Halsabschnitt, der sich zwischen dem Einlass und dem Auslass befindet, auf. Bei diesem Aspekt der Erfindung weist der Halsabschnitt eine Querschnittsfläche auf, die geringer ist als die des Einlasses und des Auslasses. Bei der vorliegenden Erfindung kann die Transportfluiddüse im Wesentlichen den Durchgang zwischen dem Einlass- und dem Auslass desselben umschreiben und sich in diesen öffnen. Die Vorbehandlungsvorrichtung kann weiter optional eine Mischkammer aufweisen, die innerhalb des Durchgangs stromabwärts von der Transportfluiddüse gebildet ist.

**[0056]** Die Transportfluiddüse ist bevorzugt inwendig davon von konvergentdivergenter Geometrie, wie etwa um in Gebrauch die Generation von Überschallstrom des Transportfluids bereitzustellen und die Transportfluiddüse und die optionale Mischkammer sind derart disponiert und konfiguriert, dass durch das Einbringen des Transportfluids durch die Transportfluiddüse und anschliessendes Kondensieren desselben in Gebrauch ein dispergiertes Tröpfchenströmungsregime und eine Überschallstossstelle innerhalb des die optionale Mischkammer umfassenden Durchgangs erzeugt werden, und wodurch durch das Einbringen des Transportfluids durch die Transportfluiddüse ein pseudo-konvergent-divergenter Abschnitt in dem Klärschlammstrom in dem die optionale Mischkammer beinhaltenden Durchgang erzeugt wird. Eine konvergent-divergente Düse in diesem Zusammenhang bedeutet eine Düse, die eine kontinuierliche und allmähliche Verringerung der Querschnittsfläche von dem Einlass zu dem Hals und eine kontinuierliche und allmähliche Zunahme der Querschnittsfläche von dem Hals zu dem Auslass aufweist.

**[0057]** Der Durchgang der Vorbehandlungsvorrichtung kann von beliebiger zweckmässiger Querschnittsform sein, die für die bestimmte Anwendung der Vorbehandlungsvorrichtung geeignet ist, z. B. die Vorbehandlung von Klärschlamm. So kann die Durchgangsform kreisförmig, geradlinig oder eine beliebige Zwischenform sein, zum Beispiel krummlinig.

**[0058]** Bei dem Hochgeschwindigkeits-Transportfluid kann es sich um ein Fluid oder ein Gas wie z. B. Dampf, Kohlendioxid, Stickstoff und Kombinationen davon handeln. Das Transportfluid ist bevorzugt komprimierbar. Bei einer anderen bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem Transportfluid um Dampf oder Druckluft. Das Transportfluid kann entweder auf kontinuierliche oder diskontinuierliche Weise eingebracht werden.

**[0059]** Die Intensität der Überschallstossstelle zum Generieren der Überschallströmung des Transportfluids kann durch Manipulieren der verschiedenen in dem System, wenn es betriebsfähig ist, herrschenden Parameter gesteuert werden. Dementsprechend können Strömungsgeschwindigkeit, Druck und Qualität, d. h. im Fall des Dampfs die Trockenheit, des Transportfluids geregelt werden, um die erforderliche Intensität der Stossstelle zu erhalten. Während zum Beispiel der Druck des Dampfs verändert werden kann, um einen bestimmten Zweck zu erfüllen, beträgt bei der vorliegenden Erfindung der Druck des zu jeder Transportfluiddüse zugeführten Dampfs ungefähr 4-9 bar Überdruck, obwohl derartige Drücke abhängig vom bestimmten System verändert werden können und relativ zu z. B. dem in dem bestimmten System bereits vorhandenen Gegendruck sind. In diesem Zusammenhang steht die Intensität der Stossstelle im Wesentlichen mit ihrem Entwicklungsgrad innerhalb und über den Durchgang und die Mischkammer in Beziehung. Zum Beispiel kann sich die Stossstelle über den gesamten Querschnitt entwickeln oder dies nur teilweise tun, so dass ein offener Kern in der Mitte bereitgestellt wird. Die Intensität der Stossstelle kann daher veränderlich sein. Des Weiteren kann die Intensität der Stossstelle auch anhand ihrer Position innerhalb oder möglicherweise ausserhalb des Durchgangs bzw. der Mischkammer bestimmt oder definiert werden. Die Positionierung der Stossstelle kann gemäss Betreiberanforderungen manipuliert werden und ist nicht durch die physikalischen Einschränkungen herkömmlicher Ejektoren begrenzt, da die Pseudo-Vena-Contracta von veränderlicher Dimension ist.

**[0060]** Die Überschallstossstelle stellt in einem Aspekt ihrer Funktion eine Barriere dar, durch die oder über die Fluidströmung in nur einer Richtung stattfindet, und in dieser Beziehung kann sie als Einwegventil betrachtet werden, da es keine geplante Möglichkeit des Rückstroms durch die Stossstelle gibt. Des Weiteren stellt die Dampfkondensation direkt im Vorfeld der Erzeugung einer Überschallstossstelle einen Selbstinduktionsmechanismus bereit, wodurch das Transportfluid von genau der Stossstelle eingesaugt wird, die das Fluid produziert und ist dementsprechend, wenn in Betrieb, in gewissem Mass selbsterhaltend. Es sind vorwiegend die Position und die Intensität der Stossstelle, die den über die Einheit erhaltenen Druckgradienten diktieren, der seinerseits das Potential für die Druck- und die Saughöhe sowie die Strömungsgeschwindigkeit der Einheit definiert.

**[0061]** In Anbetracht des Vorangehenden unterzieht das Leiten des Klärschlammes durch jede Vorbehandlungsvorrichtung den Klärschlamm Folgendem: (a) turbulenter mehrphasiger Strömung mit Überschallgeschwindigkeiten für weniger als ungefähr 50 cm; (b) Bildung eines dispergierten oder teilweise dispergierten Felds, das von einem Teilvakuum umgebene Tröpfchen aus Klärschlamm beinhaltet; und (c) geregelter Erwärmung. Der Druck des Teilvakuums gemäss den Verfahren der vorliegenden Erfindung beträgt weniger als ungefähr 1 bar. Ausserdem ist ein Temperaturanstieg in dem durch jede Vorbehandlungsvorrichtung laufenden Klärschlamm (AT) steuerbar und bevorzugt auf nicht mehr als ungefähr 10-20 °C begrenzt.

**[0062]** Die Transportfluiddüse befindet sich bevorzugt so nah wie möglich an der projizierten Oberfläche des Klärschlammes oder des Abfallflusses davon, in der Praxis und in dieser Hinsicht ist eine Messerschneidentrennung zwischen dem Transportfluid oder Dampf und dem Klärschlamm- oder Abwasserfluss von Vorteil, um den erforderlichen Grad an Wechselwirkung zu erreichen. Die Winkellorientierung der Transportfluiddüse in Bezug auf den Klärschlamm oder das Abwasser ist von Bedeutung und kann flach sein.

**[0063]** In manchen Fällen kann eine Reihe von Transportfluiddüsen längs des Durchgangs bereitgestellt sein und die Geometrie der Transportfluiddüsen kann sich abhängig von dem gewünschten Effekt von einer zur anderen ändern. Zum Beispiel kann sich die Winkellorientierung von einer zur anderen ändern. Die Transportfluiddüsen können die gleiche oder sich unterscheidende Geometrien aufweisen, um verschiedene Effekte zu bieten, d. h. verschiedene Leistungseigenschaften mit möglicherweise sich unterscheidenden parametrischen Dampfbedingungen. Jede Transportfluiddüse kann stromaufwärts derselben einen Mischkammerabschnitt aufweisen. In dem Fall, in dem eine Reihe von Transportfluiddüsen bereitgestellt ist, kann die Zahl der betriebsfähigen Transportfluiddüsen veränderlich sein.

**[0064]** Die Transportfluiddüse kann von einer Form sein, um der Form des Durchgangs zu entsprechen. Die Erfindung betrachtet optional eine volle Umschreibung des Durchgangs durch die Transportfluiddüse, ungeachtet der Form. So ist bei einem Aspekt der vorliegenden Erfindung die Transportfluiddüse kreisringförmig und umschreibt den Durchgang.

**[0065]** Die Transportfluiddüse kann kontinuierlich oder diskontinuierlich in der Form einer Vielzahl von Öffnungen sein, z. B. segmentweise, in einem umschreibenden Muster, das kreisförmig sein kann, angeordnet. In beiden Fällen kann jede Öffnung mit schraubenförmigen Flügeln versehen sein, die gebildet sind, um in der Praxis der Strömung von Transportfluid eine Verwirbelung zu verleihen. Als weitere Alternative kann die Transportfluiddüse den Durchgang in Form einer kontinuierlichen schraubenförmigen Rolle über einer Länge des Durchgangs umschreiben, wobei die Transportfluiddüse in der Wand des Durchgangs gebildet ist.

**[0066]** Wie oben angemerkt, ist die Transportfluiddüse inwendig davon von einer konvergent-divergenten Geometrie und in der Praxis ist die Transportfluiddüse dazu konfiguriert, die Überschallströmung von Transportfluid innerhalb des Durchgangs zu ergeben. Für eine gegebene Dampfbedingung, d. h. Trockenheit, Druck und Temperatur, ist die Transportfluiddüse bevorzugt dazu konfiguriert, den Dampfstrahl mit der höchsten Geschwindigkeit, den niedrigsten Druckabfall und die höchste Enthalpie bereitzustellen.

**[0067]** Nur zum Beispiel und nicht als Einschränkung liegt ein optimales Flächenverhältnis für die Fluidtransportdüse, das heisst, Austrittsfläche: Halsfläche im Bereich 1,75 und 7,5, mit einem eingeschlossenen Winkel von weniger als 9°.

**[0068]** Die Transportfluiddüse ist zweckmässig zu der Strömung hin schräg gestellt, da dies das Eindringen des Transportfluids bewirkt und vorteilhafterweise sowohl den Verlust von kinetischer Energie an der Wand des Durchgangs als auch die vorzeitige Kondensation des Dampfs an der Wand des Durchgangs, wo eine ungünstige Temperaturdifferenz herrscht, verhindert. Die Winkelerorientierung der Transportfluiddüse(n) wird für optimale Leistung ausgewählt, die unter anderem von der Transportfluiddüsenorientierung und der inwendigen Geometrie der Mischkammer abhängt. Des Weiteren ist die Winkelerorientierung jeder Düse dazu ausgewählt, das pseudo-konvergent/divergente Profil und die Position der Kondensationsstossstelle gemäss dem Druck und den Strömungsgeschwindigkeiten zu steuern, die von der Vorbehandlungsvorrichtung verlangt werden. Darüber hinaus ist die Erzeugung von Turbulenz, die unter anderem durch die Winkelerorientierung der Transportfluiddüse beherrscht wird, wichtig, um optimale Leistung durch Dispersion des Klärschlamm- oder Abwasserflusses zu erreichen, um die Beschleunigung durch Impulsübertragung zu erhöhen. Dieser Aspekt ist von besonderer Bedeutung, wenn die Vorbehandlungsvorrichtung als Pumpe eingesetzt wird. Zum Beispiel und nicht als Einschränkung wurde bei der vorliegenden Erfindung herausgefunden, dass eine Winkelerorientierung für jede Fluidtransportdüse im Bereich 0 bis 30° liegen kann.

**[0069]** Eine Reihe von Fluidtransportdüsen mit optional jeweiligen damit assoziierten Mischkammerabschnitten kann längs des Durchgangs bereitgestellt sein und in diesem Fall können die Transportfluiddüsen verschiedene Winkelerorientierungen aufweisen, zum Beispiel von der ersten Fluidtransportdüse in einer stromabwärtigen Richtung abnehmend. Jede Düse kann die gleiche oder eine andere Funktion als die andere bzw. anderen aufweisen, zum Beispiel Pumpen, Mischen, Auflösen, und kann in der Praxis selektiv in Betrieb genommen werden. Siehe z. B. Fig. 6. Jede Transportfluiddüse kann dazu konfiguriert sein, die gewünschten Effekte auf den Klärschlamm oder einen Abfallfluss davon zu ergeben. Des Weiteren kann in einem Mehrdüsen-System durch das Einbringen des Transportfluids, zum Beispiel Dampf, eine Erwärmung in Phasen erreicht werden. Diese Vorgehensweise kann erwünscht sein, um eine allmähliche Erwärmung eines Klärschlammes oder eines Abfallflusses davon bereitzustellen.

**[0070]** Die Geometrie der optimalen Mischkammer wird durch die gewünschte und geplante Ausgangsleistung bestimmt und um den Auslegungsdampfbedingungen und der Düsengeometrie zu entsprechen. In dieser Hinsicht wird man einsehen, dass ein kombinatorischer Effekt, wie er zwischen den verschiedenen geometrischen Merkmalen und deren Effekt auf die Leistung vorliegt, das heisst, es gibt eine Wechselwirkung zwischen den verschiedenen Auslege- und Leistungsparametern unter Berücksichtigung der definierten Funktion der Vorbehandlungsvorrichtung.

**[0071]** Am Ort jeder Fluidtransportdüse in dem Durchgang ist die Dimension des Durchgangs grösser als sowohl stromaufwärts als auch stromabwärts davon, da diese Zunahme das zusätzliche Volumen des eingebrachten Fluids ausgleicht. Die Querschnittsfläche der Mischkammer ist jedoch immer übereinstimmend mit oder grösser als die Querschnittsfläche des Durchgangs, wodurch etwaiges in den Durchgang eindringendes Material auf keine Einengung trifft. Die Querschnittsfläche der Mischkammer kann sich mit der Länge verändern und kann sich unterscheidende Grade der Reduktion entlang ihrer Länge aufweisen, d. h. die Mischkammer kann unter verschiedenen Winkeln an verschiedenen Stellen entlang ihrer Länge verjüngt sein. Die Mischkammer ist vom Ort jeder Fluidtransportdüse ausgehend verjüngt und das Verjüngungsverhältnis ist derart gewählt, dass die Mehrphasen-Strömungsgeschwindigkeit und die Druckverteilung der Kondensationsstossstelle an ihrer optimalen Position gehalten werden. Diese Stelle findet sich in der Region des Halses der Mischkammer, es werden jedoch auch andere Positionen, zum Beispiel direkt hinter dem Hals, in Betracht gezogen. Wie vorangehend angedeutet, ist die Intensität der Stossstelle steuerbar und diktiert, gekoppelt mit ihrer Positionierung, ihre Leistungseigenschaften. Die Überschallstossstelle muss sich nicht über die ganze Querschnittsdimension des Durchgangs bzw. der Mischkammer erstrecken und kann einem Kreisring ähneln. Sie kann zum Beispiel einer Kreisringform mit einer mittleren Aussparung ähnlich sein. Die Regulierung der Stossstelle ist ein Bestimmungsfaktor für die Leistung der Vorbehandlungsvorrichtung.

**[0072]** Die Mischkammer der vorliegenden Vorrichtung kann von veränderlicher Länge sein, um eine Steuerung an der Stelle bereitzustellen, an der das Einfallen oder die Implosion des Dampfs, d. h. Kondensation und Druckabfall, stattfindet, so dass die Ausdehnung der Überschallstosswelle und die Leistung der Vorbehandlungsvorrichtung beeinflusst werden. Die Länge der Mischkammer wird daher gewählt, um die optimale Leistung in Bezug auf Impulsübertragung bereitzustellen. Bei manchen Ausführungsformen der Erfindung kann die Länge in situ verstellbar sein, statt im Voraus ausgelegt zu sein, um ein Mass an Vielseitigkeit bereitzustellen. Der Einfall des Dampfs führt zu einer Implosionskraft, die auch den eingeschlossenen Klärschlamm- oder Abwasserfluss innerhalb des umschreibenden Dampfstroms in dem Ausmass beeinflusst, dass ein Einschnüreffekt stattfindet. Dementsprechend ist der Dampfeinfall fokussiert und dem dadurch induzierten Klärschlamm- oder Abwasserfluss wird dadurch eine Richtung verliehen.

**[0073]** Stromabwärts von dem Auslass von dem Durchgang kann eine Abdeckung bereitgestellt sein, um den Einfalleffekt zu verstärken und den Druck nutzbar zu machen und ein zusätzliches Volumen des Klärschlamm- oder Abwasserflusses zu beschleunigen.

**[0074]** Beim Ausführen eines Verfahrens der vorliegenden Erfindung wird die Erzeugung einer Stosswelle sowie die Steuerung ihrer Position und Intensität durch die Auslegung der Transportfluiddüse bewirkt, die mit der Einstellung der gewünschten parametrischen Bedingungen in Wechselwirkung steht, zum Beispiel im Fall von Dampf als Transportfluid, des Drucks, der Trockenheit oder der Dampfqualität, der Temperatur und der Strömungsgeschwindigkeit, um die erforderliche Leistung der Dampf Düse zu erreichen. Repräsentative Vorbehandlungsvorrichtungen gemäss der vorliegenden Erfindung sind die PDX-13, -25 und -47, die von Pursuit Dynamics plc (Huntingdon, U.K.) hergestellt und verkauft werden. Wie hierin dargelegt, können diese Vorrichtungen allein, in Reihe und/oder in parallelen Konfigurationen verwendet werden. Siehe z. B. Fig. 7 und 8.

**[0075]** Fig. 7 bildet verschiedene Konfigurationen der Vorbehandlungsvorrichtung 1 in Fig. 1 ab. Zur Klarheit sind die zum Verbinden einer bzw. jeder Vorbehandlungsvorrichtung mit einer Quelle von Transportfluid notwendigen Rohrleitungen in den Schemas weggelassen. In Fig. 7(a) wird eine Vorbehandlungsvorrichtung 100 verwendet. In Fig. 7(b) sind drei Vorbehandlungsvorrichtungen 100 in Reihe gezeigt. Fig. 7(c) zeigt zwei parallel angeordnete Vorbehandlungsvorrichtungen 100 und Fig. 7(d) zeigt zwei parallele Zweige, die jeweils aus zwei Vorbehandlungsvorrichtungen 100 in Reihe bestehen. Diese Konfigurationen sind lediglich Beispiele, es sind andere Zahlen von Vorbehandlungsvorrichtungen 100 in Reihe oder parallel angeordnet möglich, wie z. B. von 1-10 oder mehr, einschliesslich 1-4 wie etwa 1-3, je nach Bedarf für die gewählte Anwendung. Es können zusätzliche Ventile und Pumpen (nicht gezeigt) enthalten sein, um den Strom nach Wunsch zu steuern. Zum Beispiel, um den Klärschlamm gleichmässig aufzuteilen, wenn eine Zahl von Vorbehandlungsvorrichtungen parallel angeordnet sind oder so dass ein Zweig eines parallelen Systems nach dem anderen abgesperrt werden kann, um die Reinigung vor Ort (CIP) zuzulassen. Fig. 8 zeigt die in Fig. 7(b) abgebildete Konfiguration genauer und inkorporiert eine Transportfluidversorgung 50 und eine Transportfluidversorgungsleitung 48, die die Transportfluidversorgung 50 mit den drei Vorbehandlungsvorrichtungen 100 verbindet. In jeder Transportfluidversorgungsleitung 48 ist vor jeder einzelnen Vorbehandlungsvorrichtung 100 ein optionaler Transportfluidkonditionierer 80 inkorporiert. Der optionale Transportfluidkonditionierer 80 kann dazu angepasst sein, den Versorgungsdruck des Transportfluids an jede Düse zu verändern. Bei alternativen Transportfluidkonditionierern kann es sich z. B. um eine Heizvorrichtung, um überhitzten Dampf zu erzeugen, oder um eine Kondensatfalle, um Kondensat aus der Transportfluidversorgungsleitung 48 zu entfernen, handeln. Ähnliche Rohrleitungen und Transportfluidkonditionierer können für einen beliebigen Reaktor 18 inkorporiert werden, der aus einer beliebigen Konfiguration von parallel und/oder in Reihe angeordneten Vorbehandlungsvorrichtungen besteht. Ausserdem können eine oder mehrere Transportfluidversorgungen 50 genutzt werden.

