

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

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
30. Mai 2013 (30.05.2013)



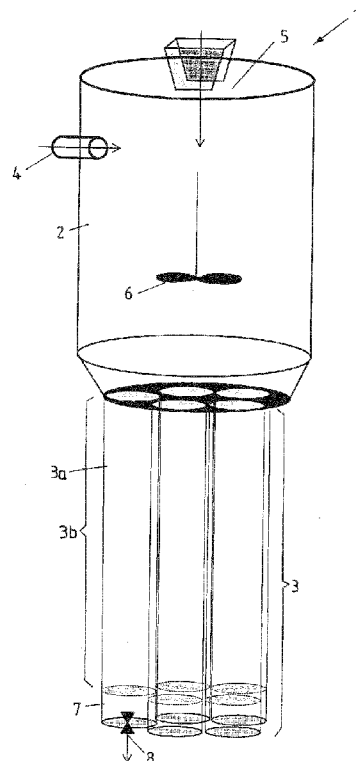
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2013/076072 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
C12N 1/02 (2006.01) *A01G 33/00* (2006.01)
C12N 1/12 (2006.01) *B01D 21/00* (2006.01)
C12M 1/00 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2012/073088
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
20. November 2012 (20.11.2012)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2011 087 137.3
25. November 2011 (25.11.2011) DE
- (71) **Anmelder:** FIM BIOTECH GMBH [DE/DE]; Am
Kupfergraben 6, 10117 Berlin (DE). GMB GMBH
[DE/DE]; Knappenstraße 1, 01968 Senftenberg (DE).
- (72) **Erfinder:** KRÜGER, Gerd; Lehnstraße 39, 10621 Berlin
(DE). DALLWIG, Rainer; Landhausstraße 1, 14476
Potsdam (DE).
- (74) **Anwalt:** MORAWSKI, Birgit; Maikowski & Ninnemann,
Postfach 15 09 20, 10671 Berlin (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR SEPARATING ALGAE, IN PARTICULAR MICROALGAE, FROM AN AQUEOUS PHASE, AND A DEVICE FOR CARRYING OUT THIS METHOD

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUM ABTRENNEN VON ALGEN, INSBESONDERE MIKROALGEN AUS EINER WÄSSRIGEN PHASE UND EINE VORRICHTUNG ZUR DURCHFÜHRUNG DIESES VERFAHRENS



(57) **Abstract:** The present invention relates to a method for separating algae, in particular microalgae, from an aqueous phase, having the method steps: a) addition of at least one clay mineral, in particular an alternating-layer clay mineral, to the aqueous, algae-containing phase, and mixing the same, b) sedimentation of the resultant aqueous suspension of algae and clay mineral, forming an aqueous supernatant, and c) separating the sediment of algae and clay mineral from the aqueous supernatant. In addition, the invention relates to a device for carrying out this method.

(57) **Zusammenfassung:** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Abtrennen von Algen, insbesondere Mikroalgen, aus einer wässrigen Phase mit den Verfahrensschritten: a) Zugabe von mindestens einem Tonmineral, insbesondere einem Wechsellagerungstonmineral, zur wässrigen, Algen enthaltenden Phase und Vermischen derselben, b) Sedimentation der gebildeten wässrigen Suspension aus Algen und Tonmineral unter Ausbildung eines wässrigen Überstandes, und c) Abtrennung des Sediments aus Algen und Tonmineral von dem wässrigen Überstand. Des Weiteren betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

WO 2013/076072 A2



(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

Verfahren zum Abtrennen von Algen, insbesondere Mikroalgen aus einer wässrigen Phase und eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens

Die vorliegende Anmeldung betrifft ein Verfahren zum Abtrennen von Mikroorganismen aus einer wässrigen Phase gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens nach Anspruch 19, eine Zusammensetzung herstellbar mit diesem Verfahren nach Anspruch 25 und die Verwendung dieser Zusammensetzung nach Anspruch 26.

Beschreibung

Im Hintergrund der weltweiten Bemühungen um die Reduzierung der CO₂-Emissionen tritt deren stoffliche Nutzung immer mehr in den Vordergrund. Derzeit wird verstärkt untersucht, ob die Verstoffwechslung des von Kraftwerken freigesetzten CO₂ durch in den Meeren vorkommenden Organismen wie Algen, Phytoplankton oder Cyanobakterien mittels Photosynthese ein gangbarer Weg sein kann. Die genannten Organismen sind etwa für die Hälfte der globalen Kohlenstofffixierung durch Photosynthese verantwortlich, wobei der größte Teil des fixierten Kohlenstoffs über die marine Nahrungskette wieder in Form von CO₂ an die Atmosphäre zurückgegeben wird. Ein kleinerer Teil des gebundenen CO₂ wird jedoch am Meeresboden abgelagert.

Es ist bekannt, mit Hilfe von Mikroalgen - ein- bis wenigzelligen Algen - eine Biomasse unter Verwendung von Rauchgas zu erreichen. Mikroalgen wachsen ca. 10x schneller als Landpflanzen, wachsen in Salz-, Süß- und Abwasser und konkurrieren nicht mit landwirtschaftlich genutzter Fläche. Sie besitzen eine hohe Diversität: etwa 30000 beschriebene Arten haben daher ein großes Potential für unterschiedlichste Stoffe, die in der Mikroalge produziert werden können.

Bei derartigen Verfahren wird das im Rauchgas enthaltene CO₂ unmittelbar in der erhaltenden Biomasse fixiert. Das entschwefelte Rauchgas wird durch eine Lösung aus Mikroalgen geleitet, wodurch es zu einem exponentiellen Wachstum der Mikroalgen kommt. Bevorzugt wird diese Art der CO₂-Fixierung in einem kontinuierlichen Verfahren durchgeführt, wozu eine ständige Entnahme der gebildeten Biomasse und deren Weiterverarbeitung Voraussetzung sind.

Die Ausbeute an Trockensubstanz an Biomasse beträgt je nach Optimierungsstufe des Verfahrens zwischen 0,3 und 0,8 Gew% Trockensubstanz. Dies bedeutet, dass eine Algensuspension zu 99,2 bis 99,7 Gew% aus Wasser besteht. Deshalb ist neben der Erhöhung der Algenkonzentration die Aufbereitungstechnik von wesentlicher Bedeutung. Durch die sehr kleine Größe der Mikroalgen von 5 bis 15 µm ist eine Filtration sehr schwierig und eine Zentrifugation sehr energieintensiv und damit sehr teuer. Schätzungsweise 85% der gesamten Herstellungskosten entfallen auf die Aufbereitungstechnik zum Trockenprodukt.

Je nach Verwendungsmöglichkeit der Mikroalgen wie z.B. für die Biomasseproduktion für Energieerzeugung, Proteine für Futtermittel, Feinchemikalien und Nahrungsmittel bis Pharma und Kosmetik ergeben sich Preise für die Algen von 1 €/kg, 10 €/kg und 100 €/kg. Die derzeitigen hohen Herstellerpreise haben bisher den massenhaften Einsatz von Algenprodukten insbesondere für Tierfutter verhindert. Nur durch eine starke Reduzierung der Aufbereitungskosten sind marktfähige Preise zu erzielen.

