



(10) **DE 10 2024 110 164 A1** 2025.10.16

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2024 110 164.4**

(22) Anmeldetag: **11.04.2024**

(43) Offenlegungstag: **16.10.2025**

(51) Int Cl.: **C07C 229/12** (2006.01)

C12P 7/06 (2006.01)

C12P 7/16 (2006.01)

C12P 7/28 (2006.01)

C12P 7/04 (2006.01)

(71) Anmelder:

**Universität Bremen, Körperschaft des
öffentlichen Rechts, 28359 Bremen, DE;
Universität Oldenburg, Körperschaft des
öffentlichen Rechts, 26129 Oldenburg, DE**

(74) Vertreter:

**BOEHMERT & BOEHMERT Anwaltspartnerschaft
mbB - Patentanwälte Rechtsanwälte, 28359
Bremen, DE**

(72) Erfinder:

**Böwer, Pascal, 26655 Westerstede, DE;
Thiedemann, Tim, 26419 Schortens, DE; Walther,
Melanie, 28213 Bremen, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US	2010 / 0 139 154	A1
US	2010 / 0 143 994	A1
US	2010 / 0 143 995	A1
WO	2023/ 205 851	A1

**REN, Huan [et al.]: Efficient pretreatment of
wheat straw using novel renewable cholinium
ionic liquids to improve enzymatic
saccharification. In: Industrial & engineering
chemistry research, Vol. 55, 2016, No. 6, S. 1788-
1795. – ISSN 0888-5885**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Extraktion von Produkten aus Fermentationsbrühen mit Hilfe einer bionischen Flüssigkeit**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Extrahieren mindestens einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe, das die Schritte: i) Bereitstellen eines Ausgangsmaterials, das eine wässrige Fermentationsbrühe umfasst, wobei die wässrige Fermentationsbrühe zumindest eine flüchtige Verbindung umfasst; ii) Inkontaktbringen des Ausgangsmaterials mit einer ionischen Flüssigkeit, um ein Gemisch zu erhalten, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, wobei das Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, vorzugsweise einen Wasseranteil von höchstens 2 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Gemischs, hat; und Entfernen der flüchtigen Verbindung aus dem Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, mittels Grundoperationen zur Trennung, vorzugsweise Destillation, wie Unterdruckdestillation, und/oder Kristallisation umfasst. Ferner umfasst die vorliegende Erfindung eine ionische Flüssigkeit als Extraktionsmittel.

Beschreibung**[Gebiet der Erfindung]**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Extrahieren mindestens einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe, das die Schritte: i) Bereitstellen eines Ausgangsmaterials, das eine wässrige Fermentationsbrühe umfasst, wobei die wässrige Fermentationsbrühe zumindest eine flüchtige Verbindung umfasst; ii) Inkontaktbringen des Ausgangsmaterials mit einer ionischen Flüssigkeit, um ein Gemisch zu erhalten, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, wobei das Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, vorzugsweise einen Wasseranteil von höchstens 2 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Gemischs, hat; und Entfernen der flüchtigen Verbindung aus dem Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, mittels Grundoperationen zur Trennung, vorzugsweise Destillation, wie Unterdruckdestillation, und/oder Kristallisation umfasst.

[Hintergrund der Erfindung]

[0002] Es ist bekannt, dass die Extraktion von flüchtigen Verbindungen, wie zum Beispiel Alkoholen, von zunehmendem wirtschaftlichem Interesse ist, da sich diese insbesondere als potentielle Bio-Kraftstoffe eignen oder zumindest konventionellen Kraftstoffen hinzugegeben werden können.

[0003] In diesem Zusammenhang ist die Gewinnung von Alkoholen, aber auch anderen Verbindungen wie z.B. Aceton, aus Biomasse ein bekanntes Verfahren und insbesondere die Fermentation von Biomasse zu Aceton, Butanol und Ethanol (Aceton-Butanol-Ethanol-Fermentation; ABE) wird bereits seit Anfang des 20. Jahrhunderts industriell eingesetzt.

[0004] Als herausfordernd erweist sich die Extraktion der Alkohole und weiteren flüchtigen Verbindungen aus der wässrigen Lösung, zum Beispiel der Fermentationsbrühe. Das destillative Entfernen der Alkohole aus einer wässrigen Lösung ist kostenintensiv und insbesondere bei einer kontinuierlichen Prozessführung nur bei signifikantem Unterdruck möglich, da eine höhere Temperatur die Mikroorganismen abtöten würde. Zudem ist für Butanol die Rektifikation als Trennverfahren aufgrund des höheren Siedepunktes von Butanol im Vergleich zu Wasser und dem Heteroazeotrop nicht wirtschaftlich durchführbar.

[0005] Effektive Extraktionsmittel weisen häufig erhebliche Nachteile auf, wie zum Beispiel leichte Entflammbarkeit, Umweltschädlichkeit und/oder erhöhte Toxizität. Ein in der Literatur etabliertes Extraktionsmittel ist Oleylalkohol. Es weist eine eher geringe Toxizität und einen geringen Dampfdruck (ca. 0,1 Pa) auf. Der Wassergehalt für die Flüssig/Flüssig-Extraktion (LLE) von Wasser/Oleylalkohol beläuft sich auf 1,14 Gew.-% (entspricht 11400 ppm). Nachteilig an Oleylalkohol ist, dass es trotz des niedrigen Dampfdrucks zu geringen Anteilen ins Destillat übergeht und es bei der Flüssig/Flüssig-Extraktion zur Schaumbildung neigt, was die Phasentrennung erschwert und im großtechnischen Maßstab die Zugabe von Anti-Schäumungsmitteln erfordert. Zudem wird Oleylalkohol als „reizend für die Atemwege“ eingestuft.

[0006] Die EP 2 279 172 A2 offenbart für die Flüssig/Flüssig-Extraktion von Alkoholen aus wässrigen Lösungen die Verwendung von ionischen Flüssigkeiten auf Basis von Tetracyanoborat-Anionen. Nachteilig ist jedoch, dass ionische Flüssigkeiten Basis von Tetracyanoborat-Anionen toxisch gegenüber dem Menschen sind. Dies gilt insbesondere auch für dessen Ausgangsstoffe, sodass bei der Herstellung sowie auch der Handhabung dieser ionischen Flüssigkeiten erhöhte Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden müssen und entsprechende Kosten entstehen.

[0007] Es ist daher die der Erfindung zugrundeliegende Aufgabe, ein Extraktionsverfahren und ein Extraktionsmittel bereitzustellen, das die Nachteile im Stand der Technik überwindet.

[Detaillierte Beschreibung der Erfindung]

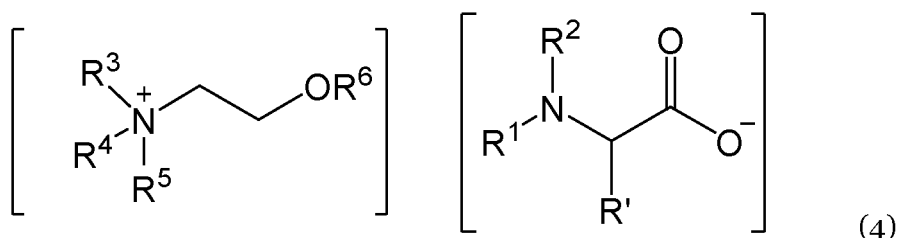
[0008] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Extrahieren mindestens einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen eines Ausgangsmaterials, das eine wässrige Fermentationsbrühe umfasst, wobei die wässrige Fermentationsbrühe zumindest eine flüchtige Verbindung umfasst;
- Inkontaktbringen des Ausgangsmaterials mit einer ionischen Flüssigkeit, um ein Gemisch zu erhalten, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, wobei das Gemisch, das die ionische

Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, vorzugsweise einen Wasseranteil von höchstens 2 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Gemischs, hat; und

- Entfernen der flüchtigen Verbindung aus dem Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, mittels Grundoperationen zur Trennung, vorzugsweise Destillation, wie Unterdruckdestillation, und/oder Kristallisation.

[0009] Ferner wird die Aufgabe durch ein Extraktionsmittel gelöst, dass eine ionische Flüssigkeit ist, die durch Formel 4 dargestellt ist



wobei R' aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, CH₃, CH₂CH₂CH₂NH-C(NH)NH₂, CH₂CONH₂, CH₂COOH, CH₂SH, CH₂CH₂CONH₂, CH₂CH₂COOH, CH₂(C₃H₃N₂), CH(CH₃)CH₂CH₃, CH₂CH(CH₃)₂, CH₂CH₂CH₂CH₂NH₂, CH₂CH₂CH₂CH₂NR''₂, CH₂CH₂SCH₃, CH₂(C₆H₅), CH₂OH, CH(OH)CH₃, CH₂(CsH₆N), CH₂(C₆H₄)OH und CH(CH₃)₂; oder R' zusammen mit R² zu CH₂CH₂CH₂ verknüpft ist; R'' unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl; R¹ unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl; R² unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl; oder R² zusammen mit R' zu CH₂CH₂CH₂ verknüpft ist; R³ bis R⁵ unabhängig aus der Gruppe ausgewählt sind, bestehend aus C₁ bis C₁₂ Alkyl; und R⁶ aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl.