**[0076]** Betrachtet man nun Fig. 1, zeigt sie eine repräsentative Vorbehandlungsvorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung 1, die ein Gehäuse 2 beinhaltet, das einen einen Einlass 4 und einen Auslass 5 bereitstellenden Durchgang 3 definiert, wobei der Durchgang 3 von im Wesentlichen konstantem Querschnitt oder Durchmesser ist. Der Einlass 4 ist am vorderen Ende eines Vorsprungs 6 gebildet, der sich in das Gehäuse 2 hinein erstreckt und ausserhalb davon eine Druckkammer 8 zum Einbringen eines Transportfluids definiert, wobei die Druckkammer 8 mit einem Transportfluideinlass 10 versehen ist. Der Vorsprung 6 definiert inwendig davon einen Teil des Durchgangs 3. Das distale Ende 12 des Vorsprungs 6, das von dem Einlass 4 entfernt ist, ist an seiner relativ äusseren Oberfläche bei 14 verjüngt und definiert eine Transportfluiddüse 16 zwischen ihm und einem entsprechend verjüngten Teil 19 der inneren Wand des Gehäuses 2, wobei die Transportfluiddüse 16 mit der Druckkammer 8 in Fluidverbindung steht. Die Transportfluiddüse 16 ist derart geformt, dass sie in Gebrauch eine Überschallströmung ergibt.

**[0077]** In Betrieb ist der Einlass 4 mit einer Quelle von Klärschlamm verbunden, wie z. B. einem KW oder einem Abfallfluss davon. Das Einbringen des Transportfluids (zum Beispiel Dampf) durch den Einlass 10 und die Druckkammer 8 in die Vorbehandlungsvorrichtung 1 bewirkt, dass ein Strahl von Transportfluid durch die Transportfluiddüse 16 hervordringt. Die parametrischen Eigenschaften des Transportfluids sind derart ausgewählt, dass in Gebrauch eine Überschallstosswelle innerhalb des Durchgangs 3 stromabwärts von der Transportfluiddüse 16 in einem als Mischkammer (3A) operierenden Abschnitt des Durchgangs generiert wird. In Betrieb wird die Stosswelle in der Mischkammer (3A) erzeugt und wird in einer angebrachten Entfernung innerhalb der Mischkammer (3A) aufrechterhalten. Der Transportfluidstrahl, der aus der Transportfluiddüse hervordringt, bewirkt die Induktion des Klärschlammes oder eines Abfallflusses davon durch den Durchgang 3, der aufgrund seiner konstanten Dimension kein Hindernis für den Fluss darstellt. In dem Fall, in dem Dampf als Transportfluid verwendet wird, fällt der Dampf an einer Stelle, die von den Dampf- und den geometrischen Bedingungen sowie

der Wärme- und Massenübertragungsrate bestimmt wird, ein oder implodiert und kondensiert somit, was eine Reduktion des Drucks verursacht. Die Dampfkondensation findet unmittelbar vor der so gebildeten Stosswelle statt, die ihrerseits einen hohen Druckgradienten erzeugt, der die Induktion von Fluid durch den Durchgang 3 verstärkt.

**[0078]** Nach dem Leiten des Klärschlamm durch die eine bzw. mehreren Vorbehandlungsvorrichtungen, wie oben ausführlich beschrieben, wird der so behandelte Klärschlamm zu einem anaeroben Faulbehälter geleitet. Siehe z. B. Fig. 6. Wie hierin verwendet, bedeutet ein «anaerober Faulbehälter» einen Faulbehälter, der die Aufschlüsselung der organischen oder biologisch abbaubaren Komponenten des Klärschlamm in Abwesenheit von Sauerstoff begünstigt. Anaerobe Faulbehälter sind auf dem Gebiet gut bekannt und die genaue Auslegung hängt von den Umständen ab, die z. B. vom Betreiber des KW verlangt werden. Die anaerobe Faulung generiert Biogas mit einem hohen Anteil an Methan. Nachdem das so behandelte Material durch den anaeroben Faulbehälter geleitet worden ist, wird Methan gesammelt und kann vom Betreiber verwendet werden, um die KW-Anlage mit Energie zu versorgen und/oder kann verkauft werden.

**[0079]** Prozesse und Verfahren zum Sammeln von durch anaerobe Faulung produziertem Methan sind auf dem Gebiet gut bekannt. Ausserdem können beliebige derartige Prozesse und Vorrichtungen in Verbindung mit dem vorliegenden Prozess verwendet werden, solange sie an das bestimmte KW angepasst werden können, das mit den Vorbehandlungsvorrichtungen gemäss der vorliegenden Erfindung ausgestattet ist.

**[0080]** Bei einem anderen Aspekt dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist der Auflösungsgrad (AG) des Klärschlamm nach dem Schritt des Leitens des Klärschlamm durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen (Schritt (a)) im Vergleich zu Klärschlamm, der nicht durch eine Vorbehandlungsvorrichtung geleitet wird, erhöht. Siehe z. B. Fig. 12. Eine derartige Erhöhung kann mindestens ungefähr 1-fach sein, wie etwa ungefähr 2-fach-6-fach, bevorzugt ungefähr 7-fach oder mehr. Wie Fig. 12 zeigt, erhöht die Verwendung von zwei oder mehr Vorbehandlungsvorrichtungen gemäss der vorliegenden Erfindung (in der Figur als «PDX» gekennzeichnet) den Auflösungsgrad von mindestens dem ÜS und dem EÜS deutlich. Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden mindestens 2, bevorzugt mindestens 3, Vorbehandlungsvorrichtungen verwendet, bevorzugt bei niedriger Intensität, wie in den Beispielen ausführlicher definiert wird.

**[0081]** Bei einem anderen Aspekt dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Partikelgrösse des Klärschlamm nach dem Schritt des Leitens des Klärschlamm durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen (Schritt (a)) im Vergleich zu Klärschlamm, der nicht durch eine Vorbehandlungsvorrichtung geleitet wird, verringert. Siehe z. B. Fig. 13-14. Bei der vorliegenden Erfindung kann die Verringerung ungefähr 1-fach, 2-fach-9-fach, bevorzugt ungefähr 10-fach oder mehr sein. Wie Fig. 12-14 zeigen, verringert die Verwendung von zwei oder mehr Vorbehandlungsvorrichtungen gemäss der vorliegenden Erfindung (in der Figur als «PDX» gekennzeichnet) die volumetrische Partikelgrösse von mindestens dem ÜS und dem Faulrückstand deutlich. Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden mindestens 2, bevorzugt mindestens 3 Vorbehandlungsvorrichtungen verwendet, bevorzugt bei niedriger Intensität, wie ausführlicher in den Beispielen definiert wird.

**[0082]** Bei einem anderen Aspekt dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Gesamtkonzentration von gewissen flüchtigen Fettsäuren, wie z. B. Essigsäure, in dem Klärschlamm nach dem Schritt des Leitens des Klärschlamm durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen (Schritt (a)) im Vergleich zu Klärschlamm, der nicht durch eine Vorbehandlungsvorrichtung geleitet wird, erhöht. Siehe z. B. Fig. 15. Wie Fig. 15 zeigt, erhöht die Verwendung von zwei oder mehr Vorbehandlungsvorrichtungen gemäss der vorliegenden Erfindung (in der Figur mit «PDX» gekennzeichnet) die Produktion gewisser FFS, wie etwa z.B. Essigsäure, von mindestens dem ÜS deutlich. Bei der vorliegenden Erfindung beträgt die Menge an produzierter Essigsäure zwischen ungefähr 20-70 % der Gesamt-FFS. Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden mindestens 2, bevorzugt mindestens 3 Vorbehandlungsvorrichtungen verwendet, bevorzugt bei niedriger Intensität, wie ausführlicher in den Beispielen definiert wird.

**[0083]** Bei einem anderen Aspekt dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die Kohlehydratkonzentration im Klärschlamm nach dem Schritt des Leitens des Klärschlamm durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen (Schritt (a)) im Vergleich zu Klärschlamm, der nicht durch eine Vorbehandlungsvorrichtung geleitet wird, erhöht. Siehe z. B. Fig. 16. Wie Fig. 16 zeigt, erhöht die Verwendung von zwei oder mehr Vorbehandlungsvorrichtungen gemäss der vorliegenden Erfindung (in der Figur als «PDX» gekennzeichnet) die Konzentration von Kohlehydraten in mindestens dem ÜS und dem EÜS deutlich. Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden mindestens 2, bevorzugt mindestens 3, Vorbehandlungsvorrichtungen verwendet, bevorzugt bei niedriger Intensität, wie in den Beispielen ausführlicher definiert wird.

**[0084]** Bei einem anderen Aspekt dieser Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist die kapillare Saugzeit des Klärschlamm, ein Mass des Entwässerungspotentials, nach dem Schritt des Leitens des Klärschlamm durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen (Schritt (a)) im Vergleich zu Klärschlamm, der nicht durch eine Vorbehandlungsvorrichtung geleitet wird, erhöht. Siehe z. B. Fig. 17. Wie Fig. 17 zeigt, wurde eine Verringerung von ungefähr 45 % der KSZ des geprüften ÜS- und Primärschlamm-Faulrückstands im Vergleich zur Kontrolle beobachtet, was eine erhebliche Verbesserung der Entwässerung demonstriert. Bei dieser Ausführungsform kann die Verringerung ausserdem mindestens ungefähr 10 % betragen, einschliesslich mindestens ungefähr 20 % und mindestens ungefähr 40 % oder mehr.

**[0085]** Bei noch einem anderen Aspekt dieser Ausführungsform handelt es sich bei dem Klärschlamm, der durch die eine oder mehreren Vorbehandlungsschritte gelangt (in Schritt (a)) um einen einzelnen Schlammfluss, der aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Primärschlamm, Überschussschlamm (ÜS), eingedicktem Überschussschlamm (EÜS) und Fest-

stoffen vom Ende der anaeroben Faulung (Faulrückstand) besteht. Bei einem anderen Aspekt dieser Ausführungsform handelt es sich bei dem Klärschlamm, der durch die eine oder mehreren Vorbehandlungsschritte gelangt (in Schritt (a)) um eine Mischung von einem oder mehreren Schlammflüssen, die aus der Gruppe ausgewählt sind, die aus Primärschlamm, Überschussschlamm (ÜS), eingedicktem Überschussschlamm (EÜS) und Feststoffen vom Ende der anaeroben Faulung (Faulrückstand) besteht.

**[0086]** Bei einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zum Mischen, Aufbrechen und Erwärmen von Faulrückstand in einer Schlammumwälzschleife an einem Faulbehälter in einem Klärwerk (KW) bereitgestellt. Dieses Verfahren beinhaltet Folgendes: (a) Leiten des Faulrückstands durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem Faulrückstand in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; (b) Zurückleiten des in Schritt (a) behandelten Faulrückstands zu dem Faulbehälter; und (c) Sammeln von in dem Faulbehälter produziertem Methan.

**[0087]** Bei dieser Ausführungsform ist das KW mit einer Schlammumwälzungsschleife an dem Faulbehälter ausgestattet. Siehe z. B. die Schleife F von Fig. 6. Bei einer derartigen Konfiguration können eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wie etwa 505 von Fig. 6, den Faulrückstand von dem Faulbehälter weiter mischen, aufbrechen und/oder erwärmen, bevor er zur weiteren Verarbeitung zu dem Faulbehälter zurückgeführt wird. Schritte (b) und (c) dieser Ausführungsform werden wie zuvor hierin beschrieben ausgeführt. Unter Verwendung eines derartigen Verfahrens sind weitere Erhöhungen der Mengen an Methan erreichbar, die von dem Faulbehälter gesammelt werden können.

**[0088]** Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung handelt es sich um ein Verfahren zum Vorbehandeln eines biologisch abbaubaren Abfallstroms. Dieses Verfahren beinhaltet Folgendes: (a) Leiten eines biologisch abbaubaren Abfallstroms durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; und (b) Leiten des in Schritt (a) behandelten biologisch abbaubaren Abfallstroms zu einem anaeroben Faulbehälter.

**[0089]** Bei diesem Verfahren sind die Vorbehandlungsvorrichtungen wie zuvor definiert. Bei dieser Ausführungsform kann es sich bei dem biologisch abbaubaren Abfallstrom um ein beliebiges Material handeln, für das die hierin offenbarten Verfahren von Vorteil sein können, insbesondere für die Behandlung oder Vorbehandlung vor dem Freisetzen zurück in die Umwelt. Der biologisch abbaubare Abfallstrom kann zum Beispiel aus der Gruppe ausgewählt sein, die aus Klärschlamm, Nahrungsmittelabfall, Fabrik- und Prozessabfall, Landwirtschaftsabfall sowie Papier und kompostierbarem Abfall besteht.

**[0090]** Bei einem anderen Aspekt dieser Ausführungsform beinhaltet die Vorbehandlungsvorrichtung weiter mindestens eine Sekundärdüse zwischen dem Einlass- und dem Auslassende des Durchgangs. Zahl und Verteilung der Sekundärdüsen sind nicht kritisch, solange sie dazu angepasst sind, ein oder mehrere Transportmaterialien an den biologisch abbaubaren Strom zu liefern, wenn er durch jede Vorbehandlungsvorrichtung gelangt. So kann sich die mindestens eine Sekundärdüse stromaufwärts und/oder stromabwärts von der Transportfluiddüse befinden.

**[0091]** Wie oben angemerkt, ist die Sekundärdüse dazu angepasst, ein Transportmaterial in den Durchgang zu liefern. Das Transportmaterial und das Transportfluid können gleich oder verschieden sein. Die Form des Transportmaterials ist nicht kritisch, solange es in dem biologisch abbaubaren Strom ausreichend dispergiert werden kann. So kann es sich bei dem Transportmaterial um eine Flüssigkeit, ein Pulver oder eine andere geeignete Form handeln. Das Transportmaterial verstärkt oder ergänzt bevorzugt die Effekte der Vorbehandlungsvorrichtungen oder liefert anderweitig eine erhöhte Qualität an den biologisch abbaubaren Strom.

**[0092]** Dementsprechend kann das Transportmaterial aus der Gruppe ausgewählt sein, die aus einer Chemikalie, einem Enzym, einer Mikrobekultur und Kombinationen derselben besteht. Bei der vorliegenden Erfindung umfassen die Chemikalien, die verwendet werden können z. B. Schwefelsäure, Essigsäure, Natriumhydroxid, Wasserstoffperoxid und dergleichen. Bei der vorliegenden Erfindung umfassen die Enzyme, die verwendet werden können, z. B. Carbohydrasen, Proteasen, Lipidasen oder Gemische geeigneter Enzyme, z. B. «Maserasen». Bei der vorliegenden Erfindung können Mikroben-Keimkulturen, die einen anaeroben Stamm enthalten, und/oder sich zersetzende Thermophile zum Unterstützen der Zersetzung komplexer Moleküle in dem Schlamm verwendet werden. Zum Beispiel kann in Betrieb die Sekundärdüse ionische Polymere in einer Menge an den biologisch abbaubaren Abfallstrom liefern, die wirksam ist, um den biologisch abbaubaren Abfallstrom einzudicken und zur Ausflockung zu bringen. Bei dieser Ausführungsform kann ein beliebiges ionisches Polymer verwendet werden, das dazu geeignet ist, die Entwässerung des biologisch abbaubaren Abfallstroms zu erreichen. Ionische Polymere sind auf dem Gebiet gut bekannt und können anionisch oder kationisch, linear, verzweigt und/oder vernetzt sein. Repräsentative, nicht einschränkende Beispiele von kationischen Polymeren umfassen Addukte von Aminen mit Epihalohydrinen oder Dihaloalkanen, Polyamiden und Polyethylen. Repräsentative, nicht einschränkende Beispiele von anionischen Polymeren umfassen ethylenisch ungesättigte Monomere, die Carbonsäuren oder Sulfonsäuregruppen beinhalten.

**[0093]** Betrachtet man nun Fig. 2, zeigt sie eine Vorbehandlungsvorrichtung mit mindestens einer Sekundärdüse, wie oben dargelegt. Diese Vorbehandlungsvorrichtung ist ähnlich der in Fig. 1 veranschaulichten, ausser dass ein Einlass 30

und eine Druckkammer 32 in dem Gehäuse 2, zusammen mit einer weiteren kreisringförmigen Düse 34, die an einem mit dem der Transportfluiddüse 16 zusammenfallenden Ort gebildet ist, in dem Gehäuse 2 bereitgestellt sind. In diesem Fall wird in Gebrauch zum Beispiel Luft von dem Einlass 30 und der Druckkammer 32 in die Transportfluiddüse 34 und von dort in den Durchgang 3 eingebracht, um den Strom zu belüften, wodurch ein dreiphasiger Zustand realisiert wird, der von der flüssigen Phase der Wassermasse, dem Dampf und der Luft gebildet wird.

**[0094]** Die Verwendung von Luft oder eines anderen Gases, wie z. B. Stickstoff, kann die Unterdrückung von Kavitation unterstützen, so dass die physikalische Schädigung des Gehäuses, wenn sie nah bei der Wand des Gehäuses stattfindet, reduziert wird. In Verbindung damit hat die Unterdrückung von Kavitation den vorteilhaften Effekt, dass sie die Geräuschpegel reduziert und dementsprechend wird die Schallsignatur der Vorbehandlungsvorrichtung so gemindert.

**[0095]** Die Leistung der Vorbehandlungsvorrichtung der vorliegenden Erfindung kann durch die Wahl von Materialien, aus denen sie aufgebaut ist, ergänzt werden. Obwohl die gewählten Materialien für die Temperatur, den Dampfdruck und das Arbeitsfluid geeignet sein müssen, unterliegt die Wahl keinen anderen Einschränkungen.