Neben Filtration und Zentrifugation sind weitere Möglichkeiten zur Abtrennung der produzierten Biomasse aus Mikroalgen aus dem Stand der Technik bekannt.

So wird in der DE 10 2009 030 712 A1 ein Verfahren zur Abtrennung von Mikroalgen beschrieben, bei welchem der erzeugten Biomasse magnetische Partikel zugesetzt werden und die mit den magnetischen Partikeln versehene Biomasse in einer magnetischen Separationsstufe abgeschieden wird. Eine weitere Verwendung der so abgeschiedenen Mikroalgen z.B. als Futtermittel scheidet aufgrund der enthaltenen magnetischen Partikel jedoch aus.

Aus der US 6,524,486 B2 ist die Verwendung u.a. von modifizierter Stärke als Ausflockungsmittel bekannt. Die mit Stärke versetzte Algensuspension wird einer Flotationskolonne zugeführt, in welcher es durch Einleitung von gelöstem Gas zur Ausbildung eines Algenschlums kommt, der anschließend abgetrennt wird. Dieses Verfahren ist jedoch für einen großtechnischen Ansatz zur Rauchgasbehandlung nicht geeignet.

Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, welches die Abtrennung von Mikroalgen aus einer wässrigen Phase ermöglicht, das in einem

großtechnischen Maßstab einsetzbar ist und gleichzeitig eine weitere Verwendung der gewonnenen Mikroalgen z.B. als Futtermittel ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 und eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 19 gelöst.

Entsprechend wird ein Verfahren zur Abtrennung von Algen, insbesondere Mikroalgen, aus einer wässrigen Phase bereitgestellt, welches die folgenden Verfahrensschritte umfasst:

a) Zugabe von mindestens einem Tonmineral, insbesondere einem Wechsellagerungstonmineral, zur wässrigen Algen enthaltenden Phase und Vermischen derselbigen,

b) Sedimentation der gebildeten wässrigen Suspension, insbesondere Flockensuspension, aus Algen und Tonmineral und Ausbildung eines wässrigen Überstandes, und.

c) Abtrennung des Sediments aus Algen und Tonmineral von dem wässrigen Überstand.

Die dem erfindungsgemäßen Verfahren zugrunde liegende Idee besteht somit darin, die sich in einer wässrigen Phase befindlichen Algen an einem geeigneten Mittel zu adsorbieren bzw. reversibel zu binden, um so eine schnelle und schonende Anreicherung oder Aufkonzentration der Algen zu bewirken. Eine schonende Behandlung der Algen ist dabei von Bedeutung, um eine Zerstörung der wichtigen Zellinhaltsstoffe der Algen zu vermeiden.

Insbesondere wird dabei ein speziell aufbereitetes Tonmineral mit einer hohen positiven Kantenladung mit negativ geladenen Algen durch Ladungsneutralisation koaguliert und anschließend durch Flocculation der Tonteilchen und Algen und bevorzugt mittels von Metallsalzen als Brückenbilder schnell sedimentiert. Mittels einer Vibrationsbehandlung ist eine weitere Konzentration möglich. In einem starken Zentrifugalfeld kann der Algen-Ton-Komplex wieder in Algen und Tonmineral vollständig getrennt werden oder der Komplex wird zu einem Bio-Mineralischen Verbundsystem aus Algen und Tonmineral weiterverarbeitet. Dabei übernimmt das Tonmineral die Funktion eines Drug Delivery Systems, indem es die Wirkstoffe der aufgeschlossenen Alge vor Zerstörung schützt.

Allgemein sind Mikroorganismen- zu denen auch die Mikroalgen gehören - mikroskopisch kleine Lebewesen bzw. Organismen, die als Einzelwesen mit bloßem Auge meist nicht erkennbar sind. Bei den Mikroorganismen handelt es sich überwiegend um Einzeller, auch einige Mehrzeller entsprechender Größe gehören dazu. Mikroorganismen kommen in verschiedenen Größenordnungen vor. Einige Mikroorganismen sind etwa für die Ernährung von Bedeutung, andere sind Erreger von Infektionskrankheiten.

Beispiele für Mikroorganismen sind Bakterien z. B. Milchsäurebakterien, Pilze z. B. Backhefe *S. cerevisiae*, Cyanobakterien (Blualgen), mikroskopische Algen z. B. Chlorellen, die u. a. als Nahrungsergänzungsmittel verwendet werden, und Protozoen z. B. das Pantoffeltierchen und der Malaria-Erreger *Plasmodium*.

Von besonderer Bedeutung für das vorliegende Verfahren sind Mikroalgen, die für die menschliche und tierische Ernährung und Gesunderhaltung geeignet sind.

Zur Klasse der vorliegend bevorzugt verwendeten mikroskopischen Algen bzw. Mikroalgen zählt die umfangreiche Gruppe der Chlorella, wie *Chlorella vulgaris*, *Chlorella angustoellipsoidea*, *Chlorella botryoides*, *Chlorella capsulata*, *Chlorella ellipsoidea*, *Chlorella emersonii*, *Chlorella fusca*, *Chlorella homosphaera*, *Chlorella luteo-viridis*, *Chlorella marina*, *Chlorella miniata*, *Chlorella minutissima*, *Chlorella mirabilis*, *Chlorella ovalis*, *Chlorella parasitica*, *Chlorella peruviana*, *Chlorella rugosa*, *Chlorella saccharophila*, *Chlorella salina*, *Chlorella spaerckii*, *Chlorella sphaerica*, *Chlorella stigmatophora*, *Chlorella subsphaerica*, *Chlorella trebouxioidea*.

Weitere bevorzugte Mikroalgen gehören der Gattung *Pediastrum* wie z.B. *Pediastrum dupl*, *Pediastrum boryanum* und der Gattung *Botryococcus* wie z.B. *Botryococcus braunii* an.

Das Abtrennen der Algen aus einer wässrigen Phase unter Verwendung eines Tonminerals kann vorliegend im allgemeinen Sinne als Adsorption in Form eines physikalischen Prozess verstanden werden, bei dem Stoffe auf der Oberfläche eines anderen Stoffes haften bleiben und sich auf dessen Oberfläche anreichern. Die Kräfte, die die Anhaftung verursachen, sind keine chemischen Bindungen, sondern nur physikalische Kräfte. Daher wird diese Form der Adsorption exakter physikalische Adsorption oder Physisorption genannt. Der adsorbierte Stoff (Adsorbat) bildet jedoch mit der Oberfläche keine chemische Bindung aus, sondern

haftet durch schwächere Kräfte ähnlich der Adhäsion. So treten in der Regel nur van der Waal'sche Kräfte auf. Die physikalische Adsorption ist reversibel.