Vorteile der Erfindung

[0010] Das erfindungsgemäße Verfahren vereinfacht die Extraktion einer flüchtigen Verbindung, insbesondere können eine oder mehrere Kolonnen zur Rektifikation eingespart werden. Zudem können energie- und kostenintensive Trennprobleme, wie zum Beispiel Azeotrope vermieden oder zumindest deutlich reduziert werden und es können Rohprodukte in höherer Konzentration und/oder Reinheit erhalten werden.

[0011] Das erfindungsgemäße Extraktionsmittel weist eine geringe Toxizität, eine breite Mischungslücke mit Wasser, einen sehr niedrigen Dampfdruck sowie einen äußerst geringen Wasseranteil auf und ermöglicht damit ein exzellentes Extraktionsverhalten hinsichtlich der flüchtigen Verbindungen.

[0012] Das erfindungsgemäße Verfahren sowie das erfindungsgemäße Extraktionsmittel ermöglichen somit eine schonendere, nachhaltigere und günstigere Extraktion einer flüchtigen Verbindung. Insbesondere ermöglicht der verschwindend geringe Dampfdruck eine theoretisch endlose Verwendung des Extraktionsmittels, da nicht einmal geringe Mengen ins Destillat übergehen.

[0013] Zudem wurde überraschend gefunden, dass erfindungsgemäße Verfahren sowie das erfindungsgemäße Extraktionsmittel die direkte Abtrennung von Butanol und Aceton von Ethanol aus einer Fermentationsbrühe ermöglichen. Entsprechend können Aufarbeitungsschritte eingespart werden.

Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe

Bereitstellen eines Ausgangsmaterials

[0014] Das Ausgangsmaterial umfasst eine wässrige Fermentationsbrühe. Die Fermentationsbrühe umfasst zumindest eine flüchtige Verbindung. Vorzugsweise umfasst die Fermentationsbrühe eine oder mehrere flüchtige Verbindungen. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung weisen flüchtige Verbindungen einen Dampfdruck auf, der höher als der Dampfdruck der ionischen Flüssigkeit ist, die als Extraktionsmittel dient. Es ist bevorzugt, dass der Dampfdruck der flüchtigen Verbindung mindestens 100-mal so hoch, besonders bevorzugt 10.000-mal so hoch und am meisten bevorzugt 1.000.000-mal so hoch wie der Dampfdruck der ioni-

schen Flüssigkeit ist. Exemplarische Dampfdrücke der flüchtigen Verbindung bei 37 °C sind 50,34 kPa für Aceton, 2,03 kPa für n-Butanol, 15,69 kPa für Ethanol und 6,28 kPa für Wasser.

[0015] Vorzugsweise ist die flüchtige Verbindung ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus Aceton, Butanol, Ethanol, Milchsäure, Lactat, Bernsteinsäure, Succinat, einem Arzneimittel, einem CRISPR-Cas9-Produkt und einem Gemisch von zwei oder mehr davon, besonders bevorzugt Bernsteinsäure, Succinat oder ein Gemisch aus Aceton, Butanol und Ethanol (ABE).

[0016] Vorzugsweise enthält die Fermentationsbrühe die flüchtige Verbindung in einer Konzentration von mindestens 0,1 g/L, bevorzugt 2 g/L.

[0017] Bevorzugt umfasst das Bereitstellen eines Ausgangsmaterials, das eine wässrige Fermentationsbrühe umfasst, das Fermentieren eines Substrats in zumindest einem Fermenter. Bevorzugte Substrate sind Kohlenhydrate und organische Abfälle, wie z.B. Schnitte, Hölzer, Kompost, Ernterückstände, Algen, Mist, Gülle und Mischungen davon. Beispiele für Kohlenhydrate sind Monosaccharide, z.B. Glucose oder Xylose; Disaccharide, z.B. Saccharose, Oligosaccharide und Polysaccharide, wie z.B. Stärke, Cellulose und Hemicellulose.

[0018] Bevorzugt kann das Verfahren einen dem Fermentieren vorgelagerten weiteren Schritt des mechanischen Vorbehandelns des Substrats umfassen. Beispiele des mechanischen Vorbehandelns umfassen Zerkleinern, Häckseln, Mahlen und Schreddern.

[0019] Bevorzugt kann das Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe als Batch-Verfahren, Semi-Batch-Verfahren oder als kontinuierliches Verfahren durchgeführt werden.

[0020] Besonders bevorzugt folgt dem vorgelagerten Schritt des mechanischen Vorbehandelns des Substrats vor dem Fermentieren ein Schritt des Hydrolysierens. Das Hydrolysieren kann enzymatisch, sauer oder thermochemisch erfolgen.

Inkontaktbringen des Ausgangsmaterials mit einer ionischen Flüssigkeit

[0021] Das Ausgangsmaterials wird mit einer ionischen Flüssigkeit in Kontakt gebracht, um ein Gemisch zu erhalten, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, wobei das Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, vorzugsweise einen Wasseranteil von höchstens 2 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Gemischs, hat.

[0022] Vorzugsweise kann die ionische Flüssigkeit eine Mischungslücke mit Wasser in einem Bereich von 2 bis 90 Gew.-%, bevorzugt 0,1 bis 99,9 Gew.-%, besonders bevorzugt 0,01 bis 99,99 Gew.-% aufweisen.

[0023] Vorzugsweise kann die ionische Flüssigkeit eine Mischungslücke mit Wasser in einem Bereich von 35 bis 95 mol%, bevorzugt 1 bis 99 mol% besonders bevorzugt 0,1 bis 99,9 mol% aufweisen.

[0024] Vorzugsweise kann die ionische Flüssigkeit einen Wasseranteil von weniger als 2 Gew.-%, bevorzugt weniger als 0,1 Gew.-%, besonders bevorzugt weniger als 0,01 Gew.-% aufweisen.

[0025] Vorzugsweise kann die ionische Flüssigkeit einen Wasseranteil von weniger als 35 mol%, bevorzugt weniger als 5 mol%, besonders bevorzugt weniger als 1 mol% aufweisen.

[0026] Vorzugsweise ist die ionische Flüssigkeit nicht toxisch gegenüber Mikroorganismen. Bevorzugt reduziert die ionische Flüssigkeit die Aktivität der Mikroorganismen auf nicht weniger als 10%, besonders bevorzugt nicht weniger als 50%, am meisten bevorzugt liegt die Aktivität bei mehr als 100%.

[0027] Vorzugsweise weist die ionische Flüssigkeit einen Dampfdruck von weniger als 10 Pa, bevorzugt weniger als 0,1 Pa, besonders bevorzugt weniger als 0,001 Pa auf.

[0028] Vorzugsweise weist die flüchtige Verbindung einen Extraktionsselektivitätsverteilungskoeffizient $K_{P,W}$ gegenüber Wasser gemäß der Formel (1) von mindestens 0,1 auf

$$K_{P,W} = \frac{c_{P,E}}{c_{W,E}} \quad (1)$$

wobei $c_{P_i,E}$ die Konzentration der flüchtigen Verbindung in dem Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung enthält, ist; und $c_{W,E}$ die Konzentration von Wasser in dem Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung enthält, ist.

[0029] Besonders bevorzugt weist die flüchtige Verbindung einen Extraktionsselektivitätsverteilungskoeffizient $K_{P_i,W}$ gegenüber Wasser gemäß der Formel (1) von mindestens 1, am meisten bevorzugt von mindestens 100 auf.

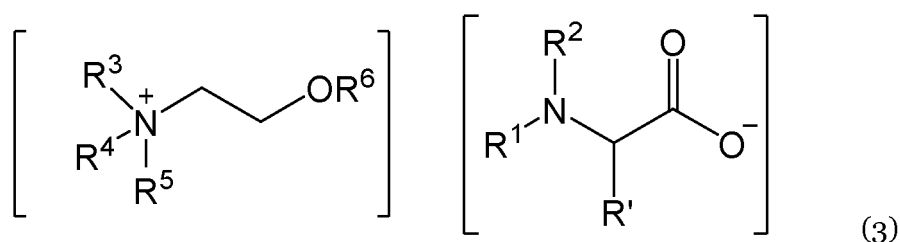
[0030] Vorzugsweise beträgt ein Verteilungskoeffizient K_{P_i} der flüchtigen Verbindung gemäß der Formel (2) mindestens 0,1

$$K_{P_i} = \frac{c_{P_i,E}}{c_{P_i,W}} \quad (2)$$

wobei $c_{P_i,E}$ die Konzentration der flüchtigen Verbindung in dem Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung enthält, ist; und $c_{P_i,W}$ die Konzentration der flüchtigen Verbindung in einer wässrigen Phase, die nach Abschluss des Inkontaktbringens entsteht, d.h. die verbleibende Fermentationsbrühe, ist.

[0031] Besonders bevorzugt beträgt ein Verteilungskoeffizient K_{P_i} der flüchtigen Verbindung gemäß der Formel (2) mindestens 0,1, ganz besonders bevorzugt mindestens 1, am meisten bevorzugt mindestens 10.