**[0096]** Die Transportfluiddüse 34 oder eine andere Düse oder andere Düsen können alternativ den Einlass für die Transportmaterialien bilden, der oben für die Verwendung zu Misch- oder Behandlungszwecken offenbart wurde. Zum Beispiel kann eine weitere Luftdüse in dem Durchgang bereitgestellt sein, um bei Bedarf die Belüftung des Arbeitsfluids bereitzustellen. Die Platzierung der Sekundärdüse kann entweder stromaufwärts oder stromabwärts von der Transportfluiddüse sein, oder wenn mehr als eine weitere Düse bereitgestellt ist, kann die Platzierung abhängig von den Anforderungen sowohl stromaufwärts als auch stromabwärts sein. Bei einem anderen Aspekt der Erfindung wird die Transportfluiddüse 34 verwendet, um weiteren Klärschlamm oder ein anderes Fluid, zum Beispiel Wasser, einzubringen, falls die Wärmekapazität des Hauptarbeitsfluidstroms möglicherweise nicht ausreichend ist, um das Löschen des Dampfes aufrechtzuerhalten, um die erforderliche Saugwirkung für das Arbeitsfluid bereitzustellen. Wie zuvor angemerkt, können andere Flüssigkeiten wie etwa eine Chemikalie, ein Enzym, eine Mikrobekultur oder Kombinationen davon durch die Sekundärdüsen in den Klärschlammstrom eingebracht werden. Die Sekundärdüse kann eine beliebige zweckmässige Form annehmen und kann an einem beliebigen zweckmässigen Ort an der Vorbehandlungsvorrichtung positioniert sein, solange sie in der Lage ist, zusätzliches Material bzw. zusätzliche Materialien zu dem Klärschlamm zuzuführen, d. h. sie kann nicht bei allen Anwendungen auf eine kreisringförmige Düse beschränkt sein. Zum Beispiel kann es sich bei der Sekundärdüse um einen einfachen Einlasskanal wie z. B. ein Loch oder eine Bohrung an einer Stelle stromaufwärts oder stromabwärts von der Transportdüse handeln.

**[0097]** Verweist man nun auf Fig. 3, ist die Vorbehandlungsvorrichtung von Fig. 1 mit einer kegelstumpfförmigen Abdeckung 40 benachbart zu dem Auslass 5 des Durchgangs 3 versehen. Ihre Disposition ermöglicht eine weitere Konzentration des Induktionseffekts, da der Klärschlamm nicht nur durch den Einlass 4 sondern ausserdem durch den zwischen dem Auslass 5 und der Innenwand der Abdeckung 40 gebildeten Kreisring eingesaugt wird. Es wird ein Venturi-Effekt produziert und bietet so eine weitere Beschleunigung der Strömung durch die Kombination des Gehäuses und der Abdeckung und so wird die Druckkraft verstärkt. Die Position der Abdeckung kann verändert werden, um den gewünschten Effekt zu ergeben.

**[0098]** Unter Verweis auf Fig. 4 ist die Ausführungsform von Fig. 1 mittig in einer Umhausung 50 disponiert, die einen divergierenden Einlassabschnitt 52 mit einer Einlassöffnung 54, einen mittleren Abschnitt 56 mit konstantem Querschnitt, der zu einem konvergierenden Auslassabschnitt 58 mit einer Auslassöffnung 60 führt, aufweist. In Gebrauch stehen die Einlass- und die Auslassöffnung 54 und 60 mit einer Masse eines Klärschlamm- oder Abwasserflusses entweder darin oder mit einer Leitung verbunden in Fluidverbindung. In Betrieb wird der Klärschlamm- oder Abwasserfluss durch die Umhausung 50 gesaugt, wobei ein Strom um das Gehäuse 2 und ausserdem durch den Durchgang 3 der Vorbehandlungsvorrichtung 1 induziert wird, die von ähnlicher Auslegung ist wie die in Fig. 1 gezeigte. Der konvergente Abschnitt 58 der Umhausung stellt ein Mittel zum Verstärken des beschleunigenden Effekts der Vorbehandlungsvorrichtung bereit und verbessert so die Druckkraft des Fluidstroms. Als eine Alternative zu der spezifischen Konfiguration wie sie in Fig. 4 gezeigt ist, kann der Einlassabschnitt 52 einen flacheren Winkel zeigen oder kann sogar dimensional mit der vollen Bohrung 56 übereinstimmen. Wie in Fig. 5 und 6 gezeigt, können eine oder mehrere der Vorrichtungen in ein KW oder eine andere Abfallverarbeitungsanlage integriert sein. Es wird sogar erwartet, dass die Vorrichtungen derart ausgelegt und konfiguriert sind, dass sie in gegenwärtig existierenden KW oder anderen Abfallbehandlungsanlagen nachgerüstet werden können, die optional anaerobe und/oder aerobe Faulbehälter umfassen.

**[0099]** Der graue Kasten in Figur 5 zeigt die allgemeine Einrichtung einer beispielhaften Abfallverarbeitungsanlage. In diesem Szenario kann der ÜS mit Primärschlamm, mit gefaultem Schlamm oder mit sowohl Primär- als auch gefaultem Schlamm vermischt und in den Faulbehälter eingespeist werden oder der ÜS kann zu einer Bandpresse geschickt werden, um Flüssigkeit zu extrahieren. Des Weiteren können die ÜS/EÜS-Mischungen zu einem Eindicker 70 geschickt werden, um das Material einzudicken, bevor es zu der Bandpresse oder dem Faulbehälter geschickt wird. Der Inhalt des Faulbehälters nach der Faulung kann ebenfalls zu einer Bandpresse geschickt werden. Der grössere weisse Bereich unter dem grauen Kasten in Fig. 5 zeigt eine beispielhafte Abfallverarbeitungsanlage mit Einbeziehung von einer oder mehreren Vorbehandlungsvorrichtungen, z. B. PDX-Reaktoren, durch die der Klärschlamm geleitet wird. Die Anordnung ermöglicht, dass reiner ÜS, eingedickter ÜS, reiner Primärschlamm oder eine Mischung aus ÜS und Primärschlamm/EÜS und gefaultem Schlamm/ÜS mit sowohl Primär- als auch gefaultem Schlamm durch den bzw. die PDX-Reaktor(en) geleitet werden. Wenn der Klärschlamm durch ein Eindickungsmodul 70 geleitet wird, kann Schlamm mit verschiedenen prozentualen Feststoffgehalten und Viskositäten erhalten werden. Schlamm, ob eingedickt oder nicht, wird dann in dem ersten Speichertank

71 gespeichert. Anschliessend wird der Klärschlamm durch einen oder mehrere in Reihe angeordnete PDX-Reaktoren (PDX-Modul 73), gefolgt von einem Absetztank 74, geleitet. Ein Heizkesselmodul 72, das mit Diesel des Typs 2-D als Brennstoff betrieben wird, kann zum Verändern der Temperatur des Systems verwendet werden. Der Inhalt des Absetztanks 74 kann dann in einem aeroben Prozess zum Faulen zu dem Faulbehälter oder zu einer Bandpresse geleitet werden.

**[0100]** Fig. 6 zeigt eine Zahl möglicher Anordnungen von Vorrichtungen, Tanks und Faulbehältern gemäss der vorliegenden Erfindung. Zum Beispiel kann der Klärschlamm zuerst durch einen Primärabsetztank 100 zu einem Faulbehälter 400 gelangen. Alternativ kann der Klärschlamm durch einen Primärabsetztank 100 zu einem Belüftungstank 200, zu einem Sekundärabsetztank 300 zu dem Faulbehälter 400 gelangen. Die Vorrichtungen gemäss der vorliegenden Erfindung, wie z. B. die PDX-Reaktoren 500-506, können in einer beliebigen geeigneten Konfiguration angeordnet sein, insbesondere den Konfigurationen wie gezeigt.

**[0101]** Bei einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung handelt es sich um ein Verfahren zum Vorbehandeln eines biologisch abbaubaren Abfallstroms. Dieses Verfahren beinhaltet Folgendes: (a) Leiten von einem biologisch abbaubarem Abfallstrom durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen, wobei Schritt (a) die Zahl der lebenden Mikroorganismen in dem biologisch abbaubaren Abfallstrom verglichen mit einem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Abwesenheit von Schritt (a) um mindestens 10 % reduziert.

**[0102]** Bei dieser Ausführungsform sind der biologisch abbaubare Abfallstrom und die Vorbehandlungsvorrichtungen wie zuvor definiert. Wie gut bekannt und oben offenbart, enthalten biologisch abbaubare Abfallströme der hierin offenbarten Art verschiedene lebende Mikroorganismen, die innerhalb des Stroms existieren. Der Durchgang des biologisch abbaubaren Abfallstroms durch eine oder mehrere der Vorbehandlungsvorrichtungen reduziert die Zahl der lebenden Mikroorganismen innerhalb des Stroms erheblich. Wie oben angemerkt, reduziert zum Beispiel der Durchgang des biologisch abbaubaren Stroms durch die Vorbehandlungsvorrichtung die Zahl der lebenden Mikroorganismen in dem biologisch abbaubaren Abfallstrom um mindestens 10 %, wie z. B. um mindestens 50 %, einschliesslich um mindestens 100 %, 200 %, 300 % oder mehr. In diesem Zusammenhang bedeutet «reduzieren», den Mikroorganismus vollständig oder teilweise abzutöten oder zu vernichten. Siehe z. B. Fig. 18.

**[0103]** Bei der vorliegenden Erfindung bedeutet «Mikroorganismus» beliebige Bakterien, Protozoen, Viren, Pilze und/oder andere ein- und mehrzellige Organismen, von denen gut bekannt ist, dass sie in biologisch abbaubarem Abfallstrom existieren. Viele derartiger Mikroorganismen können pathogen sein. Ein repräsentatives Beispiel einer Bakterie, die in vielen biologisch abbaubaren Abfallströmen existiert, ist *E. coli*.

**[0104]** Bei einem Aspekt dieser Ausführungsform kann eine beliebige Zahl von Vorbehandlungsvorrichtungen verwendet werden. Typischerweise wird die zu verwendende Zahl von Vorbehandlungsvorrichtungen durch die Art des biologisch abbaubaren Abfallstroms, die Konzentration von Mikroorganismen in dem Strom und den erforderlichen Grad der Reduzierung beeinflusst. So können bei diesem Verfahren 2, 3 oder 4 Vorbehandlungsvorrichtungen verwendet werden.

**[0105]** Wie oben angemerkt, kann der biologisch abbaubare Abfallstrom zum Beispiel aus der Gruppe ausgewählt sein, die aus Klärschlamm, Nahrungsmittelabfall, Fabrik- und Prozessabfall, Landwirtschaftsabfall sowie Papier und kompostierbarem Abfall besteht. Bei einem bevorzugten Aspekt dieser Ausführungsform handelt es sich bei dem biologisch abbaubaren Abfallstrom um städtischen Klärschlamm.

**[0106]** Bei einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung handelt es sich um ein Verfahren zum Vorbehandeln eines biologisch abbaubaren Abfallstroms, das Folgendes beinhaltet: (a) Leiten eines biologisch abbaubaren Abfallstroms durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; (b) Entwässern des biologisch abbaubaren Abfallstroms aus Schritt (a); und (c) optional Verdichten des aus Schritt (b) resultierenden Materials.

**[0107]** Wie hierin verwendet, bedeutet «Entwässern» das Entfernen von Wasser aus dem biologisch abbaubaren Abfallstrom durch ein beliebiges herkömmliches Verfahren oder eine Kombination von Verfahren, wie etwa eine Kombination von chemischen und mechanischen Prozessen. Bei dieser Ausführungsform sind die Vorbehandlungsvorrichtungen und der biologisch abbaubare Abfallstrom wie zuvor definiert. So umfasst bei einem Aspekt dieser Ausführungsform die Vorbehandlungsvorrichtung weiter mindestens eine Sekundärdüse zwischen dem Einlass- und dem Auslassende des Durchgangs. Die mindestens eine Sekundärdüse kann sich an einem beliebigen zweckmässigen Ort entlang der Vorrichtung befinden, solange sie dazu angepasst ist, eines oder mehrere Transportmaterialien in den Durchgang zu liefern. Die mindestens eine Sekundärdüse befindet sich bevorzugt stromaufwärts und/oder stromabwärts von der Transportfluiddüse.

**[0108]** Wie zuvor angemerkt, sind das Transportmaterial und das Transportfluid gleich oder verschieden. Ausserdem kann das Transportmaterial, wie zuvor offenbart, eine beliebige Form annehmen, wie etwa eine Flüssigkeit oder ein Pulver.

Nicht einschränkende, repräsentative Beispiele von Transportmaterial, das für die Verwendung in dieser Ausführungsform geeignet ist, umfassen eine Chemikalie, ein Enzym, eine Mikrobekultur und Kombinationen derselben.

**[10109]** Bei einem bevorzugten Aspekt dieser Ausführungsform liefert die Sekundärdüse ionische Polymere in einer Menge an den biologisch abbaubaren Abfallstrom, wenn er durch den Durchgang gelangt, die wirksam ist, um den biologisch abbaubaren Abfallstrom einzudicken und zur Ausflockung zu bringen. Die in dieser Ausführungsform nützlichen ionischen Polymere sind wie zuvor offenbart und können vor oder nach Schritt (a) in einer Menge zu dem biologisch abbaubaren Abfallstrom hinzugefügt werden, die wirksam ist, um den biologisch abbaubaren Abfallstrom einzudicken und zur Ausflockung zu bringen.

**[10110]** Bei dieser Ausführungsform kann der resultierende entwässerte Abfallstrom optional zu einer beliebigen zweckmässigen Form verdichtet werden, um den Transport zu erleichtern und/oder sich für eine bestimmte Endverwendung zu eignen wie z. B. die Verwendung als Festbrennstoff für ein Festbrennstoff-Kraftwerk. So beinhaltet in einem bevorzugten Aspekt dieser Ausführungsform der Verdichtungsschritt das Formen des aus Schritt (b) resultierenden Materials zu Pellets in einer Form, die für die Verwendung in einem Festbrennstoff-Kraftwerk angebracht ist.

**[10111]** Unter Verwendung des Verfahrens dieser Ausführungsform ist das Endprodukt geeignet für die Verwendung z. B. zur Geländeauffüllung, als Dünger, Bodenverbesserer oder als Festbrennstoffquelle für ein Festbrennstoff-Kraftwerk.

**[10112]** Gewisse Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind in dem Schema von Fig. 10 veranschaulicht, in dem ein Primär- oder Sekundär-ÜS-Strom 700 gezeigt ist, der in eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen 702 strömt. Der Primär- oder Sekundär-ÜS wird von einer Pumpe (nicht gezeigt) oder dank der Verwendung der Vorbehandlungsvorrichtungen 702 bewegt. Wie zuvor beschrieben, kann ein Transportmaterial, wie etwa ein zum Eindicken des Primär- oder Sekundär-ÜS verwendetes ionisches Polymer an beliebiger Stelle während des Prozesses hinzugefügt werden, wie zum Beispiel vor dem Eintritt in eine Vorbehandlungsvorrichtung 701, während sich der Primär- oder Sekundär-ÜS durch die eine oder mehreren Vorbehandlungsvorrichtungen 702 bewegt oder nach dem Austreten aus der letzten Vorbehandlungsvorrichtung 703. An dieser Stelle kann der so behandelte Primär- oder Sekundär-ÜS zu einem Faulbehälter 706 geschickt werden oder optional entwässert werden 704 und dann für die Verwendung zur Geländeauffüllung, als Dünger oder Bodenverbesserer verarbeitet werden 707 oder optional unter Verwendung eines beliebigen herkömmlichen Mittels 705 getrocknet und dann verdichtet werden, wie zum Beispiel für die Verwendung als Festbrennstoff für ein Festbrennstoff-Kraftwerk 708 zu Pellets geformt werden.

**[10113]** Die folgenden Beispiele werden bereitgestellt, um die Verfahren der vorliegenden Erfindung weiter zu veranschaulichen. Diese Beispiele sind lediglich veranschaulichend und sind nicht dazu bestimmt, den Umfang der Erfindung auf irgendeine Weise einzuschränken.

## BEISPIELE

### Beispiel 1

**[10114]** Eine Prozessausrüstung, wie in Fig. 1 beschrieben, wurde verwendet, um vier verschiedene Arten von städtischem Klärschlamm zu verarbeiten. Diese vier Schlämme waren wie folgt:

Primärschlamm (PS) - frischer abgesetzter Einlauf.

ÜS (BSS) - Überschussschlamm von aerob gefaultem Klärschlamm.

EÜS - ÜS nach dem Eindicken mit einem geladenen Polymer zum Erhöhen des Feststoffgehalts.

Gefault oder Faulrückstand - Feststoffe vom Ende der anaeroben Faulung.

**[10115]** Materialien wurden von einer vollmassstäblichen Abfallbehandlungsanlage (Cotton Valley, Milton Keynes, UK) erhalten und wurden ausgewählt, um standardmässige Industriematerialien zu repräsentieren. Diese wurden in Volumen von mindestens einer metrischen Tonne pro Prozessdurchlauf bereitgestellt und wurden jedes Mal frisch angeliefert, um das Absetzen von Feststoffen und den ungewollten mikrobiellen Abbau auszuschliessen.

**[10116]** Die Schlämme wurden über eine zum Bewegen von viskosem Produkt geeignete Pumpe (Verdrängerpumpe, Mohn) zu dem Prozessgerät gepumpt. Die Schlämme gelangten dann durch die gewünschte Zahl von Vorrichtungen (1-3 in diesem Beispiel), bevor sie zur Sammlung für die Analyse oder zur anaeroben Chargenfaulung austraten. In diesem speziellen Beispiel wurde der Dampfdruck zu den Vorbehandlungsvorrichtungen auf standardmässig 8 bar (kontinuierliche Strömung) für alle Durchläufe eingestellt, oder so nah bei diesem Wert wie dies die gewünschte Endtemperatur zulies. Es wurden nur die Zahl der Vorbehandlungsvorrichtungen und die Prozessströmungsgeschwindigkeit des Schlammes verändert, um verschiedene Energiedichten pro Masse des Schlammfeststoffgehalts zu erreichen.

**[10117]** Die in dieser Erfindung genutzten Vorbehandlungsvorrichtungen spritzen Dampf mit Überschall-Strömungsgeschwindigkeiten durch eine spezifische Düsengeometrie ein. Die durch dieses Verfahren zum Einbringen von Dampf in den Prozessstrom erzeugten Bedingungen übertragen die kinetische Energie des eingetragenen Dampfes und wandeln einen Grossteil der mit dem Dampf assoziierten Wärmeenergie ebenfalls in kinetische Energie um. Das resultiert in einer sehr turbulenten mehrphasigen Strömung, die sich über eine begrenzte Strecke (< 50 cm) jenseits des Einbringens des Dampfes mit Überschallgeschwindigkeiten voranbewegt. Als Folge des Einfallens des Dampfes, wenn er in den Prozessstrom kondensiert und der hohen Beschleunigung des Prozessstroms (in diesem Fall Klärschlamm), wird das Material zu

einem dispergierten oder teilweise dispergierten Feld, das aus Tröpfchen besteht, die von einem Teilvakuum umgeben sind (Drücke  $<1$  bar, typischerweise  $<0,6$  bar). Das Prozessmaterial (Schlamm) kehrt am Ende dieses dispergierten Felds sofort zu einem kontinuierlichen viskosen Fluid oder einer Suspension zurück, das bzw. die sich mit nominellen Strömungsgeschwindigkeiten voranbewegt. Während des Durchlaufs des Materials durch die dispergierte Phase findet ausserdem eine Wärmeübertragung statt, unterscheidet sich jedoch von standardmässigen direkten Dampfeinspritztechniken, bei denen der Grossteil der Wärmeenergie direkt an der Einspritzstelle übertragen wird, dadurch, dass nur ein kleiner Anteil dieser Wärmeenergie übertragen wird (der Grossteil wird in kinetische Energie umgewandelt). Im Fall der in dieser Erfindung verwendeten Vorbehandlungsvorrichtungen hängt der Temperaturanstieg ( $\Delta T$ ) in dem durch jede Vorbehandlungsvorrichtung gelangenden Prozessmaterial von der Strömungsgeschwindigkeit und der Wärmekapazität ( $C_p$ ) des Materials ab, liegt jedoch bei dieser Erfindung im Bereich von ungefähr  $10-20$  °C. Es können jedoch höhere  $\Delta T$ -Werte erreicht werden, indem, falls gewünscht, die Prozessströmungsgeschwindigkeit weiter reduziert wird oder indem der Düseneinlass mit Dampf mit höheren Drücken versorgt wird. So bringt der Prozess während des Durchlaufs durch jede der Vorrichtungen in einer Umgebung mit reduziertem Druck kinetische Energie und Wärmeenergie auf den Schlamm auf. Der Zeitmassstab, in dem der Prozess diese Bedingungen auf den Schlamm aufbringt, ist sehr schnell und kann als sofortig betrachtet werden.