Für die Nutzung von Adsorptionsmitteln insbesondere für die Physisorption ist deren Porenstruktur bzw. die vorhandene Reaktionsoberfläche der wichtigste Faktor. Um eine optimale Ausnutzung der Oberfläche oder der Adsorptionsplätze zu gewährleisten, sollte die Verteilung der Hohlräume maximal, die Wandstärke dagegen minimal sein. Deshalb werden die Porenstruktur und die zugängliche Oberfläche pro Masseneinheit oft als Qualitätskriterium für ein Adsorptionsmittel genutzt.

Daher können als Adsorbentien insbesondere solche Stoffe zum Einsatz, die eine hohe spezifische Oberfläche bzw. hohe Porosität aufweisen wie beispielsweise Aktivkohle, Silicagel, Sepiolith, Zeolithe oder Bentonite. Diese können in Form von Schüttungen oder in strukturierter Form verwendet werden. Auf Grund ihrer sehr unterschiedlichen Ionenaufnahmekapazitäten ist ihre Anwendung von der konkreten Aufgabenstellung abhängig.

Gemäß dem vorliegenden Verfahren werden Tonmineralien zum Abtrennen der Algen aus einer wässrigen Phase verwendet.

Tonmineralien werden allgemein in Abhängigkeit von der Schichtstruktur in verschiedene Gruppen eingeteilt. Dazu gehören die Gruppe der Kaolinite, Smektite, Illite und Chlorite.

Ein bekannter Vertreter der Tonmineralien ist das Montmorillonit, welches als dioktaedrisches Dreischicht-Silikat mit Aufbau Tetraederschicht - Oktaederschicht - Tetraederschicht der Gruppe der Smektide angehört. Montmorillonit ist ein Dreischicht-Silikat, welches ein großes Quellvermögen und Thixotropie aufweist. Im vollständig delaminierten Zustand kann er eine zugängliche Oberfläche von bis zu 750 m²/g erreichen. Montmorillonit ist des Ionenaustausches und der chemischen und physikalischen Adsorption fähig. Die Adsorption erfolgt größtenteils über van-der-Waals-Kräfte und über Wasserstoffbrückenbindungen.

Die Bindung von organischen Substanzen an Montmorillonit vollzieht sich gewöhnlich durch mehrere Mechanismen unter Beteiligung der physikalischen Adsorption und Chemosorption. Kationische Substanzen werden bevorzugt gegen die im Montmorillonit enthaltenen Kationen ausgetauscht sowie mittels Chemosorption an das Montmorillonit gebunden. Diese

Mechanismen sind vom pH-Wert gesteuert. Die Bindung von anionischen Substanzen an Montmorillonit erfolgt bevorzugt durch physikalische Adsorption, so dass die Substanz rasch freigesetzt werden kann. Nichtionische Substanzen werden häufig über van-der-Waals-Kräfte und Wasserstoffbrücken-Bindungen an den Montmorillonit gebunden.

Montmorillonit verfügt über eine bemerkenswerte Quellfähigkeit. Wasser bewirkt, dass sich die Zwischenschichtkationen durch Hydrathüllen aufbauen können. Der Quellvorgang wird als „interkristalline Quellung“ bezeichnet. Natrium-Montmorillonit kann das sechs- bis siebenfache seiner Trockenmasse an Flüssigkeit aufnehmen. In Gegenwart von noch geringen Mengen an Lösungsmittel bleiben die Schichten gut geordnet, steigt aber das Lösungsmittelangebot, so geht der Ordnungszustand zunehmend verloren.

Aufgrund der aufgezeigten physikochemischen Eigenschaften wird insbesondere Montmorillonit als pharmazeutischer Hilfsstoff und als bioaktiver Wirkstoff, insbesondere als Detoxifikans, verwendet. Auch können chemische Wirkstoffe gebunden und somit zur Arzneimittelzubereitung eingesetzt werden.

Illit ist das häufigste und verbreitetste Tonmineral und findet sich meist in Böden. Es ist gleichfalls ein dioktaedrisches Dreischicht-Silikat und zeigt eine enge Verwandtschaft zu den Glimmern. Es entsteht vielfach aus gesteinsbildenden Alumosilikaten durch diagenetische oder hydrothermale Prozesse und bildet die Hauptkomponente vieler mariner Tone. Ihre negative Schichtladung kommt außer durch Si-Al-Ersatz in den Tetraedern auch durch Ersatz von Al^{3+} durch Mg^{2+} und Fe^{2+} in den Oktaedern zustande. Werden Illit-Teilchen gebrochen, ergeben sich zusätzliche positive Kantenladungen.

Die häufig in der Natur vorkommenden mineralischen Verbindungen bzw. Matrizen, mit Wechsellagerungstonminerale (Mixedlayer) als Hauptbestandteil, werden auf Grund ihrer im Vergleich zu reinen Montmorillonitschichten geringeren messbaren spezifischen Oberflächen, Quellvermögen und Kationenaustauschkapazitäten seltener für adsorptive und katalytische Applikationen verwandt.

Es hat sich nunmehr herausgestellt, dass natürlich vorkommende mineralische Verbindungen bzw. Matrizen mariner Genese aus Mixedlayer oder Wechsellagerungsmineralien bestehen, die sich aus quellfähigen und nichtquellfähigen Schichten in unregelmäßiger Folge zusammensetzen und die ggf. noch anderen Minerale

wie Silikate, Oxide, Carbonate, Sulfide und Sulfate enthalten, nach einer entsprechenden Aufbereitung durchaus adsorptive und andere interessante Eigenschaften aufweisen.

Mixedlayer können strukturell aus sehr unterschiedlichen Wechsellagerungsschichten bestehen z.B. Kaolinit/Smektit, Chlorit/Vermikulit, Glimmer/Vermikulit oder sehr häufig Wechsellagerung von Illit/Smektit oder Illit/Montmorillonit. Dadurch sind vielfältigere Austauschreaktionen von Kationen und Anionen möglich als bei reinen Montmorilloniten.

In einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Tonmineral in Form eines Wechsellagerungstonminerals verwendet.

Besonders bevorzugt kommt dabei ein Wechsellagerungstonmineral aus Montmorillonit und Illit/Muskovit zum Einsatz, wobei in diesem Wechsellagerungsmineral Montmorillonit und Illit/Muskovit in einem Verhältnis von 60:40 bis 40:60 enthalten sein können, wobei ein Verhältnis von 50:50 bevorzugt ist. Dass heißt, das Montmorillonit und Illit/Muskovit zu jeweils 50 Gew% enthalten sein können.

Zusätzlich zu den Mineralien Montmorillonit und Illit/Muskovit kann das bevorzugt verwendete Tonmineral auch Anteile von anderen Tonmineralien, wie Kaolinite und Chlorite, Carbonate, Sulfide, Oxide und Sulfate aufweisen.