[0032] Vorzugsweise ist die ionische Flüssigkeit eine Cholin-basierte ionische Flüssigkeit. Besonders bevorzugt kann die Cholin-basierte ionische Flüssigkeit durch die folgende Formel (3) dargestellt sein



wobei R' aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, CH_3 , $CH_2CH_2CH_2NH-C(NH)NH_2$, CH_2CONH_2 , CH_2COOH , CH_2SH , $CH_2CH_2CONH_2$, CH_2CH_2COOH , $CH_2(C_3H_3N_2)$, $CH(CH_3)CH_2CH_3$, $CH_2CH(CH_3)_2$, $CH_2CH_2CH_2CH_2NH_2$, $CH_2CH_2CH_2CH_2NR''$, $CH_2CH_2SCH_3$, $CH_2(C_6H_5)$, CH_2OH , $CH(OH)CH_3$, $CH_2(CsH_6N)$, $CH_2(C_6H_4)OH$ und $CH(CH_3)_2$; oder R' ist zusammen mit R^2 zu $CH_2CH_2CH_2$ verknüpft;

R'' unabhängig aus der Gruppe ausgewählt sind, bestehend aus C_1 bis C_{20} Hydrocarbyl, und C_1 bis C_{20} Hydroxyhydrocarbyl;

R^1 unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, C_1 bis C_{20} Hydrocarbyl, und C_1 bis C_{20} Hydroxyhydrocarbyl;

R^2 unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus C_1 bis C_{20} Hydrocarbyl und C_1 bis C_{20} Hydroxyhydrocarbyl; oder R^2 zusammen mit R' zu $CH_2CH_2CH_2$ verknüpft ist;

R^3 bis R^5 unabhängig aus der Gruppe ausgewählt sind, bestehend aus C_1 bis C_{12} Alkyl; und

R^6 aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, C_1 bis C_{20} Hydrocarbyl, und C_1 bis C_{20} Hydroxyhydrocarbyl.

[0033] Besonders bevorzugt ist R' aus der Gruppe ausgewählt, bestehend aus H, CH_3 , $CH(CH_3)_2$, $CH(CH_3)CH_2CH_3$, $CH_2CH(CH_3)_2$, $CH_2(C_6H_5)$, $CH_2(C_8H_6N)$, CH_2COOH , CH_2CH_2COOH , oder R' ist zusammen mit R^2 zu $CH_2CH_2CH_2$ verknüpft; am meisten bevorzugt ist R' H, CH_3 , $CH(CH_3)_2$, $CH(CH_3)CH_2CH_3$, $CH_2CH(CH_3)_2$, oder R' ist zusammen mit R^2 zu $CH_2CH_2CH_2$ verknüpft.

[0034] Besonders bevorzugt ist R^1 unabhängig ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus H, C_1 bis C_{20} Alkyl, C_1 bis C_{20} Alkenyl, C_1 bis C_{20} Hydroxyalkyl, und C_1 bis C_{20} Hydroxyalkenyl.

[0035] Besonders bevorzugt ist R^2 unabhängig ausgewählt aus der Gruppe, bestehend aus C_1 bis C_{20} Alkyl, C_1 bis C_{20} Alkenyl, C_1 bis C_{20} Hydroxyalkyl, und C_1 bis C_{20} Hydroxyalkenyl.

[0036] Besonders bevorzugt sind R^3 bis R^5 jeweils CH_3 .

[0037] Besonders bevorzugt ist R^6 unabhängig aus der Gruppe ausgewählt, bestehend aus H, C_1 bis C_{20} Alkyl, C_1 bis C_{20} Alkenyl, C_1 bis C_{20} Hydroxyalkyl, und C_1 bis C_{20} Hydroxyalkenyl.

[0038] Besonders bevorzugt sind R'' unabhängig aus der Gruppe ausgewählt, bestehend aus C_1 bis C_{20} Alkyl, C_1 bis C_{20} Alkenyl, C_1 bis C_{20} Hydroxyalkyl, und C_1 bis C_{20} Hydroxyalkenyl.

[0039] In einer bevorzugten Ausführungsform weisen R^1 bis R^6 und R'' unabhängig voneinander 1 bis 18 Kohlenstoffatome auf, besonders bevorzugt 1 bis 12 Kohlenstoffatome und am meisten bevorzugt 1 bis 8 Kohlenstoffatome auf.

[0040] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform können R^1 bis R^6 und R'' unabhängig voneinander ungesättigt sein.

[0041] In einer bevorzugten Ausführungsform sind R^1 und R^2 unabhängig voneinander C_3 bis C_{12} Alkyl. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind R^1 und R^2 unabhängig voneinander C_4 bis C_{12} Alkyl, oder C_5 bis C_{11} Alkyl oder C_6 bis C_{10} Alkyl oder C_6 bis C_8 Alkyl.

[0042] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind R^1 und R^2 unabhängig voneinander C_3 bis C_{12} Alkyl; R^3 bis R^5 sind Methyl und R^6 ist H. In einer ganz besonders bevorzugten Ausführungsform sind R^1 und R^2 unabhängig voneinander C_4 bis C_{12} Alkyl, oder C_5 bis C_{11} Alkyl oder C_6 bis C_{10} Alkyl oder C_6 bis C_8 Alkyl und R^3 bis R^5 sind Methyl und R^6 ist H.

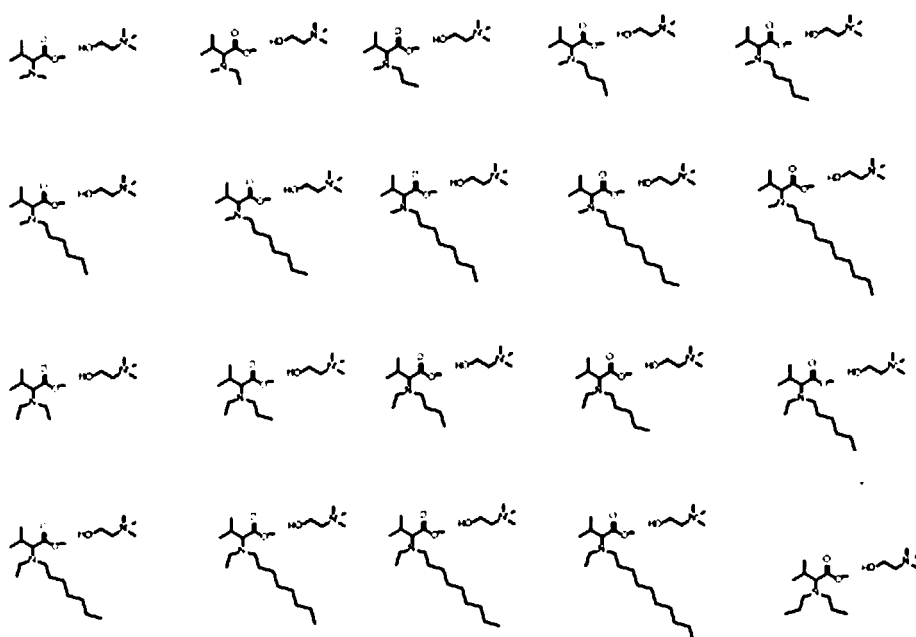
[0043] In einer weiteren besonders bevorzugten Ausführungsform sind R^1 und R^2 unabhängig voneinander C_3 bis C_{12} Alkyl; R^3 bis R^5 sind Methyl; R^6 ist H und R' ist H oder C_1 - C_4 Alkyl. In einer ganz besonders bevorzugten Ausführungsform sind R^1 und R^2 unabhängig voneinander C_4 bis C_{12} Alkyl, oder C_5 bis C_{11} Alkyl oder C_6 bis C_{10} Alkyl oder C_6 bis C_8 Alkyl und R^3 bis R^5 sind Methyl; R^6 ist H und R' ist H oder C_1 - C_4 Alkyl.