**[0118]** Standardmässige Dampfeinspritzprozesse unterscheiden sich von dem hier beschriebenen Prozess dadurch, dass keine Dispersionsphase generiert wird, der Prozessstrom effektiv der nominelle Prozessstrom für das System ist und die Arbeitsdrücke über den Leitungsdruck an dem Gebiet der Dampfeinspritzung erhöht sind. Turbulenzen und Scherung sind normalerweise auf die Stelle der Dampfeinspritzung beschränkt und es werden andere Merkmale, wie etwa ein Venturi-Rohr, benötigt, um Scherung aufzubringen.

### Prozessbedingungen der Schlämme

**[0119]** Die vier verschiedenen Schlämme in diesem Beispiel (PS, ÜS, EÜS und gefault) wurden durch die Ausrüstung verarbeitet und die an den Schlamm zugeführt Energiedichte wurde durch Ändern der Prozessströmungsgeschwindigkeit über die Pumpe abgewandelt. Auf die Strömungsbedingungen wird auf folgende Weise verwiesen:

Niedrige Intensität =  $80-84$  l/min;

Mittlere Intensität =  $60-64$  l/min; und

Hohe Intensität =  $38$  l/min.

**[0120]** Die jeden Schlamm betreffenden Laufbedingungen und das gewählte Strömungsregime sind untenstehend in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 Betriebsbedingungen während der zwei Sätze von Läufen der Vorbehandlungsausrüstung.

|                    | Temperatur (°C)             |               |               |               | Dampfdruck (bar) |      |       | Pumpe Hz | Strömungs-<br>geschwindigk.<br>(l·min <sup>-1</sup> ) |
|--------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|------|-------|----------|-------------------------------------------------------|
|                    | Einlass                     | Austritt 1PDX | Austritt 2PDX | Austritt 3PDX | 1 PDX            | 2PDX | 3 PDX |          |                                                       |
|                    | Erster Satz von Läufen      |               |               |               |                  |      |       |          |                                                       |
| Eingedickter<br>US | 1PDX niedrige<br>Intensität | 16,5          | -             | -             | 31,0             | 8    | 8     | 30       | 80–84                                                 |
|                    | 2PDX niedrige<br>Intensität | 16,5          | -             | -             | 42,0             | 8    | 8     | 30       | 80–84                                                 |
|                    | 3PDX niedrige<br>Intensität | 16,5          | -             | -             | 53,0             | 8    | 8     | 30       | 80–84                                                 |
| Primärschlamm<br>m | 1PDX niedrige<br>Intensität | 17,1          | 32,1          | -             | 32,0             | 8    | 8     | 29,4     | 80–84                                                 |
|                    | 2PDX niedrige<br>Intensität | 17,1          | 30,4          | 43,2          | 43,2             | 8    | 8     | 29,4     | 80–84                                                 |
|                    | 3PDX niedrige<br>Intensität | 17,1          | 30,6          | 43,6          | 54,9             | 8    | 8     | 29,4     | 80–84                                                 |
|                    | 1PDX mittlere<br>Intensität | 17,1          | 35,4          | -             | 36,2             | 8    | 8     | 22,5     | 60                                                    |
|                    | 2PDX mittlere<br>Intensität | 17,1          | 36,0          | 53,3          | 53,2             | 8    | 8     | 22,5     | 60                                                    |

|                             | Temperatur (°C)              |               |               |               |       | Dampfdruck (bar) |       |   | Pumpe Hz | Strömungs-<br>geschwindigk.<br>(l·min <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------------|------------------------------|---------------|---------------|---------------|-------|------------------|-------|---|----------|-------------------------------------------------------|
|                             | Einlass                      | Austritt 1PDX | Austritt 2PDX | Austritt 3PDX | 1 PDX | 2PDX             | 3 PDX |   |          |                                                       |
| Gefaulter<br>Schlamm        | 1PDX niedrige<br>Intensität  | 29,3          | -             | -             | 40,8  | 8                | 8     | 8 | 30       | 80–84                                                 |
|                             | 2PDX niedrige<br>Intensität  | 29,3          | -             | -             | 53,6  | 8                | 8     | 8 | 30       | 80–84                                                 |
|                             | 3PDX niedrige<br>Intensität  | 29,3          | -             | -             | 65,0  | 8                | 8     | 8 | 30       | 80–84                                                 |
|                             | 1 PDX mittlere<br>Intensität | 29,3          | -             | -             | 50,0  | 8                | 8     | 8 | 22       | 60                                                    |
|                             | 2 PDX mittlere<br>Intensität | 29,3          | -             | -             | 64,0  | 8                | 8     | 8 | 22       | 60                                                    |
|                             | 1 PDX hohe<br>Intensität     | 29,3          | -             | -             | 58,9  | 8                | 8     | 8 | 15       | 38                                                    |
| Nicht<br>eingedickter<br>US | 1PDX niedrige<br>Intensität  | 18,5          | -             | -             | 31,7  | 8                | 8     | 8 | 29       | 80–84                                                 |
|                             | 2PDX niedrige<br>Intensität  | 18,5          | -             | 41,1          | 43,0  | 8                | 8     | 8 | 29       | 80–84                                                 |
|                             | 3PDX niedrige<br>Intensität  | 18,5          | -             | 41,6          | 55,1  | 8                | 8     | 8 | 29       | 80–84                                                 |
|                             | 1PDX mittlere<br>Intensität  | 18,5          | -             | 48,8          | 50,6  | 8                | 8     | 8 | 25       | 60                                                    |
|                             | 2PDX mittlere<br>Intensität  | 18,5          | -             | -             | 36,0  | 8                | 8     | 8 | 25       | 60                                                    |
|                             | 1PDX hohe<br>Intensität      | 18,5          | -             | -             | 50,0  | 8                | 8     | 8 | 14       | 36                                                    |

|                      | Temperatur (°C)             |               |               |               | Dampfdruck (bar) |      |       | Pumpe Hz | Strömungs-<br>geschwindigkeit.<br>(l·min <sup>-1</sup> ) |       |
|----------------------|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|------|-------|----------|----------------------------------------------------------|-------|
|                      | Einlass                     | Austritt 1PDX | Austritt 2PDX | Austritt 3PDX | 1 PDX            | 2PDX | 3 PDX |          |                                                          |       |
|                      | Zweiter Satz von Läufen     |               |               |               |                  |      |       |          |                                                          |       |
| Eingedickter<br>US   | 3PDX niedrige<br>Intensität | 18,2          | 31,2          | 45            | 58,1             | 8    | 8     | 7,5      | 30                                                       | 80–84 |
| Eingedickter<br>US   | 2PDX mittlere<br>Intensität | 18,3          | 38,1          | 56,9          | -                | 8    | 8     | -        | 22                                                       | 60    |
| Gefaulter<br>Schlamm | 3PDX niedrige<br>Intensität | 32,4          | 54,7          | 67,7          | 81,5             | 8    | 8     | 8        | 30                                                       | 80-84 |

**[0121]** Wie in Tabelle 1 gezeigt, bezieht sich die erste Reihe von Läufen auf Materialien, die verwendet wurden, um die Effekte der Strömungsregimes auf die physikalischen und chemischen Eigenschaften der verarbeiteten Schlämme zu beschreiben. Die zweiten Läufe wurden als Rohmaterial für die unten beschriebene anaerobe Chargenfaulung verwendet.

### Physikalische und chemische/biochemische Messung an Schlämmen

**[0122]** Von jedem der Schlämme wurde eine Probe unbehandelt (um als Kontrolle zu dienen) mit nur der Systempumpe (um Pumpenschäden oder Abbau des Materials zu berücksichtigen) und nach der gewünschten Behandlung genommen. Für jede Schlammprobe wurde eine Zahl von physikalischen/chemischen Eigenschaften gemessen, um den Abbau der Schlammkomponenten und das Gesamtgleichgewicht der für die effiziente anaerobe Faulung bedeutsamen Chemikalien zu beurteilen.

**[0123]** Von diesen Messungen ist die hinsichtlich der Angabe einer Erhöhung der Faulbarkeit des Materials bedeutendste der «lösliche chemische Sauerstoffbedarf» (LCSB). Die Beurteilung des LCSB wird in der Abwasserbranche häufig verwendet, um das in dem Schlamm vorhandene Gesamtmaterial, das frei oxidiert werden kann, zu messen. Der LCSB hat eine direkte Beziehung zum biologischen Sauerstoffbedarf (BSB), bei dem es sich um die Menge an Material handelt, die für die Metabolisierung durch biologische Organismen verfügbar ist. So ist eine Erhöhung des LCSB ein Indikator des Faulungspotentials in anaeroben Faulprozessen.

**[0124]** Andere Parameter sind Indikatoren für Zellyse und Schlamm-aufschlüsselung wie etwa freies Protein, Kohlehydrat, flüchtige Fettsäuren (FFS), Glühverlust (GV) und Partikelgrössenverteilungen. Der Gesamtfeststoffgehalt (GF) eines Schlammes wird benötigt, um die Aufschlüsselungs- und Fauleffizienz zu berechnen.

**[0125]** Es wurden physikalische und chemische Messungen an der Schlammprobe und an den Materialien und Produkten in den skalierten Chargenfaulbehältern (siehe unten) unter Verwendung der folgenden Protokolle vorgenommen:

**[0126]** Sowohl der rohe als auch der vorbehandelte Schlamm wurden am selben Tag der Versuche auf LCSB, GF und GV analysiert, um eine repräsentative Analyse sicherzustellen. Die Partikelgrössenverteilung wurde entweder am Tag der Versuche oder am folgenden erhalten. Für den Rest der Analyse wurde die feste freie Fraktion der Schlämme eingefroren, um die Proben zu konservieren. Zu den Proben für die FFS-Analyse wurden vor dem Einfrieren 10 µl H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hinzugefügt, um den Säureabbau während der Lagerung zu vermeiden.

**[0127]** Die Konzentration von GF und GV wurde gemäss den Standardverfahren 2540B bzw. 2540E (APHA, 2005) quantifiziert. Die feste freie Fraktion der Schlämme wurde benötigt, um den LCSB, Ammonium, Alkalinität, sowie die Konzentration von Proteinen, Kohlehydraten, löslichem Gesamtphosphor und FFS zu quantifizieren. Die Proben wurden bei 7548 x g und 20 °C während 20 Minuten in einer Sorvall Legend RT Zentrifuge (Thermo Fisher Scientific, Basingstoke, England) zentrifugiert. Der Überstand wurde durch Glasmikrofaserfilter GF/C mit einer Porengrösse von 0,7 µm (Whatman™, Kent, England) vakuumgefiltert und mit Spritzenvorsatz-Filtereinheiten mit einer Porengrösse von 0,45 µm (Millipore™, Billerica, Vereinigte Staaten) gefiltert.

**[0128]** Ammonium, LCSB und lösliche Gesamtphosphorkonzentration wurden unter Verwendung von Merck Spectroquant Prüfsätzen mit einem NOVA-60-Fotometer (Merck Chemicals Ltd, Beeston, England) bestimmt. Die Alkalinität wurde durch Titration mit HCl 0,02 M gemäss dem Standardverfahren 2320B (APHA, 2005) bestimmt.

**[0129]** Die Proteinkonzentration wurde unter Verwendung des modifizierten Lowry-Verfahrens unter Verwendung von bovinem Serumalbumin (BSA) als Standardprotein für die Kalibration bestimmt (Frolund et al., 1995). Dieses Verfahren wurde zuvor für die Proteinquantifizierung in Schlamm angewandt. Die Kohlehydratkonzentration wurde wie von (Dubois et al., 1956) beschrieben bestimmt.

**[0130]** Die einzelnen FFS-Konzentrationen wurden mit einem Kontron HPLC (Hochleistungsflüssigkeitschromatographie)-Analysator (Sci-Tek Instruments LTD, Olney, England) quantifiziert. Die HPLC stellte Konzentrationen von Essig-, Propion-, Isobutter-, n-Butter-, Isovalerin- und n-Valerinsäure bereit, die in der Summe die Gesamt-FFS-Konzentration bereitstellten. Die Partikelgrössenverteilung der Schlämme wurde unter Verwendung eines Mastersizer 2000 (Malvern Instruments LTD, Malvern, England) erhalten.

**[0131]** Der unter Verwendung einer Vorbehandlungsvorrichtung gemäss der vorliegenden Erfindung erreichte Auflösungsgrad (AG) wurde gemäss Gleichung 1 berechnet:

$$DD(\%) = \frac{LCSB_1 - LCSB_2}{LCSB_3 - LCSB_2} \cdot 100 \quad 1$$

wobei:

LCSB<sub>1</sub> = LCSB des vorbehandelten Schlammes (mg l<sup>-1</sup>)

LCSB<sub>2</sub> = LCSB des unbehandelten Schlammes (mg l<sup>-1</sup>)

LCSB<sub>3</sub> = LCSB des mit NaOH hydrolysierten Schlammes (mg l<sup>-1</sup>)

**[0132]** Der maximale LCSB der Probe (LCSB<sub>3</sub>) wurde durch alkalische Hydrolyse bestimmt, die aus der Faulung eines 1:1-Gemischs aus Schlamm und 0,5 M NaOH-Lösung bei 20 °C während 22 Stunden besteht. Nach der Faulperiode

wurde die feste freie Fraktion der Lösung vorbereitet, um ihren LCSB zu bestimmen. Dieses alkalische Hydrolyseverfahren wurde weitläufig angewandt (Abelleira et al., 2011; Khanal et al., 2007; Müller, 2000).

**[0133]** Die Methankonzentration in dem Biogas wurde gemessen, indem eine Probe des Gasraums der Faulbehälter genommen wurde und in einem 1440D-SERVOPRO-Gasanalysator (Servomex, Crowborough, England) analysiert wurde. Sowohl die Biogasproduktion als auch die Methankonzentration wurden bis zu zweimal am Tag gemessen. Vor jeder Probenahme wurde der Inhalt des Faulbehälters gerührt.

**[0134]** Die Entwässerbarkeit jedes Faulrückstands wurde mit der im Standardverfahren 271 OG (APHA, 2005) offenbarten Prüfung der kapillaren Saugzeit (KSZ) unter Verwendung eines KSZ Modell 200 (Triton Electronics Ltd., Great Dunmow, England) beurteilt.

### Anaerobe Chargenfaulung

**[0135]** Methanpotentialprüfungen wurden unter Verwendung von anaeroben Chargenfaulbehältern im Labormassstab durchgeführt. Die Reaktoren bestanden aus Einliter-Glasflaschen (Fisher Scientific, Loughborough, England), die mit Gummistopfen verschlossen waren. Die mesophilen und anaeroben Bedingungen wurden sichergestellt, indem alle Faulbehälter in ein temperaturgesteuertes Wasserbad (38,5 °C) platziert wurden und indem am Anfang der Faulung jeweils reiner Stickstoff eingeleitet wurde. Das Gas wurde täglich gesammelt und durch das Wasserverdrängungsverfahren gemessen.

**[0136]** Es wurden zehn Faulbehälter eingerichtet, jeder davon mit einem Gesamtschlammvolumen von 500 ml. Fünf der Reaktoren erhielten vorbehandeltes Material (Prüf- und Kontrollfaulbehälter), während der Rest unbehandelten Schlamm erhielt (Kontrollfaulbehälter), wie unten in Tabelle 2 zusammengefasst.

**Tabelle 2 Inhalt der anaeroben Chargenfaulbehälter im Labormassstab und Zahl der Replikate. Alle Prozentangaben beziehen sich auf das Gewicht. Alle der Vorbehandlungen beziehen sich auf einen 3PDX-Prozess mit niedriger Intensität.**

**[0137]**

|                             | Inhalt                                                                                                               | Replikate |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Prüf-ÜS                     | 20 % Inokulum + 80 % vorbehandelter EÜS                                                                              | 2         |
| Kontroll-ÜS                 | 20 % Inokulum + 80 % nicht vorbehandelter EÜS                                                                        | 2         |
| Prüf-ÜS + Primärschlamm     | 20 % Inokulum + 80 % Gemisch von Schlämmen (40 % vorbehandelter EÜS + 60 % nicht vorbehandelter Primärschlamm)       | 2         |
| Kontroll-ÜS + Primärschlamm | 20 % Inokulum + 80 % Gemisch von Schlämmen (40 % nicht vorbehandelter EÜS + 60 % nicht vorbehandelter Primärschlamm) | 2         |
| Prüfschlamm gefault         | 20 % Inokulum + 80 % vorbehandelter gefaulter Schlamm                                                                | 1         |
| Kontrollschlamm gefault     | 100 % Inokulum                                                                                                       | 1         |

Keimschlamm für die Faulbehälter wurde von einem arbeitenden mesophilen anaeroben Faulbehälter erhalten (Cotton Valley, Milton Keynes, UK).

### Ergebnisse

**[0138]** Fig. 11 zeigt die von den verschiedenen Prozessbedingungen in verschiedenen Schlämmen generierten Zunahmen des LCSB. Die grössten Zunahmen sind für den ÜS und den EÜS (A, D) bei Nutzung von drei Vorrichtungen im Regime mit niedriger Intensität zu sehen. Die am wenigsten effektive Behandlung ist für Primärschlamm (B); dieses Material repräsentiert frisches, abgesetztes Abwasser, das bereits einen natürlich hohen LCSB aufweist, und es ist bekannt, dass die Vorbehandlung dieses Materials einen geringen Effekt aufweist. Schlamm, der bereits anaerob gefault ist (C), zeigt eine Zunahme des LCSB.

**[0139]** Der Auflösungsgrad der Schlämme ist in Fig. 12 gezeigt. Primärschlamm ist hier aufgrund seines bereits hohen LCSB nicht gezeigt. Der Auflösungsgrad der verschiedenen Schlämme spiegelt jedoch die Entwicklung des LCSB mit jedem Prozess und weist darauf hin, dass die Verwendung von zwei oder mehr Vorrichtungen für den Prozess am besten ist.

**[0140]** Die Partikelgrößenreduktion von EÜS und gefaultem Schlamm sind in Fig. 13 und 14 gezeigt. Behandlungen mit zwei oder drei Vorrichtungen in Reihe resultieren in erheblicher Partikelgrößenreduktion.

**[0141]** Flüchtige Fettsäuren (FFS) sind eine sehr wichtige Komponente der anaeroben Faulung. FFS können von dem letzten Satz von Bakterien in der anaeroben Kaskade, den Methanogenen, direkt genutzt werden. Zunahmen der FFS und insbesondere von Essigsäure ist für das Methanergebnis vorteilhaft. Fig. 15 zeigt die wichtigsten in Schlämmen gefundenen FFS und die nach verschiedenen Vorbehandlungsbedingungen für den ÜS gemessenen Gehalte.