In einer bevorzugten Ausführungsform weist das Tonmineral ein Fe^{2+} / Fe^{3+} - Verhältnis zwischen 0,3 und 1,0, bevorzugt 0,45 und 1,0 auf. So ist in dem vorliegenden Tonmineral Verbindung das Fe^{2+} / Fe^{3+} - Verhältnis um das ca. 10fache höher als in anderen bekannten Tonmineralien und weist aufgrund dieses erhöhten Fe^{2+} / Fe^{3+} - Verhältnisses zusätzlich ein hohes natürliches antioxidatives Potential auf.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform umfasst das vorliegende Tonmineral durchschnittlich 50-60 Gew%, bevorzugt 55 Gew% Montmorillonit-Muskovit-Wechsellagerung, 15-25 Gew%, bevorzugt 20 Gew % Illit, 5-9 Gew%, bevorzugt 5 Gew% Kaolinit/Chlorit, 10-20 Gew%, bevorzugt 15 Gew% Quarz, 1-2 Gew%, bevorzugt 1 Gew% Calcit, 0,9-1,5, bevorzugt 1 Gew% Dolomit, 0,9-1,9 Gew%, bevorzugt 1 Gew% Feldspat, 0,9 - 1,0 Gew%, bevorzugt 1 Gew% Pyrit und 0,6-1,0 Gew%, bevorzugt 1 Gew% Gips.

Die chemische Zusammensetzung der Hauptelemente kann in Gew% wie folgt angegeben werden: SiO₂ 57,9-59,5; Al₂O₃ 17,0-18,5; Fe₂O₃ 5,9-7,0; K₂O 2,8-3,5; MgO 1,5-2,6; Na₂O 0,9-1,5; TiO₂ 0,6-1,5; CaO 0,25-0,35; P₂O₅ 0,09-0,15; Sonstige 8,9-10,5.

Das bevorzugt verwendete Tonmineral weist eine innere (BET)-Oberfläche von 50 -100 m²/g, bevorzugt 55 - 65 m²/g, insbesondere bevorzugt von 60 m²/g auf. Die innere Oberfläche des bevorzugt verwendeten Tonminerals ist somit z.B. im Vergleich zu den hochquellfähigen Montmorilloniten relativ gering. Die mittlere Teilchengröße der bevorzugt verwendeten mineralischen Verbindung kann in einem Bereich von 0,1 bis 10 µm, bevorzugt 0,5 bis 1 µm, insbesondere bei 0,5 µm liegen.

Das bevorzugt verwendete Tonmineral wird aus den in Deutschland in Mecklenburg-Vorpommern, genauer in der Nähe von Friedland im östlichen Teil der Mecklenburgischen Seenplatte, vorhandenen Tonvorkommen isoliert und aufbereitet.

Das bevorzugt verwendete Tonmineral weist, wie bereits oben erwähnt, einzigartige Eigenschaften auf, in denen es sich von anderen mineralischen Matrizen wie Bentonit oder Montmorillonit wesentlich unterscheidet.

So ist das vorliegend verwendete Tonmineral nicht nur in der Lage, Kationen in den vorhandenen Montmorillonitschichten auszutauschen, sondern auch Anionen zu binden. Der Wirkmechanismus der vorliegend zum Einsatz kommenden mineralischen Verbindung ist daher ein anderer als bei Bentoniten. So werden z.B. anionische Stoffe besonders gut an den Bruchkanten der in der verwendeten mineralischen Verbindung enthaltenen Illite/Muskovite locker gebunden. Ursache dafür sind fehlende bzw. herausgeschlagene Kaliumionen, die im Mineralverbund für einen Ladungsausgleich sorgen. So entstehen positive Ladungen, an denen Anionen locker gebunden werden können. Da bioaktive Anionen eine relativ hohe Molekularmasse und damit Durchmesser aufweisen, sind die an den Bruchkanten entstandenen Vertiefungen nicht groß genug, um eine feste Bindung zu realisieren. Dies gelingt nur mit kleineren Molekülen, wie die sehr hohe Adsorptionskraft für insbesondere sauerstoffhaltige Molekülanionen wie Phosphat PO₄³⁻, Nitrat NO₃⁻, Nitrit NO₂⁻ und andere beweist. Hier spielen auch die Fe²⁺-Ionen an den Bruchkanten eine entscheidende Rolle, da diese als Gegenionen fungieren können.

Je höher die positive Kantenladung, umso besser ist der Abscheidegrad von den Algen, insbesondere der Mikroalgen. Die oberflächlich negativ geladenen Algenzellen werden über

van-der-Waals-Kräfte locker an den positiv geladenen Tonkanten, die Ladungen von Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} , Mg^{2+} aufweisen, gebunden.

In einer Ausführungsform werden 1 kg bis 15 kg, bevorzugt 2 kg bis 10 kg, insbesondere bevorzugt 3 bis 8 kg des Tonminerals pro kg Algentrockenmasse in der wässrigen Phase (eine wässrige Phase von 1000 l mit einem Algengehalt von 0,3% entspricht 3 kg Algentrockenmasse) zugegeben.

In einer Ausführungsform des vorliegenden Verfahrens weist die wässrige Phase einen Algenanteil zwischen 0,01 und 5 Massen%, bevorzugt zwischen 0,1 und 1,5 Massen%, insbesondere bevorzugt zwischen 0,1 und 0,6 Massen% auf. Somit sind typischerweise bis zu 99,99% der wässrigen Phase Wasser und die Konzentration an Algen in der wässrigen Phase entsprechend gering.

Bevorzugterweise wird dem mindestens einen Tonmineral mindestens ein mehrwertiges Kation, insbesondere einen zwei- oder dreiwertigem Kation, zugegeben bzw. wird eine Mischung aus Tonmineral und Kation hergestellt. Das mehrwertige Kation ist dabei bevorzugterweise ausgewählt aus einer Gruppe enthaltend Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} und Al^{3+} . Durch Zugabe der mehrwertigen Kationen wird insbesondere die Sedimentation bzw. Ausflockung des Alge-Tonmineral-Verbundes unterstützt, wie weiter unten noch ausführlicher beschreiben.

Das mehrwertige Kation kann in Form eines Chlorid-Salzes und/oder Sulfat-Salzes zugegeben, wobei besonders die Zugabe von MgCl_2 und MgSO_4 bevorzugt ist. Die Menge an zugegebenen Salz, insbesondere an MgCl_2 oder MgSO_4 beträgt bevorzugt 1 kg bis 10 kg, bevorzugt 1 kg bis 5 kg, insbesondere bevorzugt 2 kg pro kg Algentrockenmasse in der wässrigen Phase.

Durch die bevorzugte Verwendung von Magnesiumchlorid kommt es zu einer Brückenbildung zwischen den negativen Oberflächen des Tonminerals und den Algen. Es entstehen Flocken aus Alge-Ton-Magnesium, die relativ schnell sedimentieren. Die ausfallenden Flocken aus Alge-Ton-Magnesium schließen andere disperse Stoffe, wie sehr feine Tonteilchen, in die entstehenden Flocken ein. Man erhält ein vollständig geklärtes Prozesswasser aus der Biomasseproduktion mit einem neutralen pH-Wert, das wiederverwendet werden kann und z.B. für eine Kreislauffahrweise genutzt werden kann.