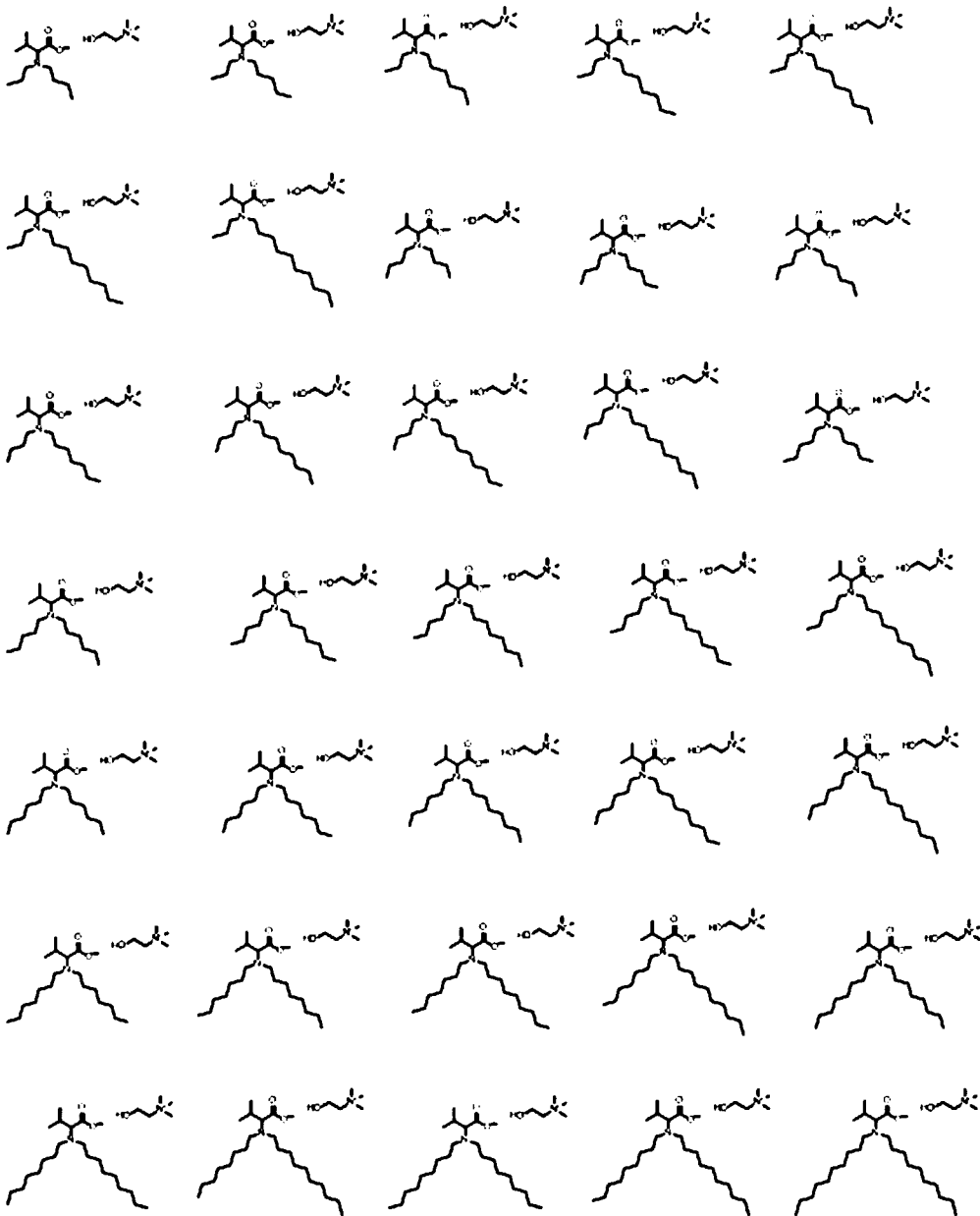
[0044] In einer am meisten bevorzugten Ausführungsform sind R^1 und R^2 unabhängig voneinander C_4 bis C_9 Alkyl und R^3 bis R^5 sind Methyl; R^6 ist H und R' ist C_3 Alkyl.

[0045] In einer anderen am meisten bevorzugten Ausführungsform sind R^1 und R^2 unabhängig voneinander C_4 bis C_8 Alkyl und R^3 bis R^5 sind Methyl; R^6 ist H und R' ist C_3 Alkyl.

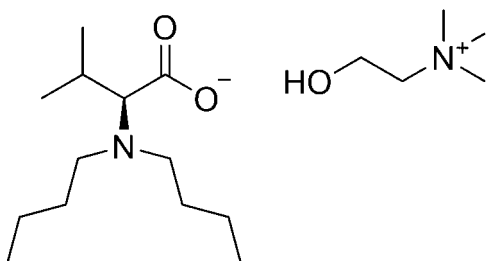
[0046] In einer weiteren am meisten bevorzugten Ausführungsform sind R^1 und R^2 unabhängig voneinander C_6 bis C_8 Alkyl und R^3 bis R^5 sind Methyl; R^6 ist H und R' ist C_3 Alkyl.

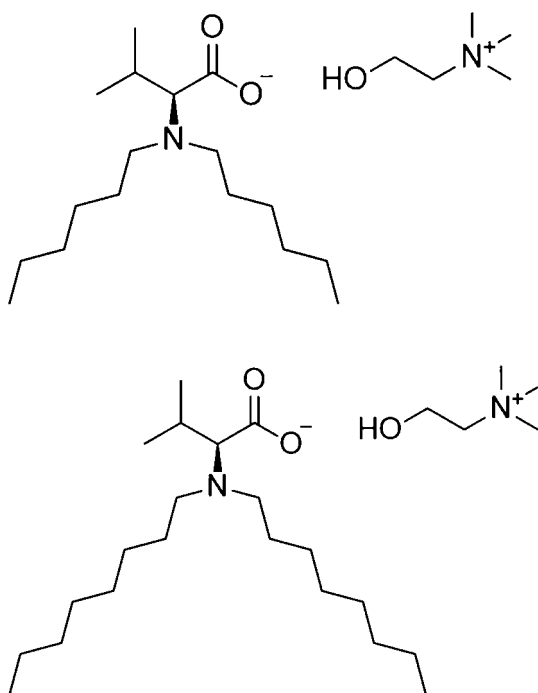
[0047] Besonders bevorzugt weist die Cholin-basierte ionische Flüssigkeit eine der folgenden chemischen Formeln oder eine Mischung davon auf:





[0048] Am meisten bevorzugt weist die Cholin-basierte ionische Flüssigkeit eine der folgenden chemischen Formeln oder Mischungen davon auf:





Entfernen der flüchtigen Verbindung aus dem Gemisch

[0049] Nach dem Inkontaktbringen des Ausgangsmaterials mit einer ionischen Flüssigkeit, d.h. der Extraktion, wird die flüchtige Verbindung aus dem erhaltenen Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, mittels Grundoperationen zur Trennung, vorzugsweise Destillation, wie Unterdruckdestillation, und/oder Kristallisation entfernt.

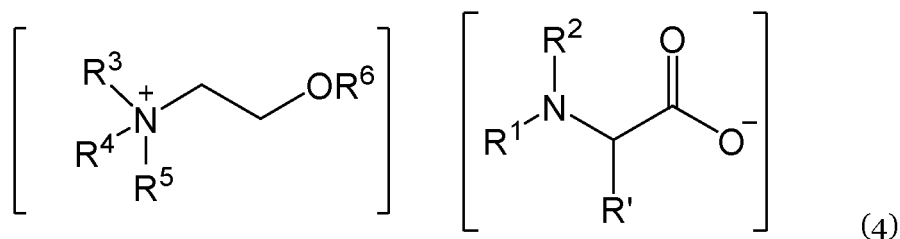
[0050] Thermische Grundoperationen sowie deren Kombinationen sind dem Fachmann bekannt und in der Literatur beschrieben, z.B. Manfred Baerns et al., Technische Chemie, 2. Auflage, 2013, Wiley-VCH, Weinheim. Darunter fallen exemplarisch die Destillation/Rektifikation, Evaporation, Kristallisation, Extraktion, Adsorption, Absorption und Membranprozesse. Bevorzugt sind die Destillation, Extraktion und Kristallisation. Besonders bevorzugt ist die einstufige Unterdruckdestillation.

[0051] Anschließend kann vorzugsweise durch ein einstufiges Trocknungsverfahren das Restwasser von der flüchtigen Verbindung abgetrennt werden, um ein Produkt in technischer Reinheit zu erhalten. Die Verwendung eines einstufigen Trocknungsverfahrens reduziert die Verfahrenskosten im Vergleich zu umfangreichen mehrstufigen Trocknungsverfahren. Besonders bevorzugt kann die Trocknung mittels Adsorption erfolgen. Bei der Trocknung mittels Adsorption kann die Regeneration durch überschüssige Prozesswärme erfolgen, sodass Investitions- und Betriebskosten niedrig sein können.

[0052] In einer bevorzugten Ausführungsform kann die Trocknung mittels eines Gastrockners erfolgen, wie er insbesondere in Biogasanlagen üblich ist. Vorzugsweise hat das Rohprodukt vor der Trocknung einen Wassergehalt von 15 Gew.-% oder weniger.

Extraktionsmittel gemäß Formel (4)

[0053] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft eine Verbindung der folgenden Formel (4)