**[0142]** Gehalte an freien Kohlehydraten sind ein sehr guter Indikator des Aufbrechens und der Solubilisierung der mit aerob gefaulten Schlämmen assoziierten Biofilme. Diese Biofilme sind eines der wichtigsten Hindernisse für die Faulbarkeit und Entwässerbarkeit von Schlämmen. Fig. 16 zeigt die gemessene Kohlehydratkonzentration für den ÜS. Der bedeutendste Anstieg der Kohlehydratkonzentration ist für die Behandlung mit 3 Vorbehandlungsvorrichtungen bei niedriger Intensität zu sehen.

### Ergebnisse der Chargenfaulung

**[0143]** Die Chargenfaulbehälter wurden unter Nutzung von ÜS, ÜS/Primärschlamm-Mischung und Faulrückstand betrieben. Das Inokulum für die Chargenfaulbehälter war nicht gemäss Dogan u. Sanin 2009 akklimatisiert, so dass die Akklimatisationszeit, bis die Inokulumsmikroben den repräsentativen Faulungs- und Gasstrom erreichten, aufgrund der einzelnen GV-Gehalte in jeder Prüfung für jedes Material verschieden waren. Diese Zeiten betrugen 11, 23 und 8 Tage für ÜS, ÜS/Primärschlamm bzw. Faulrückstand. Die Gasproduktionsmessungen wurden während der stabilen Betriebsphase nach der Akklimatisierung vorgenommen.

**[0144]** Tabelle 3 zeigt den Methangehalt und die Verbesserung der täglichen Produktion von Gas, normalisiert auf den GV in jeder Probe.

**Tabelle 3 Methangehalt in dem Biogas und normalisierte tägliche Methanproduktion in der stabilen Periode der Faulbehälter und prozentuale Verbesserung bezogen auf die Kontrolle.**

**[0145]**

|                             | CH <sub>4</sub> im Biogas (%) | Verbesserung des CH <sub>4</sub> -Gehalts (%) | Normalisierte tägliche CH <sub>4</sub> -Produktion m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> ·(kg GV <sub>eing</sub> -d) <sup>-1</sup> | Verbesserung der normalisierten täglichen CH <sub>4</sub> -Produktion (%) |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Prüf-ÜS                     | 68,1 ± 4,8                    | 5                                             | 1,6E-03 ± 2,2E-04                                                                                                           | 71                                                                        |
| Prüf-ÜS + Primärschlamm     | 80,8 ± 2,4                    | 4                                             | 4,9E-03 ± 2,7E-04                                                                                                           | 41                                                                        |
| Prüfschlamm gefault         | 56,4                          | 3                                             | 2,79E-03                                                                                                                    | 29                                                                        |
| Kontroll-ÜS                 | 64,7 ± 5,1                    | n. z.                                         | 9,6E-04 ± 1,3E-04                                                                                                           | n. z.                                                                     |
| Kontroll-ÜS + Primärschlamm | 77,8 ± 1,3                    | n. z.                                         | 3,5E-03 ± 4,2E-04                                                                                                           | n. z.                                                                     |
| Kontrollschlamm gefault     | 55,0                          | n. z.                                         | 1,96E-03                                                                                                                    | n. z.                                                                     |

**[0146]** Für alle drei vorbehandelten Materialien lagen sowohl eine Verbesserung des generierten Gasgemischs zugunsten von Methan sowie eine verbesserte tägliche Produktion von Gas vor. Diese waren alle gegenüber ihren jeweiligen Kontrollen deutlich erhöht, was zeigt, dass der Prozess zu verbesserter Faulbarkeit der Schlämme geführt hat.

**[0147]** Die nach diesen Faulungen zurückbleibenden Materialien wurden einer Entwässerungsprüfung unterzogen und die Ergebnisse sind in Fig. 17 gezeigt. Die vorbehandelten Materialien am Ende der Prüfung waren gleich oder weniger wasserspeichernd als ihre Kontrollen.

### Umsetzung

**[0148]** Die Geräte und Prozesse der vorliegenden Erfindung können an einer Anlage wie etwa einem KW auf einzelne Schlammflüsse, z. B. ÜS, vor dem Vermischen mit einem anderen Strom, z. B. PS, angewandt werden. Oder sie können nach dem Vermischen der Schlämme vor der Einspeisung zur ΔF angewandt werden. Sie können ausserdem einen Teil der Schlammumwälzschleife an einem Faulbehälter bilden, um den Faulrückstand zu mischen, aufzubrechen und zu erwärmen.

### Zitierte Dokumente

**[0149]** 40CFR §503.32 (2011)

APHA, (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater (21. Aufl.). Washington: American Public Health Association

Abelleira, J., Perez-Elvira, S. I., Sanchez-Oneto, J., Portela, J. R., & Nebot, E. (2011). Advanced Thermal Hydrolysis of secondary sewage Sludge: A novel process combining thermal hydrolysis and hydrogen peroxide addition. *Resources, Conservation and Recycling*, 1-5. (Artikel im Druck: doi: 10.1016/j.resconrec.2011.03.008)

Bougrier, C., Albasi, C., Delgenes, J., & Carrere, H. (2006). Effect of Ultrasonic, thermal and ozone pre-treatments on waste activated Sludge solubilization and anaerobic biodegradability. *Chemical Engineering and Processing*, 45(8), 711-718

Bougrier, C., Battimelli, A., Delgenes, J.-P., & Carrere, H. (2007). Combined Ozone Pretreatment and Anaerobic Digestion for the Reduction of Biological Sludge Production in Wastewater Treatment. *Ozone: Science and Engineering*, 29(3), 201-206

Carrere, H., Dumas, C., Battimelli, A., Batstone, D.J., Delgenes, J.-P., Steyer, J.P., Ferrer, I. (2010). Pretreatment methods to improve Sludge anaerobic degradability: A review. *Journal of Hazardous Materials* 183(1-3), 1-15.

Dogan, I., & Sanin, F. D. (2009). Alkaline solubilization and microwave irradiation as a combined Sludge disintegration and minimization method. *Water research*, 43(8), 2139-2148

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356

Frolund, B., Griebe, T., & Nilesen, H. P. (1995). Enzymatic activity in the activated-sludge floc matrix. *Applied microbiology and biotechnology*, 43(4), 755-761

Khanal, S. K., Grewell, D., Sung, S., & Van Leeuwen, J. (2007). Ultrasound Applications in Wastewater Sludge Pretreatment: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 37(4), 277-313

Müller, J. (2000). Disintegration as a key-step in sewage Sludge treatment. *Water Science and Technology*, 47(8), 123-130

Perez-Elvira, S. I., Nieto Diez, P., & Fdz-Polanco, F. (2006). Sludge minimization technologies. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 5(4), 375-398

Valo A., Carrere, H., Delgenes, J.-P. (2004). Thermal, chemical and thermo-chemical pretreatment of waste activated Sludge for anaerobic digestion. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 79 (11), 1197-1203

**[0149]** Alle in dieser Anmeldung zitierten Dokumente sind hiermit, wie in vollem Umfang aufgeführt, hierin enthalten.

**[0150]** Obwohl hierin veranschaulichende Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben wurden, versteht sich, dass die Erfindung nicht auf die beschriebenen beschränkt ist und dass verschiedene andere Änderungen oder Modifikationen vom Fachmann vorgenommen werden können, ohne vom Umfang oder Gedanken der Erfindung abzuweichen.

## Patentansprüche

1. Ein Verfahren zum Vorbehandeln von Klärschlamm in einem Klärwerk (KW), um die anaerobe Faulung zu begünstigen, das Folgendes beinhaltet:
  - (a) Leiten von Klärschlamm durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem KW in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen;
  - (b) Leiten des in Schritt (a) behandelten Klärschlammes zu einem anaeroben Faulbehälter; und
  - (c) Sammeln von in Schritt (b) produziertem Methan.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, wobei der Klärschlamm aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Primärschlamm, Überschussschlamm (ÜS), eingedicktem Überschussschlamm (EÜS), Feststoffen vom Ende der anaeroben Faulung (Faulrückstand) und Kombinationen davon besteht.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Vorbehandlungsvorrichtungen in einer Reihe angeordnet sind.
4. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Vorbehandlungsvorrichtungen parallel angeordnet sind.
5. Verfahren gemäß Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Vorbehandlungsvorrichtungen sowohl parallel als auch in einer Reihe angeordnet sind.
6. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei 1 bis 3 Vorbehandlungsvorrichtungen verwendet werden.
7. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Hochgeschwindigkeits-Transportfluid aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Dampf, Kohlendioxid, Stickstoff und Kombinationen davon besteht.
8. Verfahren gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Hochgeschwindigkeits-Transportfluid Dampf ist.

9. Verfahren gemäss Anspruch 8, wobei der Druck des zu jeder Transportfluiddüse zugeführten Dampfs ungefähr 4-9 bar Überdruck beträgt.
10. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Transportfluiddüse kreisringförmig ist und den Durchgang umschreibt.
11. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Transportfluiddüse einen Einlass, einen Auslass und einen Halsabschnitt zwischen dem Einlass und dem Auslass aufweist, wobei der Halsabschnitt eine Querschnittsfläche aufweist, die geringer als diejenige des Einlasses und des Auslasses ist.
12. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Vorbehandlungsvorrichtung weiter eine Transportfluidversorgung beinhaltet, die dazu angepasst ist, die Transportfluiddüse mit Transportfluid zu versorgen.
13. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Leiten des Klärschlammes durch jede Vorbehandlungsvorrichtung den Klärschlamm Folgendem unterzieht:
  - (a) turbulenter mehrphasiger Strömung mit Überschallgeschwindigkeiten für weniger als ungefähr 50 cm;
  - (b) der Bildung eines dispergierten oder teilweise dispergierten Felds, das von einem Teilvakuum umgebene Tröpfchen aus Klärschlamm beinhaltet; und
  - (c) gesteuerter Erwärmung.
14. Verfahren gemäss Anspruch 13, wobei der Druck des Teilvakuums weniger als ungefähr 1 bar beträgt.
15. Verfahren gemäss Anspruch 13 oder Anspruch 14, wobei ein Temperaturanstieg in dem durch jede Vorbehandlungsvorrichtung gelangenden Klärschlamm ( $\Delta T$ ) nicht mehr als 10-20 °C beträgt.
16. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Auflösungsgrad des Klärschlammes nach Schritt (a) von Anspruch 1 im Vergleich zu Klärschlamm, der nicht durch eine Vorbehandlungsvorrichtung geleitet wird, erhöht ist.
17. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Partikelgrösse des Klärschlammes nach Schritt (a) von Anspruch 1 im Vergleich zu Klärschlamm, der nicht durch eine Vorbehandlungsvorrichtung geleitet wird, verringert ist.
18. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Gesamtkonzentration von flüchtigen Fettsäuren in dem Klärschlamm nach Schritt (a) von Anspruch 1 im Vergleich zu Klärschlamm, der nicht durch eine Vorbehandlungsvorrichtung geleitet wird, erhöht ist.
19. Verfahren gemäss Anspruch 18, wobei die Gesamtkonzentration von Essigsäure in dem Klärschlamm nach Schritt (a) von Anspruch 1 im Vergleich zu Klärschlamm, der nicht durch eine Vorbehandlungsvorrichtung geleitet wird, erhöht ist.
20. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Kohlehydratkonzentration in dem Klärschlamm nach Schritt (a) von Anspruch 1 im Vergleich zu Klärschlamm, der nicht durch eine Vorbehandlungsvorrichtung geleitet wird, erhöht ist.
21. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die kapillare Saugzeit (KSZ) des Klärschlammes nach Schritt (b) von Anspruch 1 im Vergleich zu Klärschlamm, der nicht durch eine Vorbehandlungsvorrichtung geleitet wird, verringert ist.
22. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der Klärschlamm, der durch die Vorbehandlungsvorrichtung in Schritt (a) von Anspruch 1 gelangt, ein einzelner Klärschlammfluss ist, der aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Primärschlamm, Überschussschlamm (ÜS), eingedicktem Überschussschlamm (EÜS) und Feststoffen vom Ende der anaeroben Faulung (Faulrückstand) besteht.
23. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 1 bis 21, wobei der Klärschlamm, der durch die Vorbehandlungsvorrichtung in Schritt (a) von Anspruch 1 gelangt, eine Mischung von einem oder mehreren Schlammflüssen ist, die aus der Gruppe ausgewählt sind, die aus Primärschlamm, Überschussschlamm (ÜS), eingedicktem Überschussschlamm (EÜS) und Feststoffen vom Ende der anaeroben Faulung (Faulrückstand) besteht.
24. Ein Verfahren zum Mischen, Aufbrechen und Erwärmen von Faulrückstand in einer Schlammumwälzschleife an einem Faulbehälter in einem Klärwerk (KW), das Folgendes beinhaltet:
  - (a) Leiten des Faulrückstands durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem Faulrückstand in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen;
  - (b) Zurückleiten des in Schritt (a) behandelten Faulrückstands zu dem Faulbehälter; und

- (c) Sammeln von in dem Faulbehälter produziertem Methan.
25. Ein Verfahren zum Vorbehandeln eines biologisch abbaubaren Abfallstroms, das Folgendes beinhaltet:
- (a) Leiten von biologisch abbaubarem Abfallstrom durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; und
  - (b) Leiten des in Schritt (a) behandelten biologisch abbaubaren Abfallstroms zu einem anaeroben Faulbehälter.
26. Verfahren gemäss Anspruch 25, wobei der biologisch abbaubare Abfallstrom aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Klärschlamm, Nahrungsmittelabfall, Fabrik- und Prozessabfall, Landwirtschaftsabfall sowie Papier und kompostierbarem Abfall besteht.
27. Verfahren gemäss Anspruch 25 oder Anspruch 26, wobei die Vorbehandlungsvorrichtung weiter mindestens eine Sekundärdüse zwischen dem Einlass- und dem Auslassende des Durchgangs beinhaltet.
28. Verfahren gemäss Anspruch 27, wobei sich die mindestens eine Sekundärdüse stromaufwärts und/oder stromabwärts von der Transportfluiddüse befindet.
29. Verfahren gemäss Anspruch 27 oder Anspruch 28, wobei die Sekundärdüse dazu angepasst ist, ein Transportmaterial in den Durchgang zu liefern.
30. Verfahren gemäss Anspruch 29, wobei das Transportmaterial und das Transportfluid gleich oder verschieden sind.
31. Verfahren gemäss Anspruch 29 oder Anspruch 30, wobei das Transportmaterial eine Flüssigkeit oder ein Pulver ist.
32. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 29 bis 31, wobei das Transportmaterial aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus einer Chemikalie, einem Enzym, einer Mikrobekultur und Kombinationen davon besteht.
33. Verfahren gemäss Anspruch 28, wobei die Sekundärdüse ionische Polymere in einer Menge an den biologisch abbaubaren Abfallstrom, wenn er durch den Durchgang gelangt, liefert, die effektiv ist, um den biologisch abbaubaren Abfallstrom einzudicken und zur Ausflockung zu bringen.
34. Ein Verfahren zum Vorbehandeln von biologisch abbaubarem Abfallstrom, das Folgendes beinhaltet:
- (a) Leiten von biologisch abbaubarem Abfallstrom durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrichtungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im Wesentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Fluidverbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; wobei Schritt (a) die Zahl der lebenden Mikroorganismen in dem biologisch abbaubaren Abfallstrom verglichen mit einem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Abwesenheit von Schritt (a) um mindestens 10 % reduziert.
35. Verfahren gemäss Anspruch 34, wobei Schritt (a) die Zahl der lebenden Mikroorganismen in dem biologisch abbaubaren Abfallstrom verglichen mit einem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Abwesenheit von Schritt (a) um mindestens 50 % reduziert.
36. Verfahren gemäss Anspruch 34, wobei Schritt (a) die Zahl der lebenden Mikroorganismen in dem biologisch abbaubaren Abfallstrom verglichen mit einem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Abwesenheit von Schritt (a) um mindestens 100 % reduziert.
37. Verfahren gemäss Anspruch 34, wobei Schritt (a) die Zahl der lebenden Mikroorganismen in dem biologisch abbaubaren Abfallstrom verglichen mit einem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Abwesenheit von Schritt (a) um mindestens 300 % reduziert.
38. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 34 bis 37, wobei der Mikroorganismus ein pathogener Mikroorganismus ist.
39. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 34 bis 38, wobei der Mikroorganismus eine Bakterie ist.
40. Verfahren gemäss Anspruch 39, wobei die Bakterie eine E. coli ist.
41. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 34 bis 40, wobei Schritt (a) die Verwendung von mindestens 2 Vorbehandlungsvorrichtungen beinhaltet.
42. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 34 bis 41, wobei Schritt (a) die Verwendung von mindestens 3 Vorbehandlungsvorrichtungen beinhaltet.

43. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 34 bis 42, wobei Schritt (a) die Verwendung von mindestens 4 Vorbehandlungsvorrichtungen beinhaltet.
44. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 34 bis 43, wobei der biologisch abbaubare Abfallstrom aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus Klärschlamm, Nahrungsmittelabfall, Fabrik- und Prozessabfall, Landwirtschafts-abfall sowie Papier und kompostierbarem Abfall besteht.
45. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 34 bis 44, wobei der biologisch abbaubare Abfallstrom städ-tischer Klärschlamm ist.
46. Ein Verfahren zum Vorbehandeln eines biologisch abbaubaren Abfallstroms, das Folgendes beinhaltet:
  - (a) Leiten von biologisch abbaubarem Abfallstrom durch eine oder mehrere Vorbehandlungsvorrich-tungen, wobei jede Vorbehandlungsvorrichtung Folgendes beinhaltet: (i) einen Durchgang mit im We-sentlichen konstantem Durchmesser, der einen mit dem biologisch abbaubaren Abfallstrom in Fluid-verbindung stehenden Einlass und einen Auslass aufweist; und (ii) eine Transportfluiddüse, die mit dem Durchgang in Verbindung steht und dazu angepasst ist, Hochgeschwindigkeits-Transportfluid in den Durchgang einzuspritzen; und
  - (b) Entwässern des biologisch abbaubaren Abfallstroms aus Schritt (a); und
  - (c) optional Verdichten des aus Schritt (b) resultierenden Materials.
47. Verfahren gemäss Anspruch 46, wobei der biologisch abbaubare Abfallstrom aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus städtischem Klärschlamm, Nahrungsmittelabfall, Fabrik- und Prozessabfall, Landwirtschaftsabfall sowie Papier und kompostierbarem Abfall besteht.
48. Verfahren gemäss Anspruch 46 oder Anspruch 47, wobei die Vorbehandlungsvorrichtung weiter mindestens eine Sekundärdüse zwischen dem Einlass- und dem Auslassende des Durchgangs beinhaltet.
49. Verfahren gemäss Anspruch 48, wobei sich die mindestens eine Sekundärdüse stromaufwärts und/oder stromabwärts von der Transportfluiddüse befindet.
50. Verfahren gemäss Anspruch 48 oder Anspruch 49, wobei die Sekundärdüse dazu angepasst ist, ein Transportmaterial in den Durchgang bereitzustellen.
51. Verfahren gemäss Anspruch 50, wobei das Transportmaterial und das Transportfluid gleich oder verschieden sind.
52. Verfahren gemäss Anspruch 50 oder Anspruch 51, wobei das Transportmaterial eine Flüssigkeit oder ein Pulver ist.
53. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 50 bis 52, wobei das Transportmaterial aus der Gruppe ausgewählt ist, die aus einer Chemikalie, einem Enzym, einer Mikrobekultur und Kombinationen davon besteht.
54. Verfahren gemäss Anspruch 49, wobei die Sekundärdüse ionische Polymere in einer Menge an den biologisch ab-baubaren Abfallstrom, wenn er durch den Durchgang gelangt, liefert, die effektiv ist, um den biologisch abbaubaren Abfallstrom einzudicken und zur Ausflockung zu bringen.
55. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 46 bis 54, wobei vor oder nach Schritt (a) ein ionisches Polymer in einer Menge zu dem biologisch abbaubaren Abfallstrom hinzugefügt wird, die effektiv ist, um den biologisch abbaubaren Abfallstrom einzudicken und zur Ausflockung zu bringen.
56. Verfahren gemäss einem der vorangehenden Ansprüche 46 bis 55, wobei der Verdichtungsschritt das Formen des aus Schritt (b) resultierenden Materials zu Pellets in einer Form, die für die Verwendung in einem Festbrennstoff-Kraftwerk geeignet ist, beinhaltet.
57. Ein Geländeauffüller, Dünger, Bodenverbesserer oder eine Festbrennstoffquelle für ein Festbrennstoff-Kraftwerk, der bzw. die mit dem Verfahren von einem der vorangehenden Ansprüche 46 bis 56 hergestellt wird.