Die Verwendung von $MgCl_2$ hat den weiteren Vorteil, dass bei einer späteren Verwendung des abgeschiedenen Systems aus Algen und Tonmineral als Nahrungsergänzung für Tier und Mensch eine zusätzliche Magnesium-Quelle bereitgestellt wird. Dies ist von Vorteil, das Magnesium essentiell für Mensch und Tier ist.

Das vorliegende Verfahren erfüllt somit eine Reihe von Bedingungen bzw. Voraussetzungen, die eine effiziente Algenabtrennung ermöglichen und gleichzeitig zur Bildung eines biomineralischen Verbundsystems und deren weiteren Nutzung beitragen. So werden nur solche Materialien für die Bildung des Bio-Mineralischen Verbundsystems verwendet werden, die die Gesundheit von Mensch und Tier nicht gefährden. Die Bestandteile des Verbundsystems ergänzen sich synergetisch und weisen positive Wirkungen auf den Gesundheitszustand auf. Die mineralische Verbindung als Bestandteil des Verbundsystems dient gleichzeitig als Konzentrierungshilfsmittel für die Mikroalgenbiomasse. Zur Flocculation werden nur solche mehrwertigen Metallionen genutzt werden, die für Mensch und Tier essentiell sind. Die Wiederverwendung des Prozesswassers aus der Algenbiomasseproduktion wird gewährleistet. Der Konzentrierungsprozess läuft bei neutralem pH-Wert ab.

Das Vermischen des Tonminerals als Adsorptionsmittel und der sich in der wässrigen Phase befindlichen Algen erfolgt bevorzugt unter Verwendung eines Rührwerkes oder einer Einrichtung zur optimalen Flockenbildung, wie z.B. der FlocFormer der Firma Cutec.

Durch das Vermischen des Tonminerals mit der die Algen enthaltenden wässrigen Phase kommt es zur Ausbildung einer Suspension. Unter einer Suspension wird allgemein ein heterogenes Stoffgemisch aus einer Flüssigkeit und darin fein verteilten Festkörpern verstanden. Eine Suspension ist eine grobdisperse Dispersion und tendiert zur Sedimentation und Phasentrennung.

Wie beschrieben, wird die sich der Suspensionsausbildung anschließende gravitationsbedingte Sedimentation durch Zugabe von mehrwertigen Kationen unterstützt.

Die Sedimentationsgeschwindigkeit ist darüber hinaus von geometrischen Faktoren der für die Adsorption und Sedimentation verwendeten Vorrichtung, den Eigenschaften des als Adsorptionsmittels verwendeten Tonminerals und weiteren unterstützenden Maßnahmen abhängig und beträgt unter optimalen Bedingungen mindestens 1,2cm/min, bevorzugt mindestens 1,5cm/min.

Das Sediment aus auf dem Tonmineral adsorbierten Algen setzt sich als Feststoff ab, wobei das Ende des Absetzvorganges über die Trübung des wässrigen Überstandes photometrisch gemessen wird.

Das Algen-Tonmineral-Sediment wird bevorzugt in Form eines Dickstoffgemisches, bevorzugt mit einem Wassergehalt von 50-60% in Schritt c) abgetrennt. Die Konzentration der Algen, insbesondere der Mikroalgen wird durch die Kombination von Adsorption und anschließender Sedimentation um mindestens den Faktor 30, bevorzugt um den Faktor 50 erhöht.

Durch die Flockung des Algen-Ton-Magnesium-Komplexes im Schwerkraftfeld kann je nach Wartezeit das Prozesswasser bis zu 90% abgetrennt werden. In der verbleibenden Alge-Tonmineral-Suspension kann ein Restwassergehalt von 70 bis 90 Ma% erreicht werden, d.h., 10 bis 30% Trockenmasse besteht aus dem Algen-Tonmineral-opt. Magnesium-Komplex.

In einem weiteren Verfahrensschritt ist es möglich, den Algen-Tonmineral-Komplex, der bevorzugt mit Kationen wie Magnesium-Ionen versehen ist, in einem Zentrifugalfeld >500G wieder in seine Einzelteile zu trennen. Damit ist es möglich, reine Algenkonzentrate herzustellen. Die abgetrennten Tonteilchen können dem Flockungsprozess wieder zugeführt werden. Diese zentrifugale Behandlung des Algen-Tonmineral-Komplexes kann vor der Abtrennung vom wässrigen Überstand als auch nach der Abtrennung vom wässrigen Überstand vorgenommen werden.

In einer weiteren Variante des Verfahrens ist es möglich, das Sediment aus Algen und Tonmineral mittels einer Vibrationsbehandlung zu verdichten. Dies kann vor der Abtrennung des Sedimentes vom wässrigen Überstand als auch nach der Abtrennung erfolgen. Eine nachträgliche Vibrationsbehandlung mit einer Frequenz von 500 bis 1000 min⁻¹ verdichtet den Algen-Ton-Komplex weiter bis zu einem Restwassergehalt von 50 bis 60 Ma%. Diese zähflüssige Suspension ist gut geeignet für den Aufschluss der Algenzellen mit einem Hochdruckspalthomogenisator oder im Hochleistungsultraschallfeld.

Nach dem Flockungs- und Verdichtungsprozess liegt ein pumpfähiger, gelartiger Alge-Ton-Magnesium-Komplex zur weiteren Verarbeitung vor.

Die Abtrennung des Sediments aus Algen und Tonmineral vom wässrigen Überstand kann z.B. mittels Dekantieren oder anderen, einem Fachmann bekannten Abtrennverfahren vorgenommen werden. Der abgetrennte wässrige Überstand wird aufbereitet und der Produktion der Algen wieder zugeführt.

In einer anderen Variante des vorliegenden Verfahrens kann das in Schritt c) abgetrennte Sediment aus auf dem Tonmineral adsorbierten Algen in einem weiteren Schritt mittels Ultraschall behandelt werden. Die Ultraschallbehandlung in diesem Schritt bewirkt zum einen eine Homogenisierung des abgetrennten Sediments und zum anderen einen Zellaufschluss der Mikroorganismen wie z.B. der Mikroalgen zur Freisetzung von darin enthaltenden bioaktiven Stoffen. Die während des Aufschlussprozesses freigesetzten bioaktiven Stoffe werden in die Ton-Gel-Matrix eingelagert und dadurch vor Umwelteinflüssen geschützt. Es entsteht ein Bio-Mineralischer Algen-Tonmineral-opt. Magnesium-Komplex.

Anschließend kann das gemäß Schritt c) abgetrennte Algen-Tonmineral-Sediment und/oder das mittels Ultraschall behandelte Algen-Tonmineral-Sediment bevorzugterweise in einem Trocknungsschritt getrocknet werden. Die Trocknung kann mittels an sich bekannter Verfahren wie Sprühtrocknung, Bandtrockner oder im Trockenschrank durchgeführt werden.