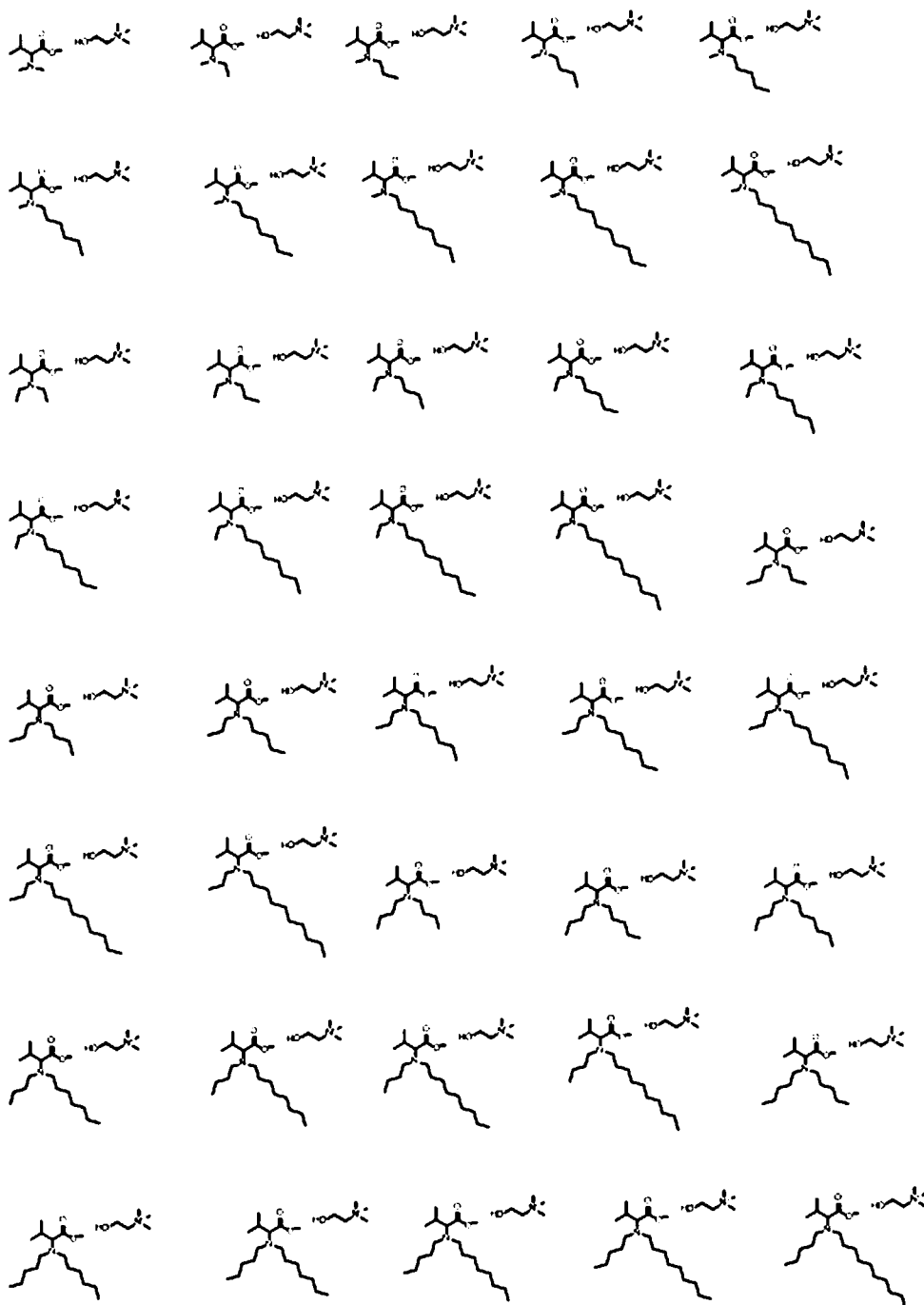


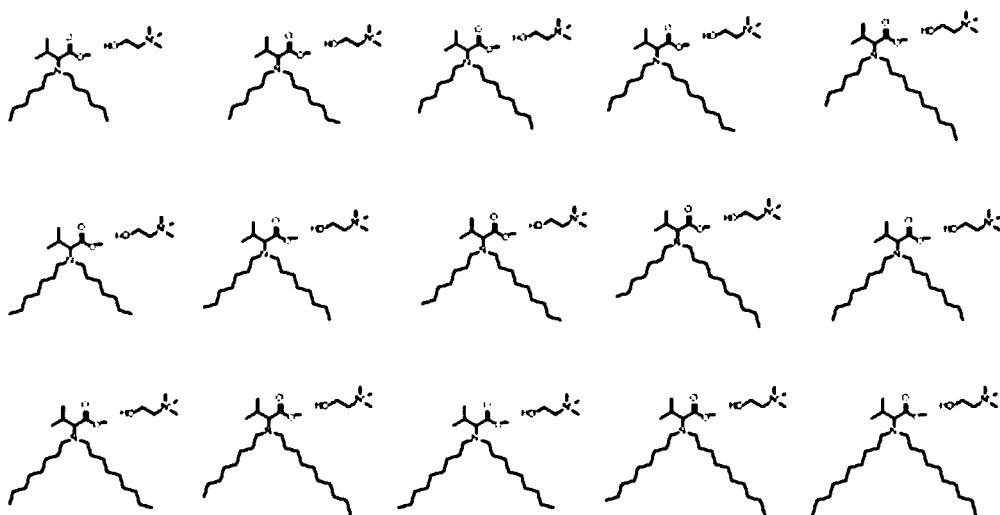
wobei

R' aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, CH₃, CH₂CH₂CH₂NH-C(NH)NH₂, CH₂CONH₂, CH₂COOH, CH₂SH, CH₂CH₂CONH₂, CH₂CH₂COOH, CH₂(C₃H₃N₂), CH(CH₃)CH₂CH₃, CH₂CH(CH₃)₂, CH₂CH₂C₆H₄NH₂, CH₂CH₂CH₂CH₂NR''₂, CH₂CH₂SCH₃, CH₂(C₆H₅), CH₂OH, CH(OH)CH₃, CH₂(C₆H₄)OH und CH(CH₃)₂; oder R' zusammen mit R² zu CH₂CH₂CH₂ verknüpft ist; R'' unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl; R¹ unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl; R² unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl; oder R² zusammen mit R' zu CH₂CH₂CH₂ verknüpft ist; R³ bis R⁵ unabhängig aus der Gruppe ausgewählt sind, bestehend aus C₁ bis C₁₂ Alkyl; und R⁶ aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl.

[0054] Bevorzugte Definitionen von R', R'' sowie R¹ bis R⁶ sind bereits oben hinsichtlich des erfindungsge-
mäßigen Verfahrens für die Formel (3) beschrieben.

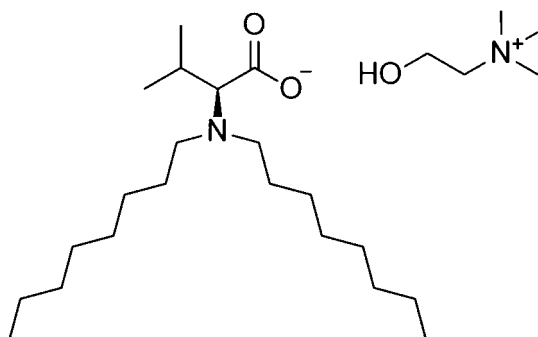
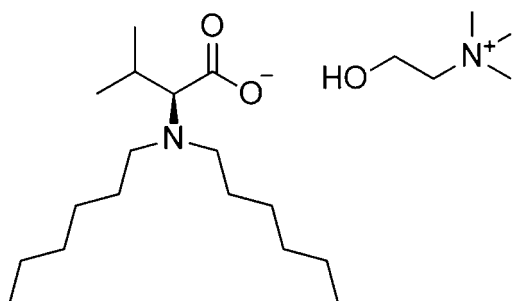
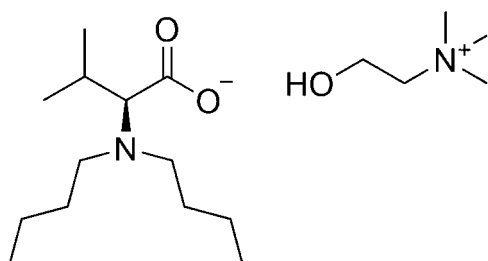
[0055] Besonders bevorzugt ist die Verbindung der Formel (4) ausgewählt aus:





und Mischungen davon.

[0056] Am meisten bevorzugt ist die Verbindung der Formel (4) ausgewählt aus:



und Mischungen davon.

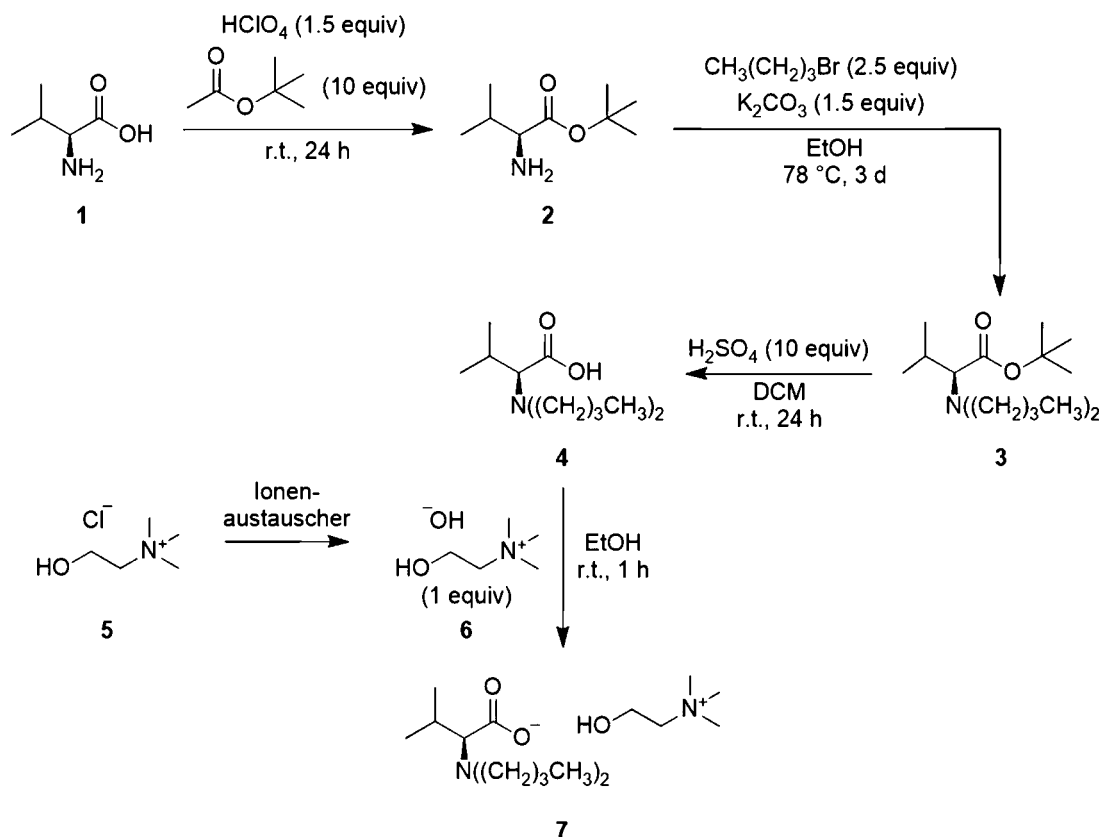
[0057] Die erfindungsgemäßen Verbindungen der Formel (4) können als Extraktionsmittel verwendet werden. Bevorzugt können die erfindungsgemäßen Verbindungen der Formel (4) als Extraktionsmittel für flüchtige Verbindungen verwendet werden.