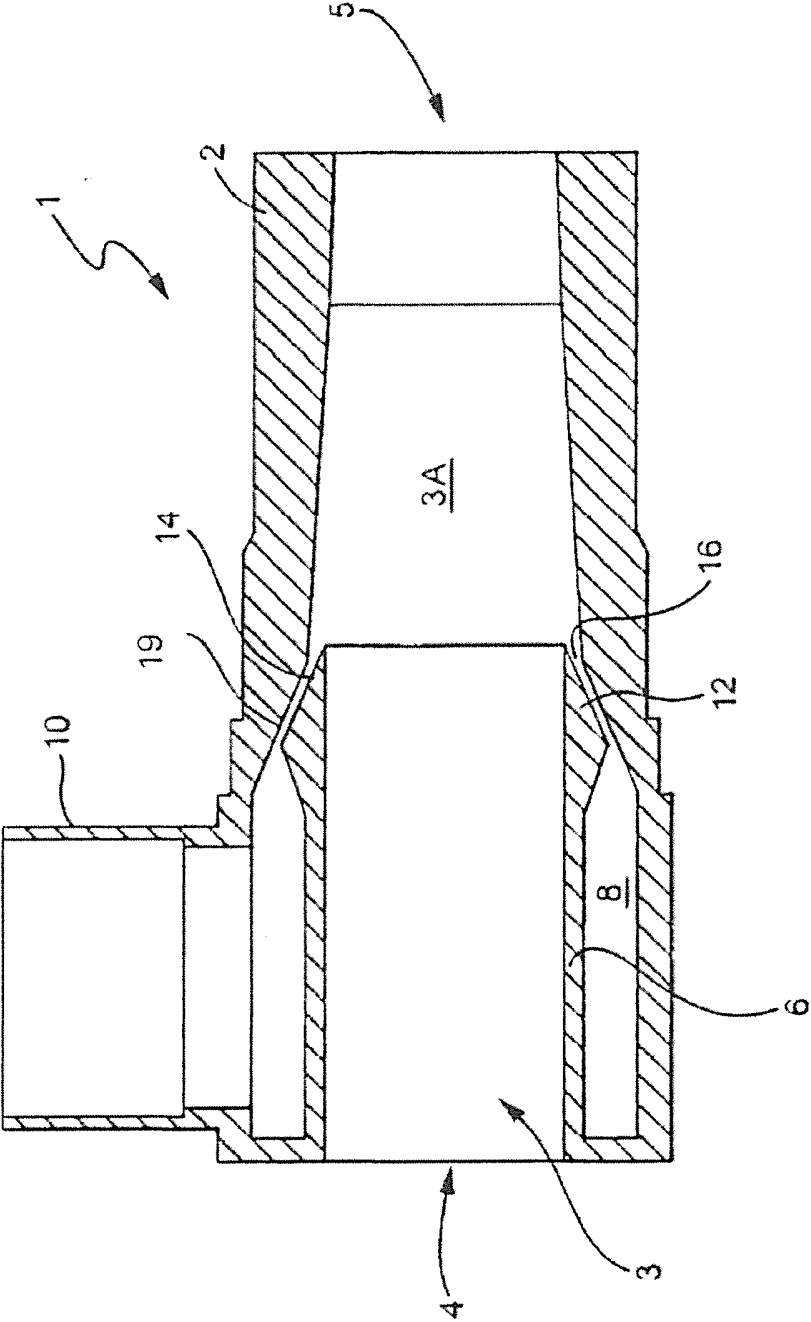
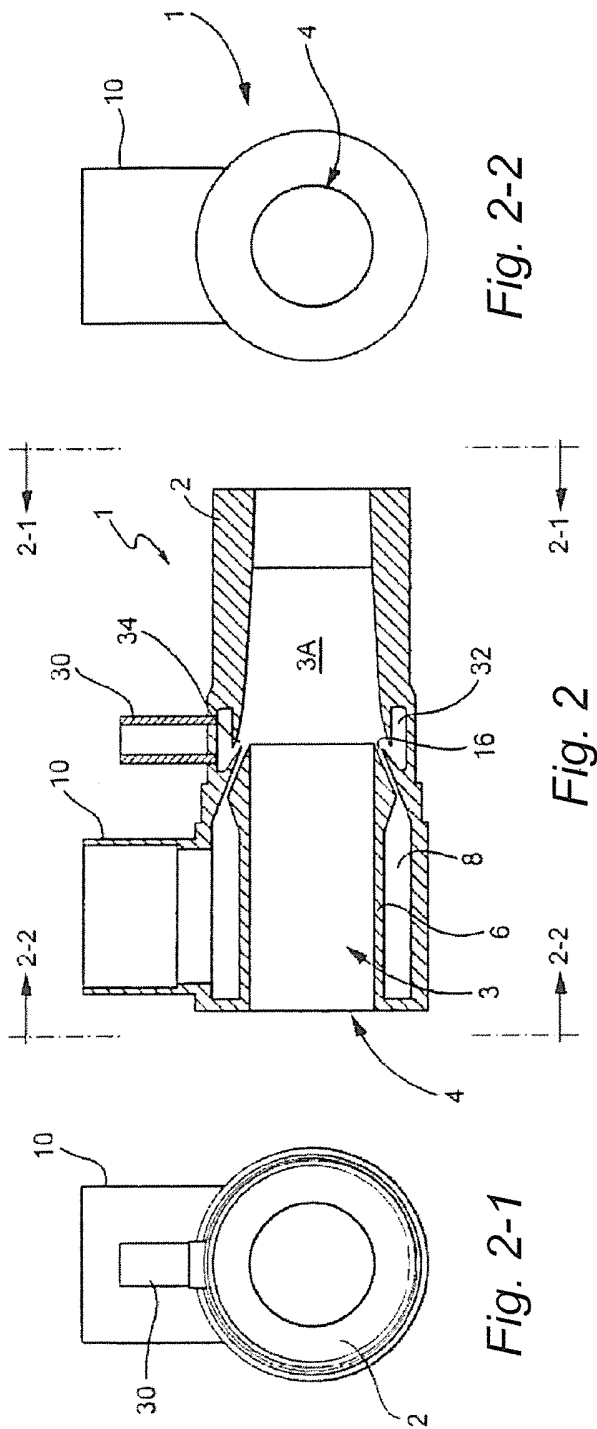
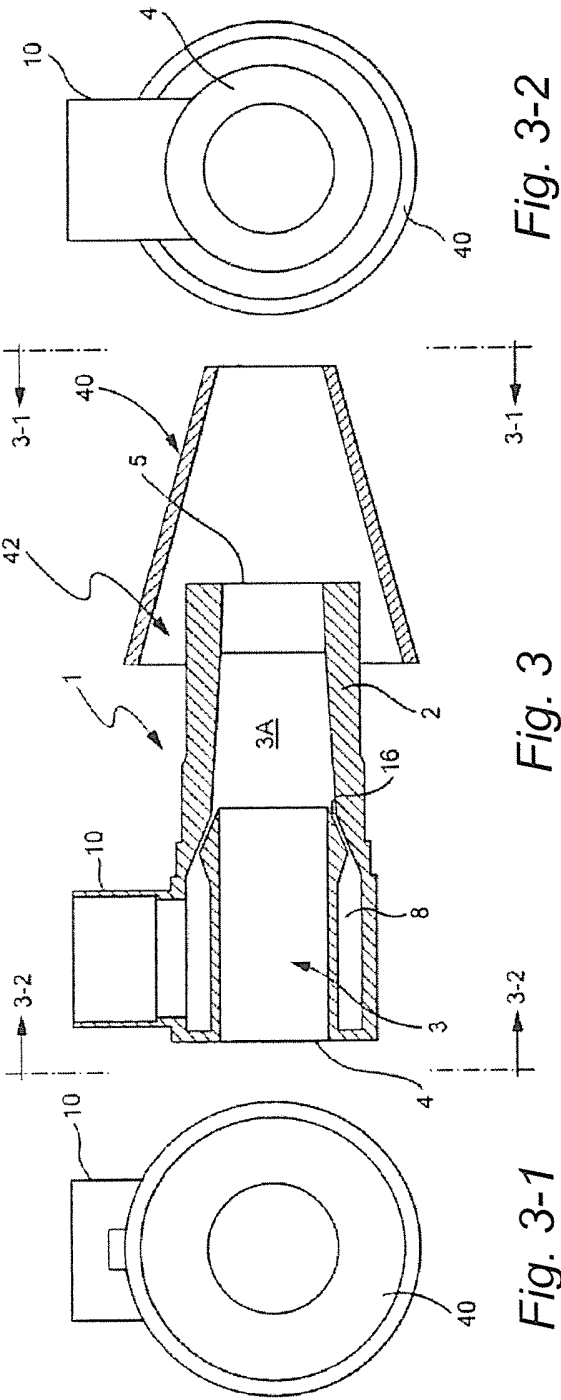