Eine bevorzugte Trocknungsmethode ist die Vakuumtrocknung. Die Trocknungstemperaturen sollten 50°C nicht überschreiten. Durch ständiges Bewegen in einer dünnen Schicht wird die Trocknungsenergie optimal ausgenutzt.

Ein weiteres geeignetes Trocknungsverfahren stellt die Sprühtrocknung dar. Die hochkonzentrierte z.B. 50%ige Algen-Mineral-Suspension ist pumpfähig und kann dem Trocknungsapparat zugeführt werden. Durch das Eindüsen entsteht eine hohe Trocknungsoberfläche, die eine außerordentlich schnelle und schonende Trocknung gewährleistet. Beim Trocknen kontrahiert das Mineral, insbesondere das gequollene Tonmineral, und schließt die aufgeschlossenen Bestandteile der Mikroorganismen, insbesondere der Mikroalgen durch Bildung von Granulaten ein.

Die Trocknung erfolgt bevorzugterweise bis zu einer Endfeuchte des Algen-Tonmineral-Sedimentes von etwa 5 bis 15 Ma% H₂O-Gehalt, insbesondere von 6 bis 9 Ma% H₂O-Gehalt. Der Algengehalt des getrockneten Algen-Tonmineral-Sedimentes kann zwischen 10-50 Ma%, bevorzugt 20 bis 40 Ma%, insbesondere 35 Ma% betragen.

So kann der Trocknungsvorgang bei einer Restfeuchte von ca. 6 Ma% beendet werden, wobei ein Bio-Mineralisches Verbundsystem aus Algen, Ton und ggf. Magnesium mit einem Algenanteil von ca. 35 Ma% erhalten wird.

Durch den Trocknungsvorgang wird das Wasser aus dem Adsorptionsmittel, wie z.B. den Schichtzwischenräumen von Tonmineralien entfernt und die bioaktiven Stoffe, die nicht durch physikalische Adsorption akkumuliert wurden, durch einen formschlüssigen Verbund gebunden. Es entsteht ein reversibles, biomineralisches Verbundsystem. In Folge der Adsorption und Trocknung wird ein stoff- und formschlüssiger Verbund zwischen den Teilchen des Minerals und den adsorbierten und eingeschlossenen bioaktiven Stoffen der Mikroorganismen hergestellt.

Es kommt dabei zur Ausbildung von reversiblen Aggregaten, die durch Zugabe eines geeigneten Lösungsmittels, insbesondere von Wasser, in Dispersion gebracht bzw. desaggregiert werden können.

Das getrocknete Sediment aus Mikroorganismen wie z.B. Mikroalgen und Adsorptionsmittel, wie z.B. Tonmineral, aufgeschlossen oder nicht-aufgeschlossen, kann anschließend verpackt und versandt werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform umfasst das vorliegende Verfahren die folgenden Schritte:

- Zugabe von mindestens einem Tonmineral, insbesondere einem aufbereiteten Wechsellagerungstonmineral, zur wässrigen, Algen enthaltenden, Phase und Vermischen der selbigen zur Koagulation von Tonteilchen und Alge,
- Zugabe eines Metallsalzes zur Brückenbildung zwischen den negativ geladenen Teilchen und der optimalen Ausbildung von Flocken,
- Sedimentation der gebildeten Flocken aus Algen, Tonmineral und Metallsalz im Schwerkraft- und/oder Zentrifugalfeld, und
- Verdichtung des Sediments aus Algen und Tonmineral mittels einer Vibrationsbehandlung.

- Vollständige Trennung des Algen-Ton-Metallion-Komplexes im starken Zentrifugalfeld in Alge und Tonmineral oder
- Algenaufschluss innerhalb des gelartigen Alge-Ton-Metallion-Komplexes mittels eines Hochdruckspalthomogenisators oder im Hochleistungsultraschallfeld.

Die mittels des vorliegenden Verfahrens hergestellte Zusammensetzung aus Algen, insbesondere Mikroalgen, und mindestens einem Tonmineral sind zur Herstellung von Futtermitteln, Nahrungsergänzungsmitteln und/oder pharmakologisch wirksamen Mitteln einsetzbar.

An Tiermodellen konnte nachgewiesen werden, dass aufgeschlossene Algenzellen eine wesentlich bessere Verdaubarkeit und Wirksamkeit aufweisen. Sowohl die Zellinhaltsstoffe als auch die bioaktiven Substanzen in der Zellmembran können Wirkstoffe darstellen.

In dem vorliegenden Bio-Mineralischen Verbundsystem hat das Tonmineral zwei Aufgaben: die erste Aufgabe ist die Funktion eines Drug Delivery Systems. Die locker in die mineralische Matrix eingebauten bioaktiven Stoffe der Alge werden bei der Magenpassage vor der Zerstörung durch die Magensäure geschützt. Bei einem pH-Wert von ca. 7,5 im Dünndarm quillt der Ton und gibt die bioaktiven Stoffe wieder frei. Danach dient der Ton als zweite Aufgabe als Toxic Clearance System für Toxine im Magen-Darm-Trakt. Dies gilt sowohl für die humane als auch für die veterinäre Anwendung.

Das vorliegende Verfahren wird bevorzugterweise in einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 19 durchgeführt.

Entsprechend umfasst die Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens zum Abtrennen von Algen aus einer wässrigen Phase mindestens zwei miteinander gekoppelte Abschnitte, wobei ein erster Abschnitt bezogen auf die Gravitationsrichtung oberhalb des zweiten Abschnitt angeordnet ist. Der erste Abschnitt und der zweite Abschnitt können einstückig miteinander z.B. in Form eines Reaktors ausgebildet sein oder können auch räumlich getrennt voneinander z.B. in Form von zwei separaten Behältern angeordnet sein.

Der mindestens erste Abschnitt besteht aus mindestens einem Behälter zur Aufnahme der wässrigen die Algen enthaltenden Phase und des mindestens einen Tonminerals als Adsorptionsmittels, und der mindestens zweite Abschnitt besteht aus mindestens einer

Röhre zur Sedimentation der im ersten Bereich gebildeten wässrigen Suspension aus Algen und Adsorptionsmittel.

In einer Variante weist der erste Abschnitt in Form eines Behälters mindestens einen Zulauf für die wässrige, die Algen enthaltende Phase, mindestens eine Öffnung zur Zugabe des Adsorptionsmittels und ggf. mindestens ein Rührwerk auf. In diesem Behälter kann somit das Mischen der Biomasse aus Algen mit dem Adsorptionsmittel sowie die Zugabe eines mehrwertigen Kation-Salzes und zum Beginn der Sedimentation erfolgen. Dieser erste Abschnitt wird auch turbulente Durchmischungszone genannt.