[0058] Sämtliche Kombinationen von bevorzugten Bereichen, Resten in chemischen Formeln und/oder von Ausführungsformen sind ganz besonders bevorzugt.

[0059] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung von Ausführungsbeispielen.

[Ausführungsbeispiele]

[0060] Beispiel 1 - Synthese von Cholin-N,N-Dibutylvalinat



Allgemeine Synthesevorschrift der ionischen Flüssigkeiten am Beispiel der Einzelschritte der Darstellung von Cholin-N,N-Dibutylvalinat. Für die Synthese von Cholin-N,N-Dihexylvalinat wurde entsprechend 1-Bromhexan verwendet. Für die Synthese von Cholin-N,N-Dioctylvalinat wurde entsprechend 1-Bromoctan verwendet.

Synthese von Valin-tert-butylester 2

[0061] Eine Lösung von D,L-Valin 1 (1 equiv, 104 mmol) und Essigsäure-tert-butylester (10 equiv, 1045 mmol) wurde auf 0°C gekühlt. Unter Rühren wurde langsam 60%ige HClO_4 (1.5 equiv, 158 mmol) hinzugegeben. Anschließend wurde die Lösung bei Raumtemperatur für 24 h gerührt. Die Reaktionsmischung wurde mit Wasser (500 mL) und 1 M HCl (300 mL) gewaschen. Die vereinigten wässrigen Phasen wurden mittels 10%iger K_2CO_3 Lösung auf einen pH-Wert von 9 eingestellt. Die wässrige Phase wurde anschließend mit DCM (3×100 mL) extrahiert. Die erhaltene organische Phase wurde über MgSO_4 getrocknet, filtriert und das Lösungsmittel unter verminderten Druck entfernt. Das Produkt Valin-tert-butylester 2 (85 mmol, 82 %) wurde als leicht gelbliches Öl erhalten.

Synthese von Dibutylvalin-tert-butylester 3

[0062] Valin-tert-butylester (1 equiv, 205 mmol) wurde zusammen mit K_2CO_3 (1.5 equiv, 308 mmol) in EtOH vorgelegt. Die Suspension wurde unter Rühren auf 50°C erhitzt. Anschließend wurde langsam 1-Brombutan (2.5 equiv, 513 mmol) hinzugegeben. Die Reaktionsmischung wurde nachfolgend für drei Tage unter Rückfluss gerührt. Zur Aufreinigung wurde die Reaktionsmischung unter verminderten Druck eingedampft und die Feststoffe abfiltriert. Das restliche Edukt wurde mittels Destillation entfernt. Der Rückstand wurde anschließend

mittels Säulenchromatographie an Kieselgel mit DCM als Laufmittel aufgereinigt. Das Produkt Dibutylvalin-tert-butylester 3 (31 mmol, 15 %) wurde als leicht gelbliches Öl erhalten.

Synthese von Dibutylvalin 4

[0063] Eine Lösung von Dibutylvalin-tert-butylester 3 (1 equiv, 25 mmol) in DCM (90 mL) wurde zu einer bei 0 °C stark gerührten Lösung aus H₂SO₄ (15 equiv, 375 mmol) in DCM (30 mL) hinzugegeben und für 24 h gerührt. Die Reaktionsmischung wurde mit Wasser (2 × 60 mL) extrahiert. Die wässrige Phase wurde mit 4 M NaOH versetzt, um den pH-Wert auf 9 einzustellen. Nachfolgend wurde die wässrige Phase mit DCM (3 × 125 mL) extrahiert. Die organische Phase wurde über MgSO₄ getrocknet, filtriert und das Lösungsmittel unter verminderten Druck entfernt. Das Produkt Dibutylvalin 4 (11 mmol, 44 %) wurde als gelblich, viskoses Öl erhalten.

Synthese von Cholin-N,N-Dibutylvalinat 7

[0064] Zu einer Lösung von Dibutylvalin 4 (1 equiv, 15 mmol) in Ethanol wurde unter Rühren Cholinhydroxid 6 (1 equiv, 15) hinzugegeben. Das Cholinhydroxid 6 wurde zuvor mittels Ionenaustauscherharz aus Cholinchlorid 5 frisch für die Reaktion dargestellt. Die Reaktion wurde für 1 h unter Lichtausschluss bei Raumtemperatur gerührt. Das Produkt Cholin-N,N-Dibutylvalinat 7 (15 mmol) wurde als farblose ionische Flüssigkeit erhalten.

Messverfahren

Mischungslücke

[0065] Die Mischungslücke wurde mittels einer Mikro-LLE-Messzelle durch Standard LLE-Messung validiert. Gemessen wurde das 5-Komponenten-LLE (Wasser-ABE-Gemisch beinhaltend 3 Gew.-% Aceton, Butanol und Ethanol im Gew.-Verhältnis 30:60:10 und Extraktionsmittel im 1: 1 Volumenverhältnis). Die Zelle wurde 24 Stunden bei Raumtemperatur (20 °C) gerührt und die Entmischung für maximal 10 Minuten abgewartet. Die Messung der Zusammensetzung der wässrigen Phase erfolgte mittels Gaschromatographie (GC). Hierzu wurden Kalibriereihen aufgenommen und die Zusammensetzung der Extraktionsphase durch Massenbilanz berechnet.

Tabelle 1: Messergebnisse der Verteilungskoeffizienten für C4/C6/C8-IL und Oleylalkohol mit 3 Gew.-% ARE-Lösung in deionisiertes(DI)- Wasser.

Probe	Aceton	Butanol	Ethanol	ABE
Oleylalkohol	0,32	3,00	0,23	1,18
C4-IL	0,19	0,66	0	0,4
C6-IL	0,19	0,37	0	0,27
C8-IL	0,18	0,29	0	0,22

Wasseranteil im Extraktionsmittel

[0066] Der Wasseranteil Extraktionsmittel, d. h. der ionischen Flüssigkeit, wurde anhand von Karl-Fisher-Titration des reinen Extraktionsmittels und anhand der oberen Phase der LLE-Messung unter Berücksichtigung der Extraktion von Aceton, Butanol und Ethanol bestimmt.

Tabelle 1: Messergebnisse des Wasseranteils für C4/C6/C8-IL und Oleylalkohol mit 3 Gew.-% ABE-Lösung in deionisiertes(DI)-Wasser.

Probe	Wassergehalt [ppm]
Oleylalkohol	15707,8
C4-IL	17059,3
C6-IL	2918,2
C8-IL	945,5

Dampfdruck

[0067] Grundsätzlich ist der sehr niedrige Dampfdruck für die Stoffklasse der ionischen Flüssigkeiten schwer zu bestimmen. Zur Bestätigung, dass die ionische Flüssigkeit keinen relevanten Dampfdruck aufweist, wurde überprüft, dass bei Aufreinigung am Vakuum (0,01 mbar) bei 120 °C nach 24 Stunden kein Massenverlust (< 1 Gew.-%) erkennbar war.

Extraktionsselektivität der Produkte

[0068] Die Extraktionsselektivität wurde mittels einer Mikro-LLE-Messzelle durch Standard LLE-Messung validiert. Gemessen wurde das 5-Komponenten-LLE (Wasser-ABE-Gemisch beinhalten 3 Gew.-% Aceton, Butanol und Ethanol im Gew.-Verhältnis 30:60:10 und Extraktionsmittel im 1:1 Volumenverhältnis). Die Zelle wurde 24 Stunden bei Raumtemperatur (20 °C) gerührt und die Entmischung für maximal 10 Minuten abgewartet. Die Messung der Zusammensetzung der wässrigen Phase erfolgte mittels Gaschromatographie (GC). Hierzu wurde eine Kalibriereihe aufgenommen und die Zusammensetzung der Extraktionsphase durch Massenbilanz berechnet.

Tabelle 2: Messergebnisse der Extraktionsselektivitätsverteilungskoeffizienten für C4/C6/C8-IL und Oleylalkohol mit 3 Gew.-% ABE-Lösung in deionisiertes(DI)-Wasser.