Fig. 1





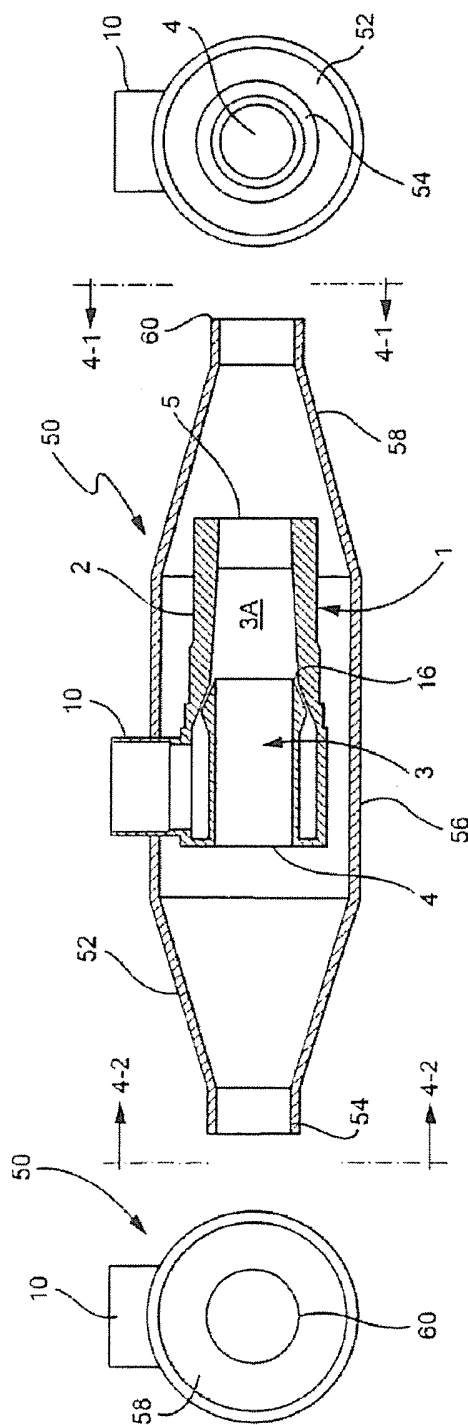


Fig. 4-2

Fig. 4

Fig. 4-1

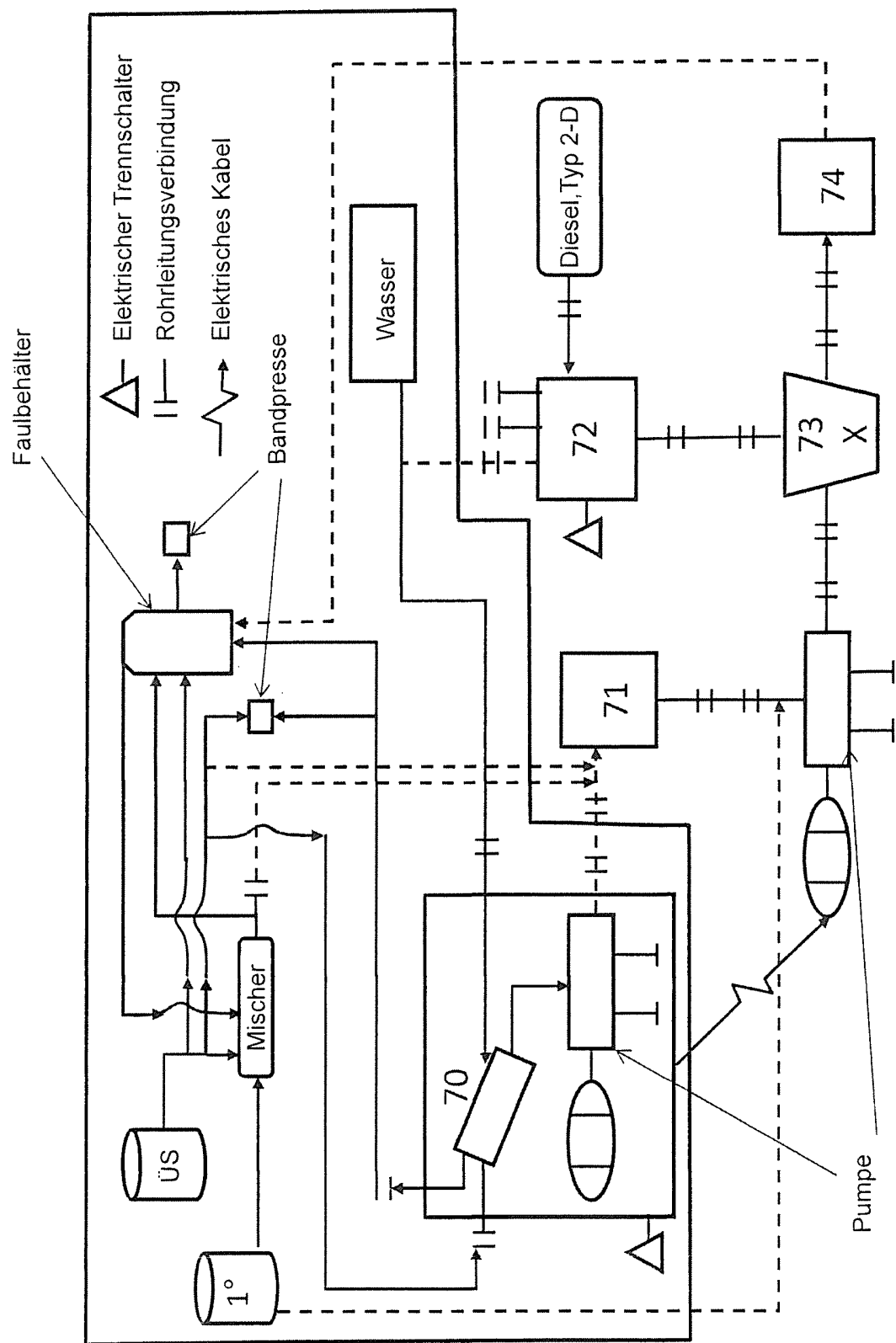


Fig. 5

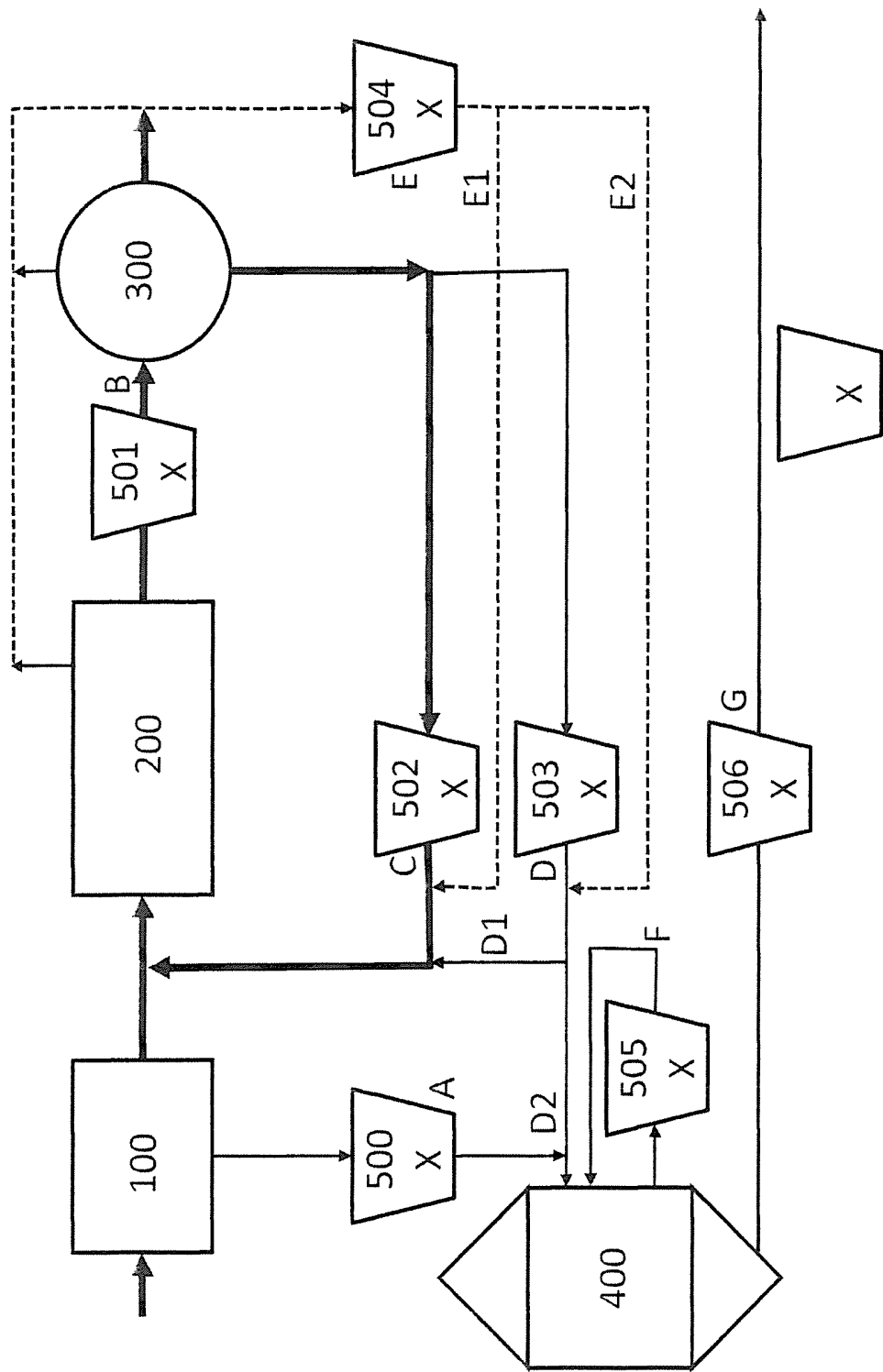


Fig. 6

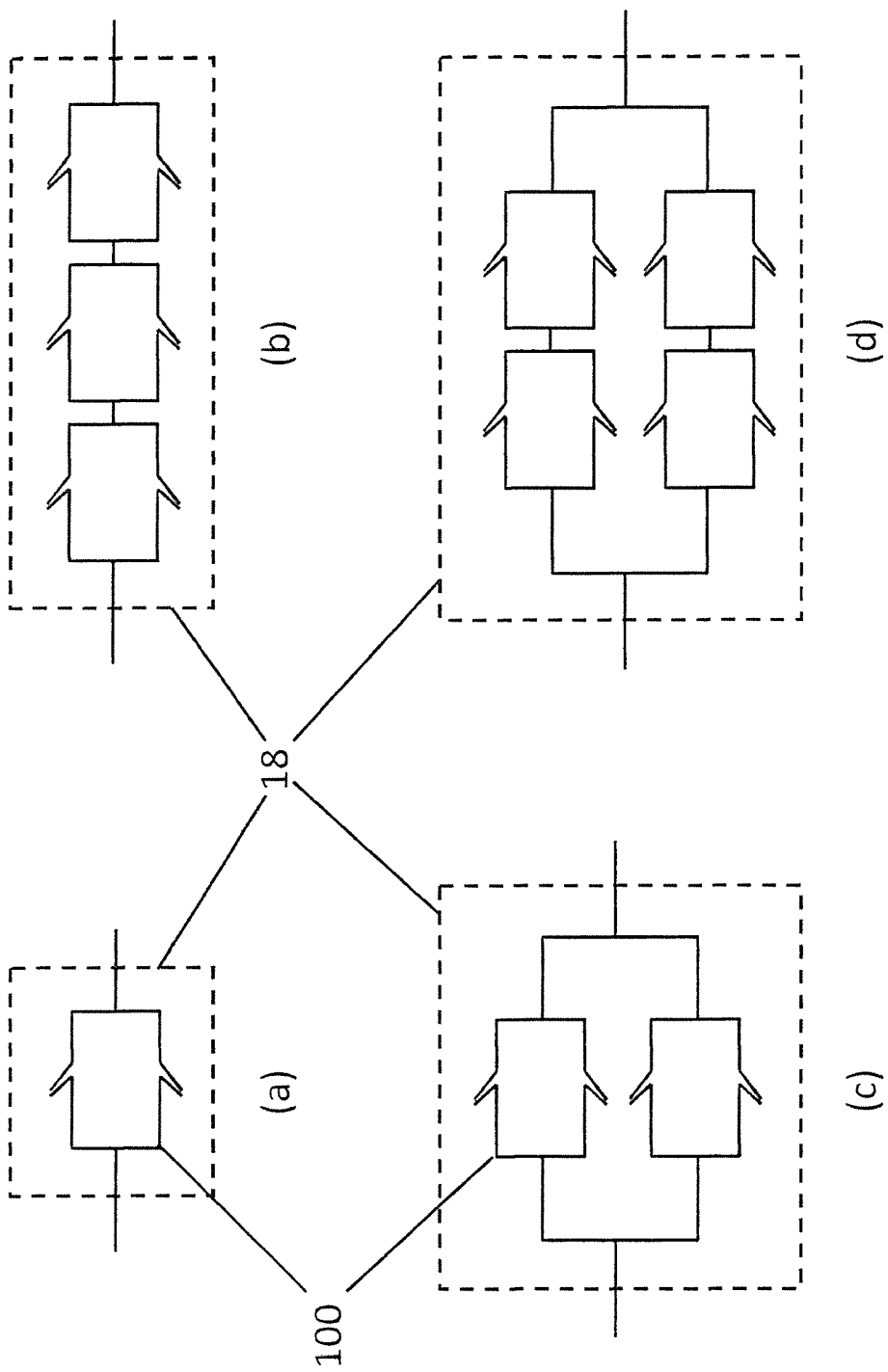


Fig. 7

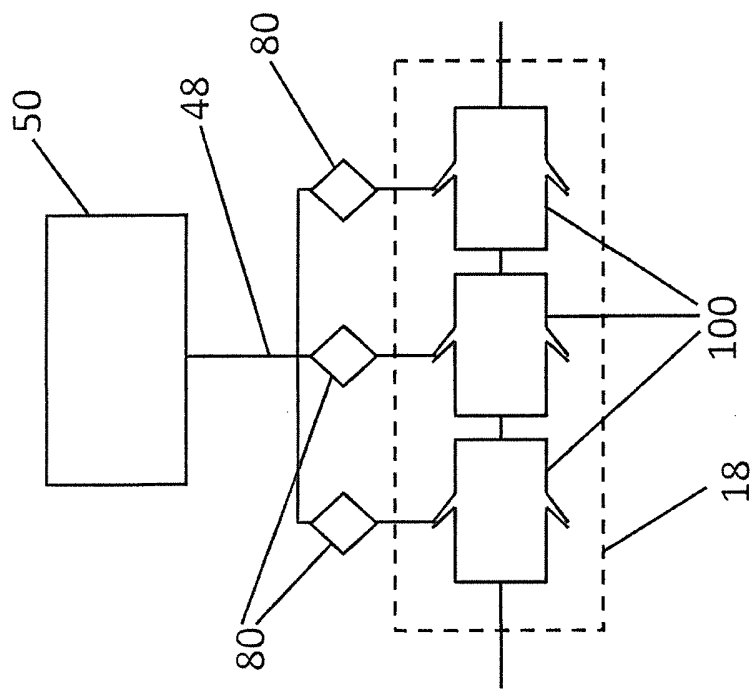


Fig. 8

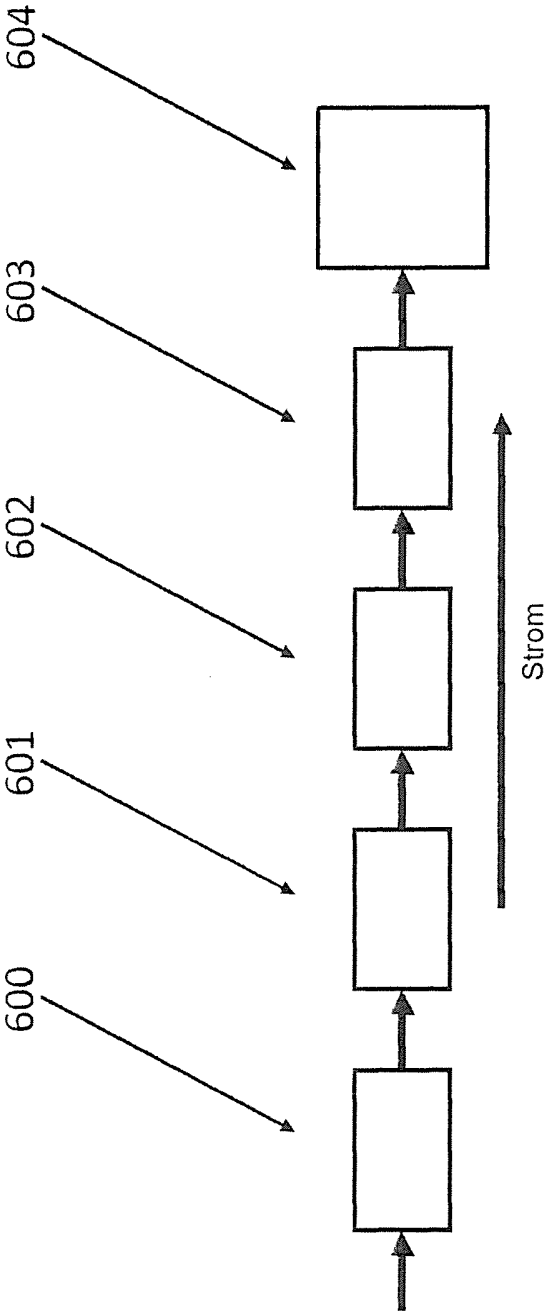


Fig. 9

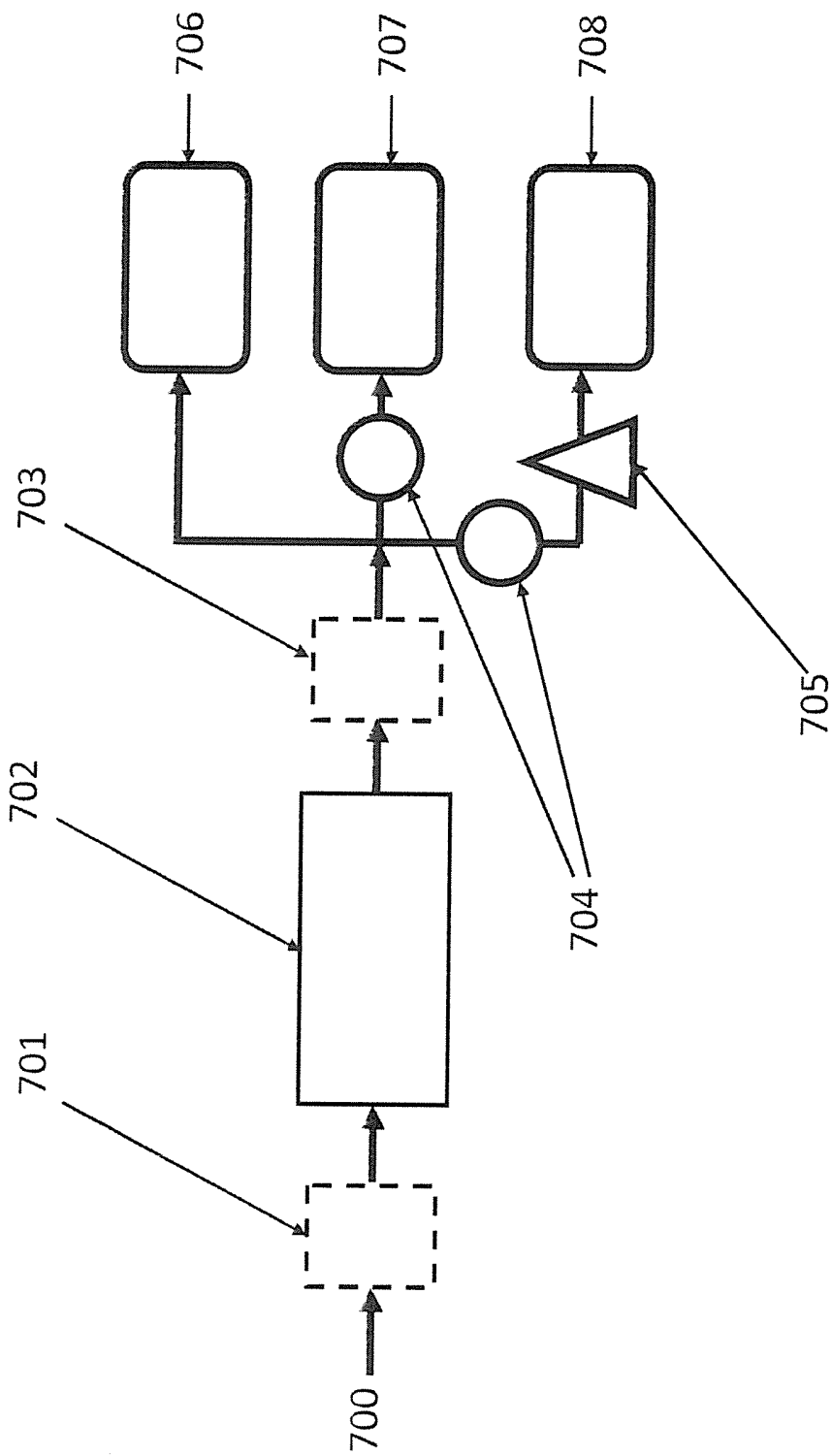


Fig. 10

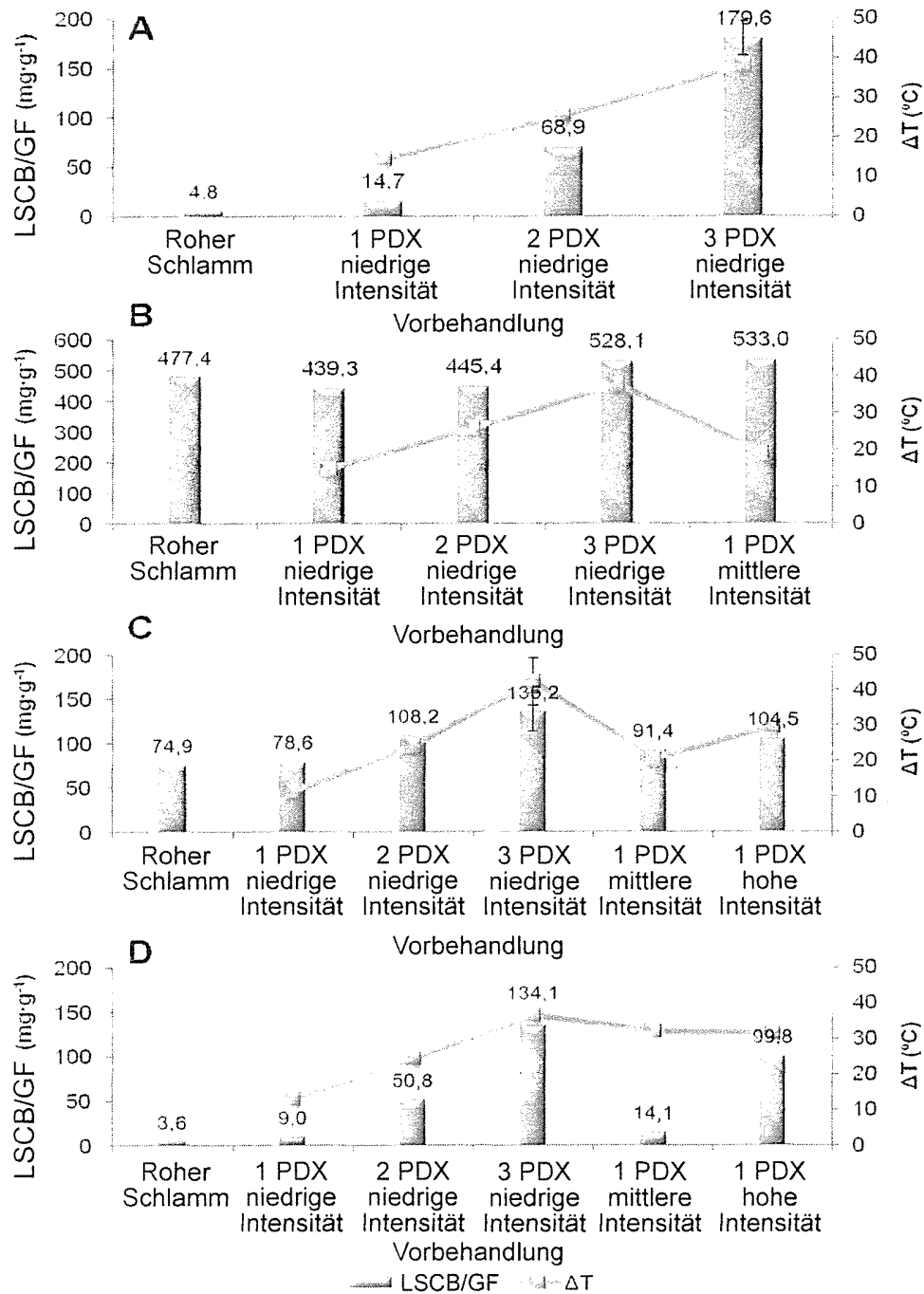