In einer weiteren Variante umfasst der zweite Abschnitt der Vorrichtung ein Röhrensystem aus mindestens 2 Röhren, bevorzugt aus 2 bis 10 Röhren, insbesondere bevorzugt aus 2 bis 5 Röhren. Das Röhrensystem ermöglicht eine laminare Sedimentation, so dass die Sedimentation des mit den Algen behafteten Tonminerals frei von Strömungseinflüssen ist und am Boden der jeweiligen Röhren des Röhrensystems erfolgt. Der zweite Abschnitt kann somit in eine laminare Absetzzone und in eine Verdichtungszone aufgeteilt werden.

Darüber hinaus kann die vorliegende Vorrichtung einen mit dem zweiten Abschnitt, d.h. dem Röhrensystem gekoppelten dritten Abschnitt zur Entnahme des am Boden des zweiten Abschnitts angesammelten Mikroorganismen-Adsorptionsmittel-Sedimentes in Form einer Entnahmekammer aufweisen. Die Entnahmekammer weist eine zur Entnahme des Sedimentes geeignete Öffnung z.B. in Form eines Ventilhahnes auf, die manuell oder photometrisch gesteuert werden kann.

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand mehrerer Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die Figur näher erläutert. Es zeigt

Figur 1 eine schematische Darstellung einer Vorrichtung geeignet zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Figur 1 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform einer Vorrichtung 1 in Form eines Absetzapparates geeignet zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Die Vorrichtung 1 umfasst zwei miteinander gekoppelte Abschnitte 2, 3, wobei der erste Abschnitt 2 bezogen auf die Gravitationsrichtung oberhalb des zweiten Abschnitts 3 angeordnet ist.

Der erste Abschnitt 2 besteht aus mindestens einem zylindrischen Behälters zur Aufnahme der wässrigen, Mikroalgen enthaltenden Phase 4 und eines Tonminerals 5 als Adsorptionsmittels. Der zweite Abschnitt 3 besteht aus einem Röhrensystem aus fünf parallel zueinander verlaufenden Röhren zur Sedimentation der im ersten Bereich 2 gebildeten wässrigen Suspension aus Mikroalgen und Tonmineral.

Der erste Abschnitt 2 in Form eines zylindrischen Behälters weist einen Zulauf für die mikroalgenhaltige wässrige Phase 4 und eine Öffnung in Form einer Schüttöffnung zur Zugabe des Tonminerals 5 auf, durch welche auch das $MgCl_2$ zugeführt wird.

Darüber hinaus verfügt der Behälter 2 in der Ausführungsform der Figur 1 über ein Rührwerk 6. Im Behälter 2 erfolgen somit das Mischen der Biomasse aus Mikroalgen, Tonmineral und $MgCl_2$. Dieser Bereich kann auch als turbulente Durchmischungszone angesehen werden.

Nach Einstellung des geeigneten isoelektrischen Punktes beginnt unmittelbar die gravitationsgesteuerte Sedimentation von auf dem Tonmineral 5 adsorbierten Mikroalgen 4 in den Röhren des Röhrensystems 3. Das Röhrensystem ermöglicht eine laminare Sedimentation, so dass die Sedimentation des mit den Mikroalgen behafteten Adsorptionsmittels in der laminaren Absetzzone 3b frei von Strömungseinflüssen ist.

Das sich in der Verdichtungszone 7 im unteren Bereich des Röhrensystems 3 abgesetzte Sediment wird in einer an das Röhrensystem 3 gekoppelten Entnahmekammer 8 aus der Vorrichtung 1 entnommen. Die Entnahmekammer 8 weist eine zur Entnahme des Sedimentes geeignete Öffnung z.B. in Form eines Ventilhahnes auf, die manuell oder photometrisch gesteuert werden kann.

Ausführungsbeispiel 1

Eine wässrige Phase mit einem Mikroalgenbiomasseanteil von 0,3% wird mit 9-12 kg Tonmehl pro 1.000 Liter Algenbiomasse versetzt und unter Verwendung eines Rührwerkes intensiv miteinander im Prozessbehälter 2 des Absetzapparates 1 vermischt. Die so entstandene Suspension aus Mikroalgen und Tonmehl wird danach im Ruhezustand seinen Feststoffanteil aus Mikroalgen und Ton sedimentieren. Der Feststoff sedimentiert in den Röhren 3 unterhalb des Prozessbehälters 2, wobei es nicht darauf ankommt, dass alle Röhren gleich viel Feststoff aufnehmen. Wichtig ist, dass das Sedimentieren frei von Strömung erfolgen kann.

Der Prozess des Sedimentierens kann als abgeschlossen gelten, wenn der Feststoff sich in Form eines Dickstoffgemischs am Fuße der Röhren gesammelt hat und im oberen Bereich nur noch eine leichte Trübung zu messen ist.

Der Dickstoff aus Mikroalgen und Ton wird aus der Entnahmekammer 8 der Absetzapparatur 1 über einen Ventilhahn entnommen und weist eine Feuchtigkeit von rund 50% H₂O auf.

Die weitere Verarbeitung erfolgt mittels Sprühtrocknung bei einer kurzzeitigen Trocknungstemperatur von bis zu 185°C. Die getrocknete Zusammensetzung wird anschließend pelletisiert.

Bei Einsatz von einer Ausgangsmasse an Mikroalgen mit einem Feststoffanteil von 0,3 % ergeben sich so 3 kg Algentrockenmasse pro 1000 l Algenbiomasse und bei Zugabe von 9 - 12 kg Tonmehl pro 1000 l Algenbiomasse ergeben sich 12-15 kg Trockenmasse des Wirkstoffgemisches.

Ausführungsbeispiel 2

Eine wässrige Phase mit einem Mikroalgenbiomasseanteil von 0,3%, entspricht 3kg Algentrockenmasse, wird mit 6 kg aufbereitetes Tonmineral pro 1.000 Liter Algenbiomasse versetzt und unter Verwendung eines Rührwerkes intensiv miteinander im Prozessbehälter 2 des Absetzapparates 1 vermischt. Es kommt zu Koagulation von Algen und Tonteilchen. Anschließend wird der Algen-Ton-Suspension 6kg MgCl₂ * 6H₂O zugemischt. Es entstehen Brücken zwischen den negativ geladenen Teilchen mit Hilfe des positiv geladenen Magnesium-Ions. Die so entstandenen Flocken aus Mikroalgen, Mineralsalz und Tonmineral fangen an zu sedimentieren. Der Flockenkomplex sedimentiert in den Röhren 3 unterhalb des Prozessbehälters 2, wobei es nicht darauf ankommt, dass alle Röhren gleich viel Feststoff aufnehmen. Wichtig ist, dass das Sedimentieren frei von Strömung erfolgen kann.

Der Prozess des Sedimentierens kann als abgeschlossen gelten, wenn der Feststoff sich in Form eines Dickstoffgemischs am Fuße der Röhren gesammelt hat und im oberen Bereich nur noch ein klarer Überstand zu sehen ist. Das flockige Sediment aus Mikroalgen, Mineralsalz und Tonmineral wird durch eine Vibrationsbehandlung bei ca. 800 min⁻¹ weiter verdichtet.