Probe	Aceton	Butanol	Ethanol	ABE
Oleylalkohol	0,18	1,14	0,05	1,37
C4-IL	0,11	0,56	0	0,67
C6-IL	0,65	2,21	0	2,86
C8-IL	1,92	5,68	0	7,60

Beispiel 2 - Extraktion mit Cholin-N,N-Dibutylvalinat/Cholin-N,N-Dihexylvalinat/ Cholin-N,N-Dioctylvalinat und Vergleich mit Oleylalkohol

[0069] Eine 3 Gew.-% ABE-Lösung wurde jeweils mit Cholin-N,N-Dibutylvalinat (C4-IL), Cholin-N,N-Dihexylvalinat (C6-IL), Cholin-N,N-Dioctylvalinat (C8-IL) und Oleylalkohol gemäß der Messverfahren für die Mischungslücke und die Extraktionsselektivität wie oben beschrieben extrahiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 3: Messergebnisse für C4/C6/C8-IL und Oleylalkohol mit 3 Gew.-% ABE-Lösung in deionisiertes (DI)-Wasser.

Probe	Wassergehalt [ppm]	Aceton extrahiert [%]	Butanol extrahiert [%]	Ethanol extrahiert [%]
Oleylalkohol	15707,8	24,33	74,99	18,37
C4-IL	17059,3	16,0	39,67	0
C6-IL	2918,2	15,80	27,05	0
C8-IL	945,5	15,18	22,49	0

[0070] Es zeigt sich, dass bereits der Wassergehalt von C4-IL vergleichbar gering ist. Der Anteil an extrahiertem Aceton und Butanol ist etwas geringer als für Oleylalkohol. Dafür findet keine messbare Extraktion von Ethanol statt. Folglich liegt eine direkte Abtrennung von Ethanol vor. C6-IL und C8-IL weisen einen deutlich reduzierten Wassergehalt auf, was für die weitere Aufbereitung vorteilhaft ist. Zudem wird ebenfalls kein Ethanol extrahiert, sodass eine direkte Trennung von Ethanol einerseits und Aceton sowie Butanol andererseits erfolgt.

[0071] Ferner wurden die Zusammensetzungen für ein Rohprodukt nach Unterdruckdestillation berechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 und 6 dargestellt.

[0072] Die Zusammensetzung der synthetischen Fermentationslösung (3 Gew.% ABE) wurde vor und nach Extraktion mittels Gaschromatographie vermessen. Aus der Differenz der Integrale der jeweiligen vier Kom-

ponenten (A, B, E und Wasser) ergibt sich die Konzentrationsänderung äquivalent zu den extrahierten Massen. Über die Massenbilanz kann so die Zusammensetzung der organischen Phase berechnet werden. Daraus ergeben sich die über Formel 1 (Extraktionsselektivitätsverteilungskoeffizient) und 2 (Verteilungskoeffizient) berechneten Faktoren. Unter Annahme einer Unterdruckdestillation mit vollständiger Verdampfung aller flüchtigen Komponenten lässt sich die Zusammensetzung des Rohproduktes berechnen.

Tabelle 5: Vergleich der berechneten Zusammensetzung des Rohproduktes nach Unterdruckdestillation basierend auf den experimentellen Messergebnissen vom Extraktionsmittel mit 3 Gew.-% ABE-Lösung in DI(deionisiertes)-Wasser.

Probe	Aceton [Gew. %]	Butanol [Gew. %]	Ethanol [Gew. %]	Wasser [Gew. %]
Oleylalkohol	7,8	48,06	1,96	42,17
C4-IL	6,74	32,29	0	59,97
C6-IL	16,75	57,34	0	25,91
C8-IL	22,30	66,07	0	11,63

Tabelle 6: Vergleich der berechneten Zusammensetzung des Rohproduktes nach Unterdruckdestillation basierend auf den experimentellen Messergebnissen vom Extraktionsmittel mit 3 Gew.-% ABE-Lösung in DI (deionisiertes)-Wasser.

Probe	Aceton [mol %]	Butanol [mol %]	Ethanol [mol %]	Wasser [mol %]
Oleylalkohol	4,24	20,48	1,35	73,93
C4-IL	2,98	11,53	0	85,49
C6-IL	11,53	30,94	0	57,52
C8-IL	19,99	46,40	0	33,61

[0073] Erneut zeigt sich, dass die erfindungsgemäßen ionischen Flüssigkeiten eine Abtrennung von Aceton und Butanol von Ethanol ermöglichen, sodass diese höherwertigen Produkte einfacher aufbereitet werden können. Zudem ist C4-IL mit Butylgruppen im Extraktionsverhalten vergleichbar mit dem Referenzextraktionsmittel Oleylalkohol, während C6-IL mit Hexylgruppen und C8-IL mit Octylgruppen ein deutlich verbessertes Extraktionsverhalten zeigen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 2 279 172 A2 [0006]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Manfred Baerns et al., Technische Chemie, 2. Auflage, 2013, Wiley-VCH, Weinheim [0050]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Extrahieren mindestens einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen eines Ausgangsmaterials, das eine wässrige Fermentationsbrühe umfasst, wobei die wässrige Fermentationsbrühe zumindest eine flüchtige Verbindung umfasst;
- Inkontaktbringen des Ausgangsmaterials mit einer ionischen Flüssigkeit, um ein Gemisch zu erhalten, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, wobei das Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, vorzugsweise einen Wasseranteil von höchstens 2 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Gemischs, hat; und
- Entfernen der flüchtigen Verbindung aus dem Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung umfasst, mittels Grundoperationen zur Trennung, vorzugsweise Destillation, wie Unterdruckdestillation, und/oder Kristallisation.

2. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach Anspruch 1, wobei die flüchtige Verbindung ausgewählt ist aus der Gruppe, bestehend aus Aceton, Butanol, Ethanol, Milchsäure, Lactat, Bernsteinsäure, Succinat, einem Arzneimittel, einem CRISPR-Cas9-Produkt und einem Gemisch von zwei oder mehr davon, vorzugsweise Bernsteinsäure, Succinat oder ein Gemisch aus Aceton, Butanol und Ethanol ist.

3. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach Anspruch 1 oder 2, wobei die ionische Flüssigkeit eine Mischungslücke mit Wasser in einem Bereich von 2 bis 90 Gew.-% hat.

4. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die ionische Flüssigkeit nicht toxisch gegenüber Mikroorganismen ist.

5. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die ionische Flüssigkeit einen Dampfdruck von weniger als 0,001 Pa hat.

6. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die flüchtige Verbindung in der Fermentationsbrühe in einer Konzentration von mindestens 0,1 g/L enthalten ist.

7. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die flüchtige Verbindung einen Extraktionsselektivitätsverteilungskoeffizient $K_{P_i,W}$ gegenüber Wasser gemäß der Formel (1) von mindestens 0,1 hat

$$K_{P_i} = \frac{c_{P_i,E}}{c_{W,E}} \quad (1)$$

wobei

$c_{P_i,E}$ die Konzentration der flüchtigen Verbindung in dem Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung enthält, ist; und

$c_{W,E}$ die Konzentration von Wasser in dem Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung enthält, ist.

8. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei ein Verteilungskoeffizient K_{P_i} der flüchtigen Verbindung gemäß der Formel (2) von mindestens 0,1 ist

$$K_{P_i} = \frac{c_{P_i,E}}{c_{P_i,W}} \quad (2)$$

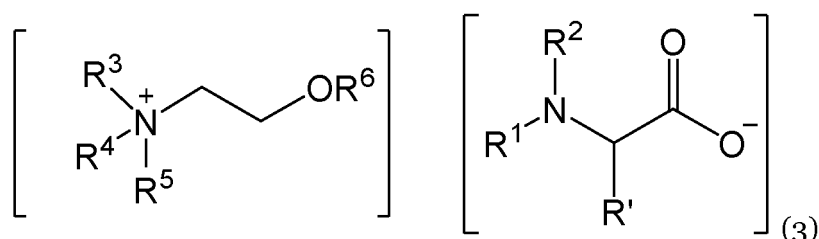
wobei

$c_{P_i,E}$ die Konzentration der flüchtigen Verbindung in dem Gemisch, das die ionische Flüssigkeit und die flüchtige Verbindung enthält, ist; und

$c_{P_i,W}$ die Konzentration der flüchtigen Verbindung in einer wässrigen Phase, die nach Abschluss des Inkontaktbringens entsteht, ist.

9. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die ionische Flüssigkeit eine Cholin-basierte ionische Flüssigkeit ist.

10. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach Anspruch 9, wobei die Cholin-basierte ionische Flüssigkeit durch die folgende Formel (3) dargestellt ist



wobei

R' aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, CH₃, CH₂CH₂CH₂NH-C(NH)NH₂, CH₂CONH₂, CH₂COOH, CH₂SH, CH₂CH₂CONH₂, CH₂CH₂COOH, CH₂(C₃H₃N₂), CH(CH₃)CH₂CH₃, CH₂CH(CH₃)₂, CH₂CH₂CH₂NH₂, CH₂CH₂CH₂CH₂NR'', CH₂CH₂SCH₃, CH₂(C₆H₅), CH₂OH, CH(OH)CH₃, CH₂(C₈H₆N), CH₂(C₆H₄)OH und CH(CH₃)₂; oder R' zusammen mit R² zu CH₂CH₂CH₂ verknüpft ist;

R'' unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl;

R¹ unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl;

R² unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl; oder R² zusammen mit R' zu CH₂CH₂CH₂ verknüpft ist;

R³ bis R⁵ unabhängig aus der Gruppe ausgewählt sind, bestehend aus C₁ bis C₁₂ Alkyl; und

R⁶ aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl.

11. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach Anspruch 10, wobei R' aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, CH₃, CH(CH₃)₂, CH(CH₃)CH₂CH₃, CH₂CH(CH₃)₂, CH₂(C₆H₅), CH₂(C₈H₆N), CH₂COOH, CH₂CH₂COOH, oder R' zusammen mit R² zu CH₂CH₂CH₂ verknüpft ist.

12. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach Anspruch 10 oder 11, wobei R¹ unabhängig ausgewählt ist aus der Gruppe, bestehend aus H, C₁ bis C₂₀ Alkyl, C₁ bis C₂₀ Alkenyl, C₁ bis C₂₀ Hydroxyalkyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyalkenyl.

13. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach Anspruch 10 bis 12, wobei R² unabhängig ausgewählt ist aus der Gruppe, bestehend aus C₁ bis C₂₀ Alkyl, C₁ bis C₂₀ Alkenyl, C₁ bis C₂₀ Hydroxyalkyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyalkenyl.

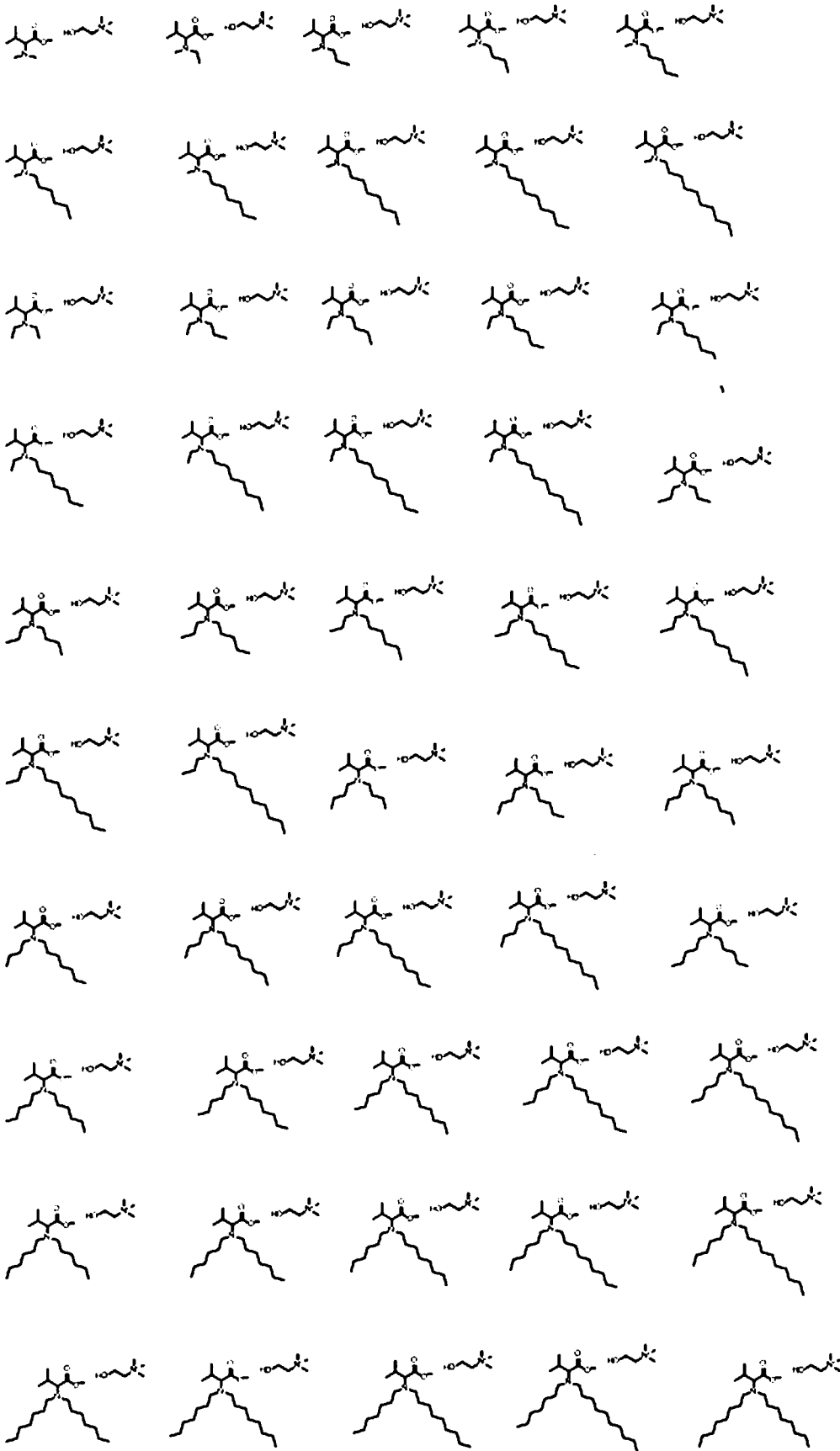
14. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei R³ bis R⁵ jeweils CH₃ sind.

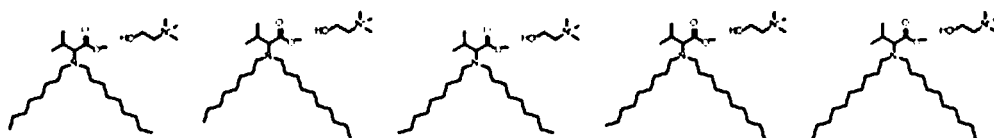
15. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der Ansprüche 10 bis 14, wobei R⁶ unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, C₁ bis C₂₀ Alkyl, C₁ bis C₂₀ Alkenyl, C₁ bis C₂₀ Hydroxyalkyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyalkenyl.

16. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der Ansprüche 10 bis 15, wobei R'' unabhängig aus der Gruppe ausgewählt sind, bestehend aus C₁ bis C₂₀ Alkyl, C₁ bis C₂₀ Alkenyl, C₁ bis C₂₀ Hydroxyalkyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyalkenyl.

17. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der Ansprüche 10 bis 16, wobei zumindest eines aus R¹, R² und R'' C₄-Alkyl ist; und zumindest eines aus R¹, R² und R'' Oleyl ist.

18. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach Anspruch 9, wobei die Cholin-basierte ionische Flüssigkeit eine der folgenden chemischen Strukturen aufweist:





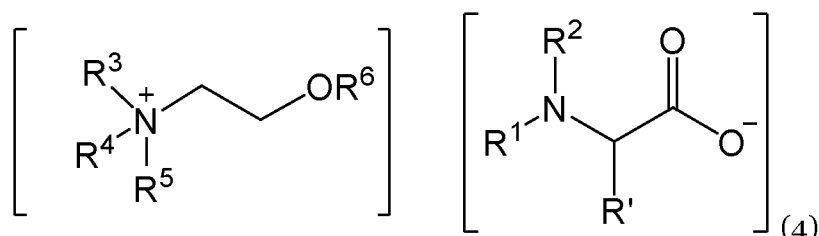
und Mischungen davon.

19. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Bereitstellen eines Ausgangsmaterials, das eine wässrige Fermentationsbrühe umfasst, das Fermentieren eines Substrats in zumindest einem Fermenter umfasst.

20. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach Anspruch 19, wobei das Verfahren einen dem Fermentieren vorgelagerten weiteren Schritt des mechanischen Vorbehandelns des Substrats umfasst.

21. Verfahren zum Extrahieren einer flüchtigen Verbindung aus einer Fermentationsbrühe nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei das Verfahren ferner einen dem der Destillation und/oder der Kristallisation nachgelagerten Schritt umfasst, der eine Rektifikation umfasst.

22. Verbindung der folgenden Formel (4)



wobei

R' aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, CH₃, CH₂CH₂CH₂NH-C(NH)NH₂, CH₂CONH₂, CH₂COOH, CH₂SH, CH₂CH₂CONH₂, CH₂CH₂COOH, CH₂(C₃H₃N₂), CH(CH₃)CH₂CH₃, CH₂CH(CH₃)₂, CH₂CH₂CH₂CH₂NH₂, CH₂CH₂CH₂CH₂NR''₂, CH₂CH₂SCH₃, CH₂(C₆H₅), CH₂OH, CH(OH)CH₃, CH₂(C₈H₆N), CH₂(C₆H₄)OH und CH(CH₃)₂; oder R' zusammen mit R² zu CH₂CH₂CH₂ verknüpft ist;

R'' unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl;

R¹ unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl;

R² unabhängig aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl; oder R² zusammen mit R' zu CH₂CH₂CH₂ verknüpft ist;

R³ bis R⁵ unabhängig aus der Gruppe ausgewählt sind, bestehend aus C₁ bis C₁₂ Alkyl; und

R⁶ aus der Gruppe ausgewählt ist, bestehend aus H, C₁ bis C₂₀ Hydrocarbyl, und C₁ bis C₂₀ Hydroxyhydrocarbyl.

Es folgen keine Zeichnungen