Fig. 11

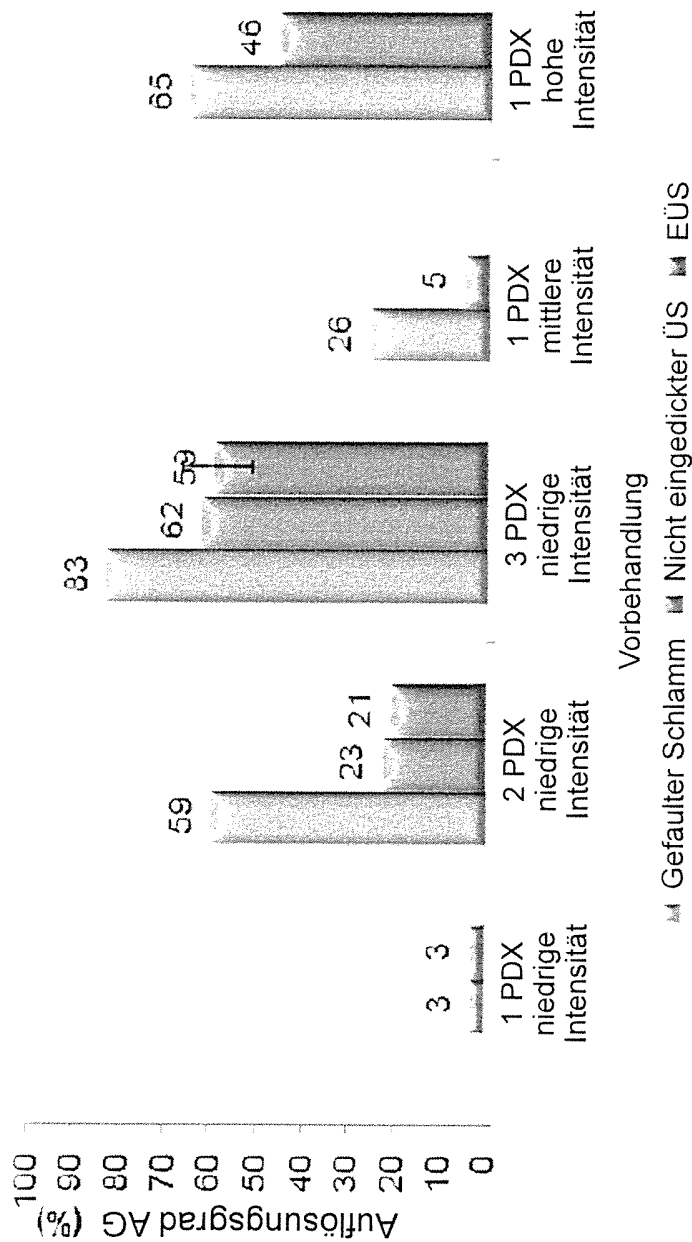


Fig. 12

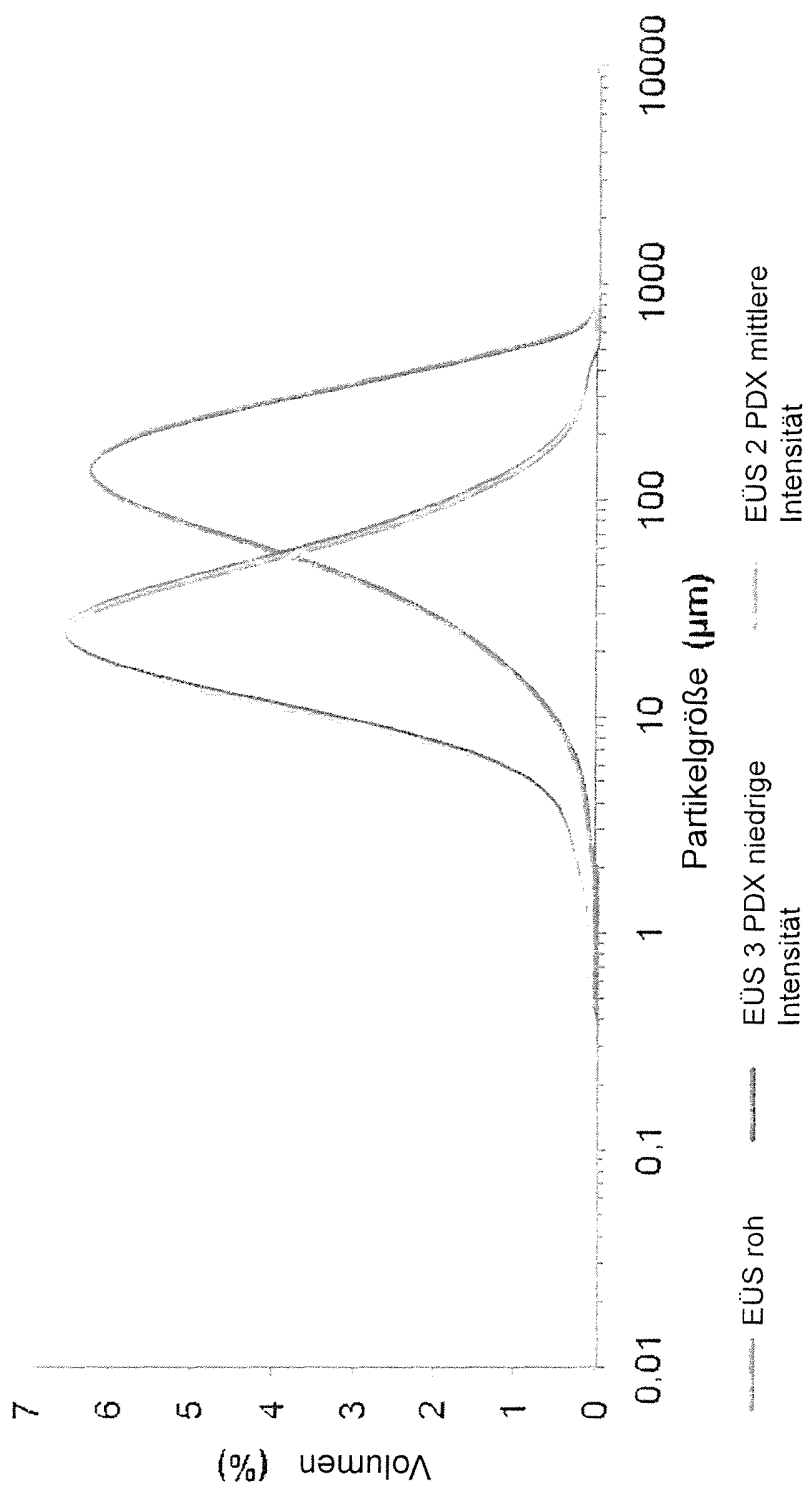


Fig. 13

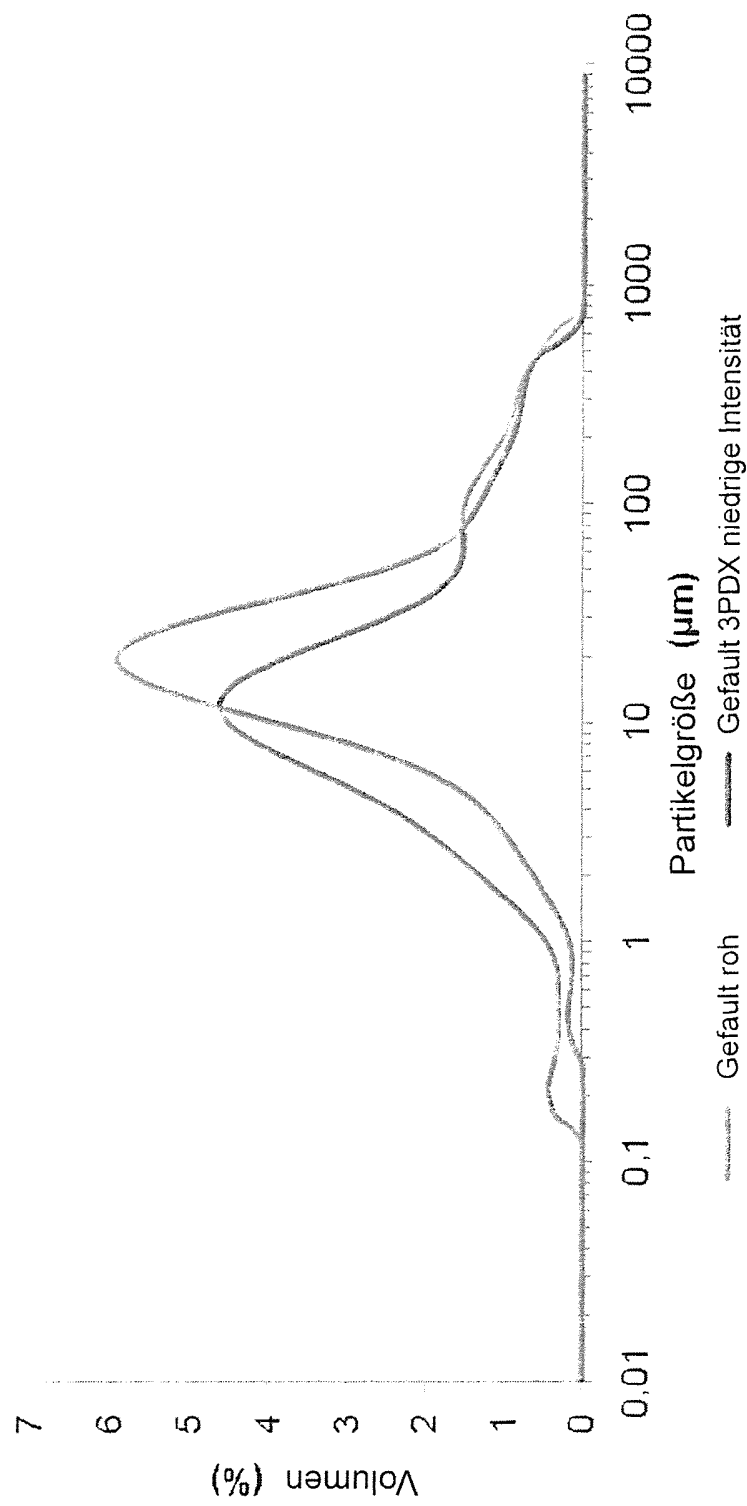


Fig. 14

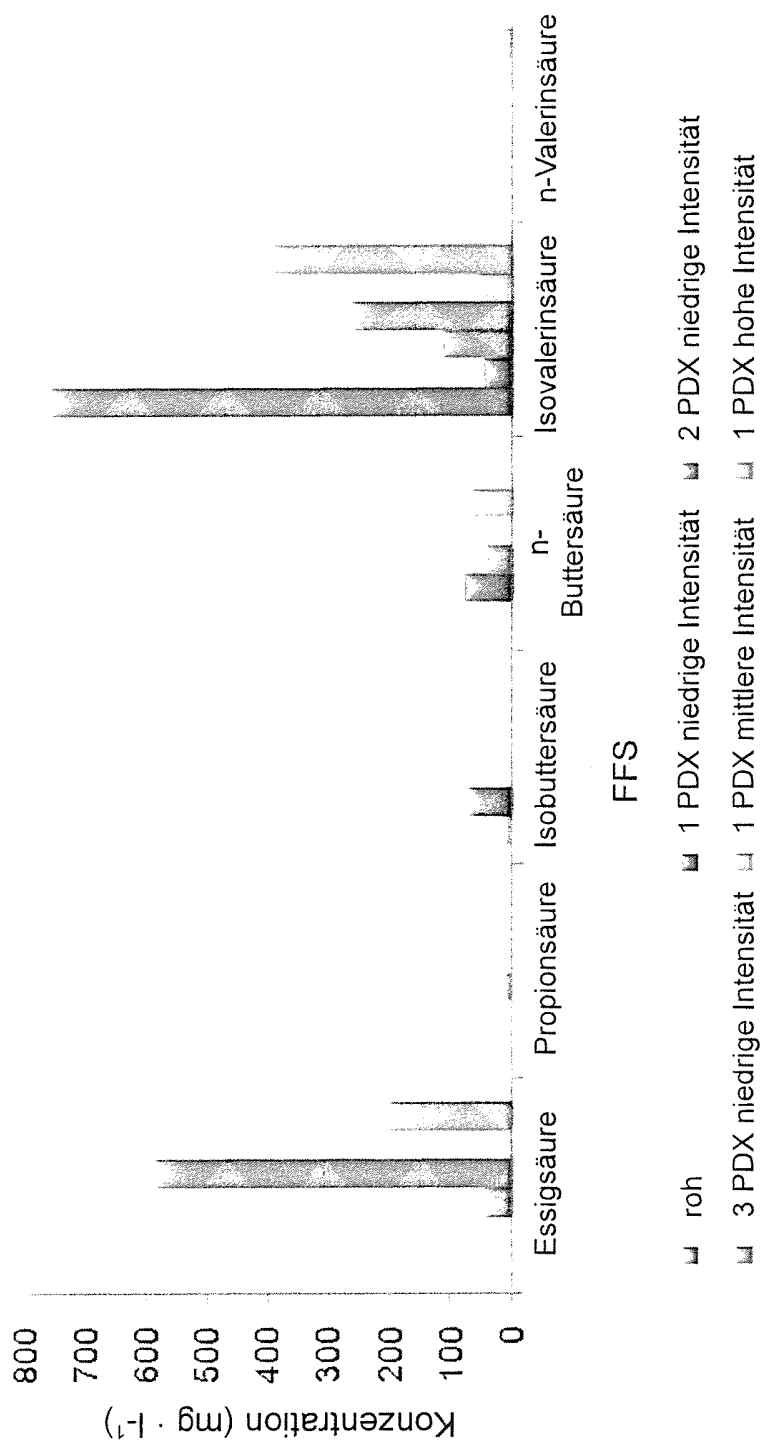
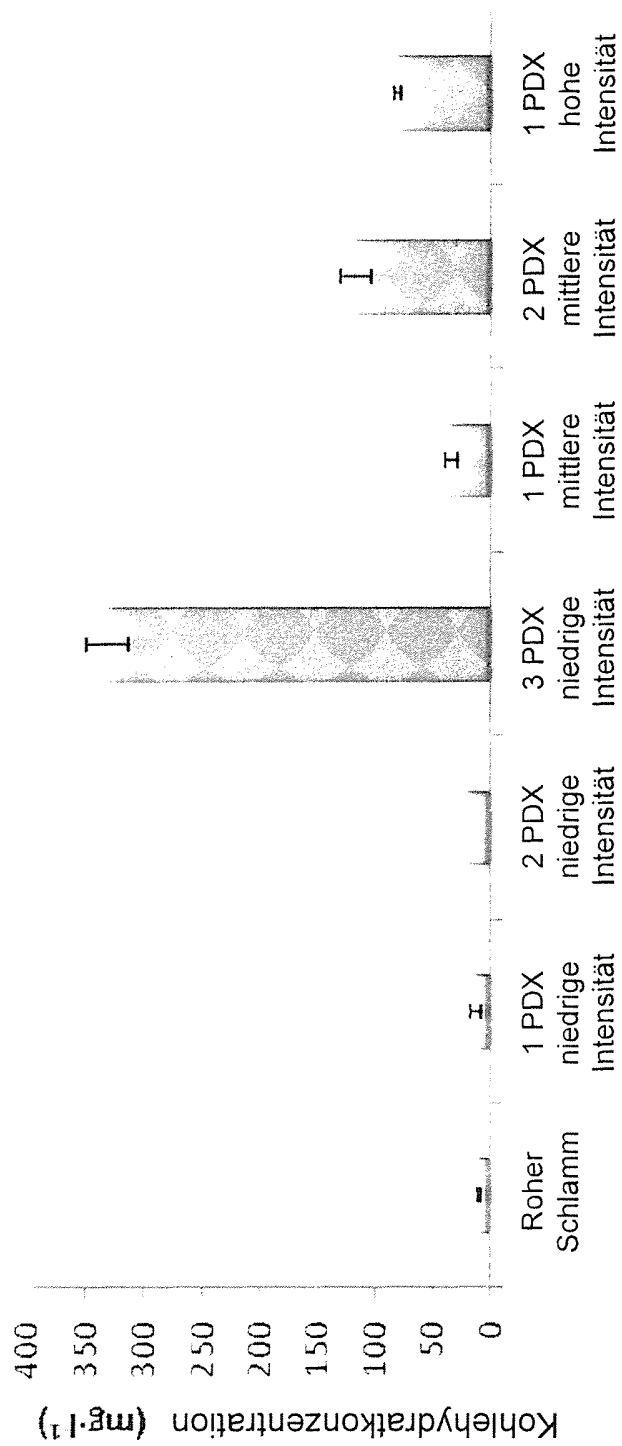
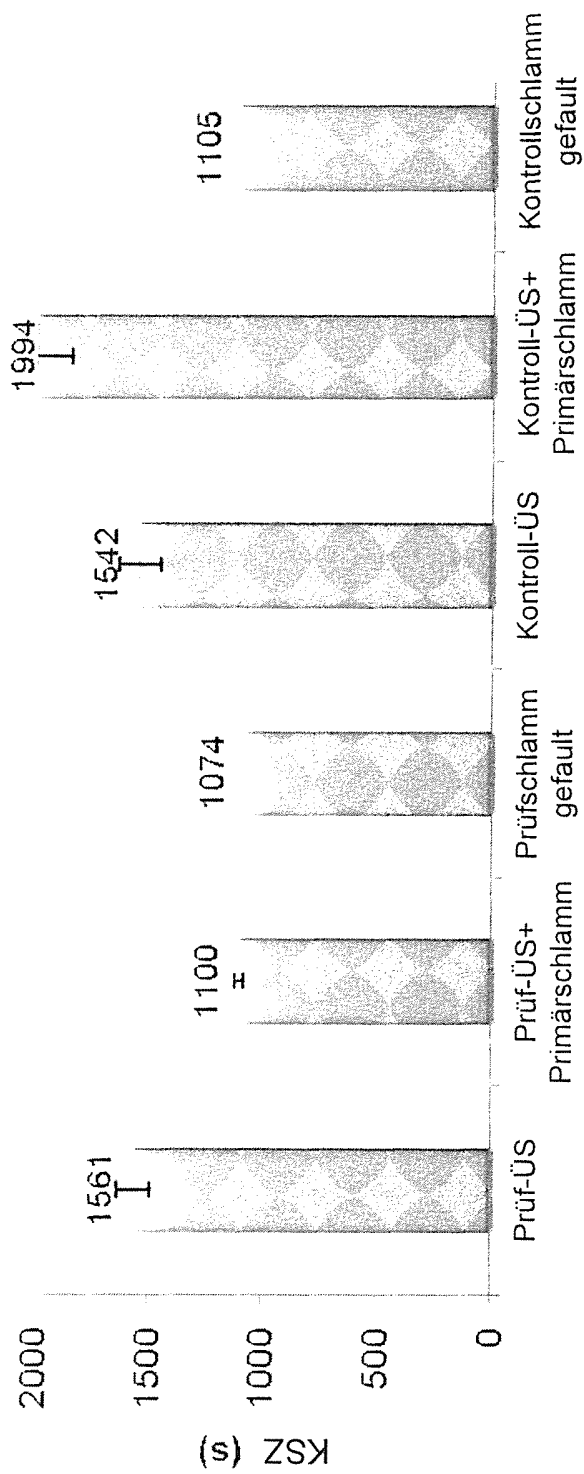


Fig. 15



Vorbehandlung

Fig. 16



Faulbehälter

Fig. 17

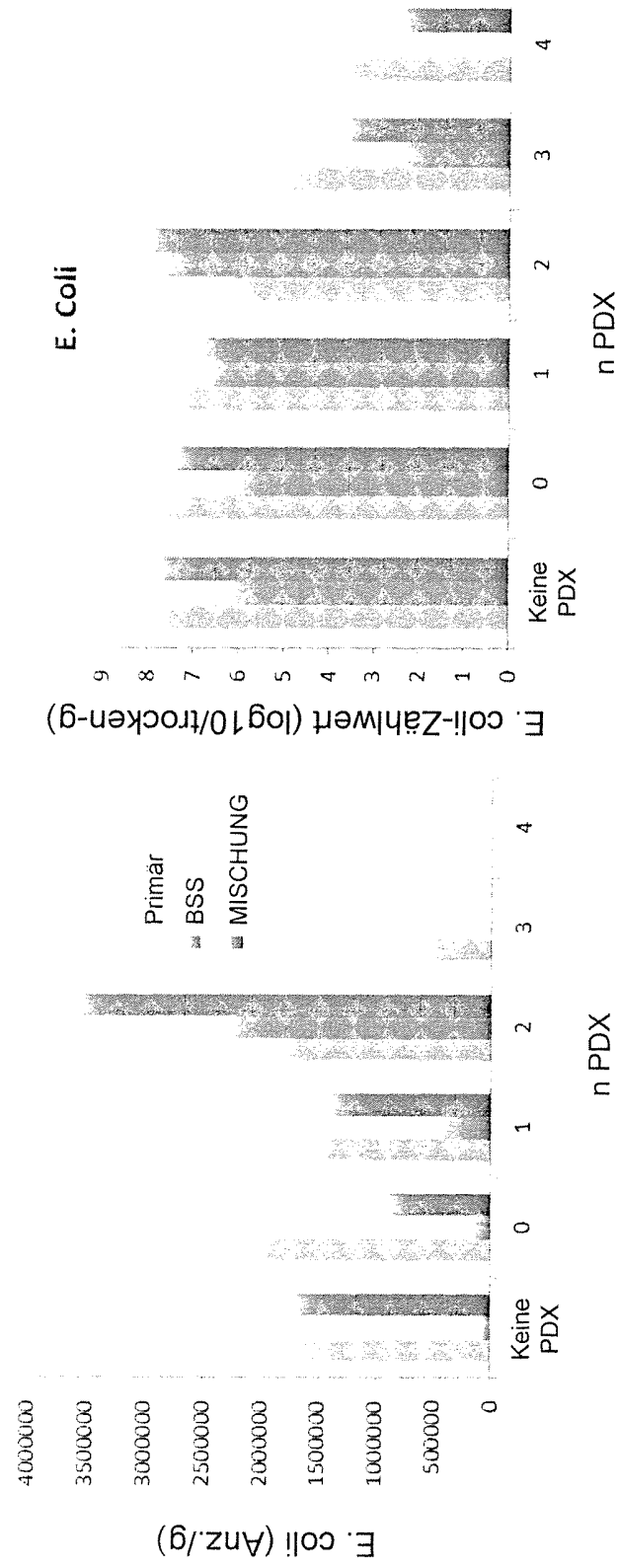


Fig. 18