Der Dickstoff aus Mikroalgen und Ton wird aus der Entnahmekammer 8 der Absetzapparatur 1 über einen Ventilhahn entnommen und weist eine Feuchtigkeit von rund 50% H₂O auf.

Die weitere Verarbeitung erfolgt mittels Vakuumtrocknung bei einer Oberflächentemperatur von 50°C in einer dünnen bewegten Schicht. Bei einer Restfeuchte von 6 Ma% können ca. 10kg des Bio-Mineralische Verbundsystems aus Alge, Magnesium und Tonmineral rieselfähig dem Apparat entnommen werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Abtrennen von Algen, insbesondere Mikroalgen, aus einer wässrigen Phase **gekennzeichnet durch** die Verfahrensschritte
 - a) Zugabe von mindestens einem Tonmineral, insbesondere einem Wechsellagerungstonmineral, zur wässrigen, Algen enthaltenden Phase und Vermischen derselbigen,
 - b) Sedimentation der gebildeten wässrigen Suspension aus Algen und Tonmineral unter Ausbildung eines wässrigen Überstandes, und
 - c) Abtrennung des Sediments aus Algen und Tonmineral von dem wässrigen Überstand.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die wässrige Phase einen Algenanteil zwischen 0,01 und 5 Massen%, bevorzugt zwischen 0,1 und 1,5 Massen%, insbesondere bevorzugt zwischen 0,1 und 0,6 Massen% aufweist.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mindestens eine Tonmineral in einer Mischung mit mindestens einem mehrwertigen Kation, insbesondere einen zwei- oder dreiwertigem Kation, der wässrigen Algenphase zugegeben wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mehrwertige Kation ausgewählt ist aus einer Gruppe enthaltend Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} oder Al^{3+} .
5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass das mehrwertige Kation in Form eines Chlorid-Salzes und/oder Sulfat-Salzes zugegeben wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Salz des mehrwertigen Kations, insbesondere MgCl_2 oder MgSO_4 in einer Menge von 1 kg bis 10 kg, bevorzugt 1 kg bis 5 kg, insbesondere bevorzugt 2 kg pro kg Algentrockenmasse in der wässrigen Phase verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Tonmineral ein Wechsellagerungstonmineral bestehend aus Montmorillonit und Illit/Muskovit verwendet wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Tonmineral ein Wechsellagerungstonmineral umfassend Montmorillonit und Illit/Muskovit zu jeweils mindestens 50 Gew% verwendet wird.
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Tonmineral weitere Tonminerale wie Kaolinite und Chlorite enthält.
10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Tonmineral ein $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$ - Verhältnis zwischen 0,3 und 1,0, bevorzugt 0,45 und 1,0 aufweist.
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Tonmineral 50-60 Gew% Montmorillonit-Muskovit-WL, 15-25 Gew% Illit/Muskovit, 5-9 Gew% Kaolinit/Chlorit, 10-20 Gew% Quarz, 1-2 Gew% Calcit, 0,9-1,5 Gew% Dolomit, 0,9-1,9 Gew% Feldspat, 0,9-2,0 Gew% Pyrit und 0,6-1,0 Gips umfasst.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Tonmineral eine BET-Oberfläche von 50 -100 m^2/g , bevorzugt 55 -65 m^2/g , insbesondere bevorzugt von 60 m^2/g aufweist.
13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Tonmineral Partikel mit einer mittleren Teilchengröße von 0,1 bis 10 μm , bevorzugt 0,5 bis 1 μm , insbesondere von 0,5 μm umfasst.
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Algen-Tonmineral-Sediment in Form eines Dickstoffgemisches in Schritt c) abgetrennt wird.
15. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das in Schritt c) abgetrennte Algen-Tonmineral-Sediment in einem weiteren Schritt mittels Vibration behandelt und verdichtet wird.

16. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das gemäß Schritt c) abgetrennte Algen-Tonmineral-Sediment und/oder mittels Vibration behandelte Algen-Tonmineral-Sediment zur Auftrennung von Alge und Tonmineral zentrifugiert wird.
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Algen des Algen-Tonmineral-Sediment aufgeschlossen werden.
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Algen-Tonmineral-Sediment, insbesondere das aufgeschlossene Algen-Tonmineral-Sediment getrocknet wird.
19. Vorrichtung (1) zur Durchführung eines Verfahrens mit den Verfahrensschritten nach einem der vorhergehenden Ansprüche umfassend
 - mindestens zwei miteinander gekoppelte Abschnitte (2, 3), wobei der erste Abschnitt (2) bezogen auf die Gravitationsrichtung oberhalb des zweiten Abschnitt (3) angeordnet ist, und wobei
 - der mindestens erste Abschnitt (2) aus mindestens einem Behälter zur Aufnahme der wässrigen, Algen enthaltenden Phase (4) und des mindestens einem Tonmineral (5) besteht, und
 - der mindestens zweite Abschnitt (3) aus mindestens einer Röhre (3a) zur Sedimentation der im ersten Bereich (2) gebildeten wässrigen Suspension aus Algen und Tonmineral besteht.
20. Vorrichtung nach Anspruch 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei Abschnitte (2, 3) einstückig oder räumlich getrennt voneinander angeordnet sind.
21. Vorrichtung nach Anspruch 19 oder 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Abschnitt (3) aus mindestens einer Röhre (3a) in mindestens eine laminare Absetzzone (3b) und eine Verdichtungszone (7) unterteilt ist.
22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 21, **dadurch gekennzeichnet**, dass der erste Abschnitt (2) als turbulente Durchmischungszone mindestens einen Zulauf für die wässrige, Algen enthaltende Phase (4), mindestens eine Öffnung zur Zugabe des Tonminerals (5) und ggf. mindestens ein Rührwerk (6) aufweist.

23. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 22, **dadurch gekennzeichnet**, dass der zweite Abschnitt (3) ein Röhrensystem aus mindestens 2 Röhren, bevorzugt aus 2 bis 10 Röhren, insbesondere bevorzugt aus 2 bis 5 Röhren umfasst.
24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 19 bis 23, **gekennzeichnet durch** einen mit dem zweiten Abschnitt (3) gekoppelten dritten Abschnitt (8) zur Entnahme des im zweiten Abschnitt (3) gebildeten Algen-Tonmineral-Sedimentes.
25. Zusammensetzung aus Algen, insbesondere Mikroalgen, und mindestens einem Tonmineral, insbesondere in Form eines bio-mineralischen Verbundsystems hergestellt nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18.
26. Verwendung einer Zusammensetzung aus Algen, insbesondere Mikroalgen, und mindestens einem Tonmineral nach Anspruch 25 zur Herstellung von Futtermitteln, Nahrungsergänzungsmitteln und/oder pharmakologisch wirksamen Mitteln.

